



ТЕПЛОМАСООБМІН

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити /ECTS 120 годин (лекцій – 54, практичних занять – 10, лабораторних занять – 8, самостійна робота - 48)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, МКР</i>
Розклад занять	<i>Лекційні заняття – 3 рази на 2 тижні; лабораторні заняття – 1 раз на два тижні, практичні заняття – 1 раз на два тижні</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: доцент к. т. н. Жовмір Микола Михайлович, Zhovmir.Mykola@i111.kpi.ua тел. +38 044 204 95 19 Практичні заняття: асистент Мельник Олександр Анатолійович, тел. +38 044 204 95 19 Лабораторні роботи: доцент к. т. н. Жовмір Микола Михайлович, асистент Мельник Олександр Анатолійович</i>
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com/c/MTQ3NTA2Mzg4OTg2?cjc=mjmiyut</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Тепломасообмін» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

***Предмет навчальної дисципліни** – процеси переносу теплоти теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням, математичний опис цих процесів, отримання залежностей для інженерних розрахунків характеристик процесів переносу теплоти, конструктивних характеристик та теплових режимів роботи енергетичних установок, методи експериментального дослідження процесів переносу теплоти.*

***Метою навчальної дисципліни** є одержання теоретичних і практичних знань про процеси перенесення теплоти, зокрема в енергетичних установках з використанням енергії відновлюваних джерел, з формуванням у студентів наступних компетентностей: K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; K05. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; K07. Здатність*

працювати в команді; K08. Здатність працювати автономно; K12. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки; K22. Здатність застосовувати методи діагностики стану обладнання та устаткування відновлюваної енергетики, проводити сертифікацію та експертизу об'єктів відновлюваної енергетики; K24. Здатність використовувати нові технології в електроенергетиці, брати участь в модернізації та реконструкції електричного обладнання, електричних машин та апаратів, електричних пристроїв, систем та комплексів традиційної та відновлюваної енергетики.

Програмні результати навчання: ПР04. Знати принципи роботи біоенергетичних, вітроенергетичних, гідроенергетичних та сонячних енергетичних установок; ПР13. Розуміти значення традиційної та відновлюваної енергетики для успішного економічного розвитку країни; ПР18. Вміти самостійно вчитися, опановувати нові знання і вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням, вимірною технікою та прикладним програмним забезпеченням; ПР19. Застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні; ПР20. Знати існуючі підходи до проектування, виготовлення, випробувань та експлуатації обладнання та устаткування нетрадиційної та відновлюваної енергетики; ПР22. Знати електрофізичні та теплотехнічні процеси і явища, що відбуваються в обладнанні та устаткуванні нетрадиційної та відновлюваної енергетики; ПР23. Знати існуючі конструкції обладнання та устаткування призначеного для перетворення енергії відновлюваних джерел в електричну та інші види енергій; ПР24. Знати методи вирівнювання електротехнічних характеристик обладнання та устаткування нетрадиційної та відновлюваної енергетики; ПР26. Знати фактори, що призводять до виникнення незворотних процесів в устаткуванні та обладнанні електричних станцій та об'єктів відновлюваної енергетики; ПР27. Знати методики експериментальних досліджень електрофізичних процесів та явищ, що відбуваються у системах та електричних станціях на основі відновлюваних джерел енергії.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти знаннями, що ґрунтуються на матеріалі попередніх дисциплін, а саме: «Вища математика», «Загальна фізика».

Дисципліна «Тепломасообмін», використовуючи відомі закони фізики та методи математичного аналізу, подає теорію тепломасообміну. При вивченні дисципліни потрібні також знання з технічної термодинаміки, інженерної графіки, конструкційних та електротехнічних матеріалів, основ метрології та електричних вимірювань, вимірювань неелектричних величин. При викладі дисципліни значну увагу приділено особливостям застосування положень теплопровідності, конвективного теплообміну та променевого теплообміну при охолодженні елементів силової електроніки; фотоелектричних перетворювачів, проводів та кабелів, електричних генераторів та трансформаторів, для забезпечення належних режимів експлуатації електричних нагрівачів, парогенераторів та конденсаторів теплових і сонячних термодинамічних електростанцій, теплоізоляції обладнання, трубопроводів, будівель.

Знання, отримані при вивченні даної дисципліни «Тепломасообмін», в подальшому є базовими для вивчення дисциплін «Сонячна теплоенергетика», «Біоенергетика», «Парові, водогрійні, опалювальні котли та теплогенератори», «Перетворення та акумулювання енергії відновлюваних джерел», «Комплексне використання відновлюваних джерел енергії».

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розподілено на 7 розділів, а саме:

- 1. **Вступ до дисципліни «Тепломасообмін»** до якого ввійшли питання предмету та задач теорії тепломасообміну, значення теплообміну в енергетичних процесах та установках, визначення процесів переносу теплоти – теплопровідність, конвекція та випромінювання, складний теплообмін, поняття тепломасообміну.*
- 2. **Теорія теплопровідності** до якого ввійшли визначення основних понять теорії теплопровідності; основні положення теорії теплопровідності - закон Фур'є, коефіцієнт теплопровідності, диференційне рівняння теплопровідності, умови однозначності, граничні умови першого, другого та третього роду; теплопровідність при стаціонарному режимі - теплопровідність одношарової та багатошарової плоскої та циліндричної стінок при граничних умовах першого та третього роду, критичний діаметр теплової ізоляції; теплопровідність ребер, тепловіддача ребреної поверхні, теплопередача через ребристу стінку; теплопровідність плоскої пластини та циліндричного стержня із внутрішніми джерелами теплоти; теплопровідність при нестаціонарному режимі - аналітичний розв'язок задачі охолодження (нагрівання) нескінченної пластини, безрозмірне рівняння температурного поля та аналіз його розв'язку, визначення кількості теплоти, що віддається/акумулюється пластиною у процесі охолодження/нагрівання; охолодження (нагрівання) нескінченного циліндра, визначення кількості теплоти, що віддається/акумулюється циліндром у процесі охолодження/нагрівання, нестаціонарний процес теплопровідності в тілах кінцевих розмірів, регулярний режим охолодження/нагрівання тіл, практичне застосування регулярного режиму.*
- 3. **Теорія конвективного теплообміну** в який ввійшли основні положення вчення про конвективний теплообмін, фізична сутність конвективного теплообміну, рівняння Ньютона-Ріхмана, диференційні рівняння конвективного теплообміну: рівняння теплопровідності для потоку рухомої рідини (рівняння Фур'є-Кірхгофа), рівняння руху в'язкої рідини (рівняння Нав'є-Стокса), рівняння тепловіддачі на границі потоку рідини та стінки (рівняння Біо-Фур'є), рівняння закону збереження маси, рівняння суцільності (нерозривності) потоку, умови однозначності до диференційних рівнянь конвективного теплообміну, основні положення теорії граничного шару; основи теорії подібності та фізичного моделювання - перетворення диференційних рівнянь конвективного теплообміну та умов однозначності до безрозмірного вигляду, числа подібності, фізичний зміст основних чисел подібності, рівняння подібності для визначення коефіцієнтів тепловіддачі, умови подібності для процесів*

конвективного теплообміну, моделювання процесів конвективного теплообміну.

4. **Тепловіддача в однорідному однофазному середовищі** в який ввійшли теплообмін при вимушеному русі рідини уздовж плоскої поверхні; тепловіддача при вимушеній течії рідини усередині труб та каналів; тепловіддача при поперечному омиванні одиначної круглої труби; тепловіддача при поперечному омиванні пучків труб коридорного та шахового розташування; тепловіддача при вільному русі рідини в необмеженому об'ємі, тепловіддача при вільному русі рідини в обмеженому об'ємі.
5. **Теплообмін при зміні агрегатного стану речовини** (при фазових перетвореннях) в який ввійшли **теплообмін при конденсації** – основні положення, плівкова та краплинна конденсація, тепловіддача при плівковій конденсації пари на вертикальній поверхні, розрахункові рівняння для визначення коефіцієнта тепловіддачі при конденсації пари на вертикальних поверхнях теплообміну та горизонтальних трубах, вплив на теплообмін при конденсації наявних в парі газів, що не конденсуються, та інших факторів, теплообмін при конденсації рухомої пари всередині труб, теплообмін при конденсації пари на горизонтальних трубах та трубних пучках; **теплообмін при кипінні однокомпонентних рідин** - механізм процесу теплообміну при бульбашковому та плівковому режимах кипіння, крива кипіння та кризи теплообміну при кипінні, тепловіддача при бульбашковому кипінні рідини у великому об'ємі, тепловіддача при бульбашковому кипінні в умовах вимушеного руху рідини в вертикальних та горизонтальних трубах.
6. **Теплообмін випромінюванням** в який ввійшли загальні поняття, визначення та закони теплового випромінювання; баланс променевого теплообміну, теплообмін випромінюванням між тілами, розділеними діатермічним середовищем, захист від випромінювання та зниження втрат теплоти за рахунок екранів, випромінювання газів, теплообмін між газом та його оболонкою; складний теплообмін.
7. **Основи розрахунку теплообмінних апаратів** в який ввійшли класифікація теплообмінників за принципом дії, основні схеми руху теплоносіїв, задачі розрахунку теплообмінників, проектний та повірочний розрахунки, рівняння теплового балансу та теплопередачі, визначення середнього температурного напору, порівняння теплообмінників з прототечією та протитечією теплоносіїв, обчислення кінцевої температури теплоносіїв, порядок виконання проектного та повірочного теплових розрахунків теплообмінників.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. *Тепломасообмін. Частина I : навчальний посібник / О. Ю. Співак, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 113 с.*
2. *Жовмір М.М. Дистанційний курс «Тепломасообмін» НТУУ КПІ ім. І. Сікорського. 2022.*
<https://classroom.google.com/c/MTQ3NTA2Mzq4OTg2?cjc=mjmiyut>
3. *Тепломасообмін: лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів денної форми навчання за освітньою програмою підготовки «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Укладач: Жовмір М. М., - електронні текстові дані (1 файл: 976 кбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 39 с.*
4. *Збірник задач з тепломасообміну: навчальний посібник / А.Ю. Дреус, К.Є. Лисенко, В.О. Сясев. – Д., 2016. – 124 с.*
5. *A heat transfer textbook / John H. Lienhard IV and John H. Lienhard V — 5th e. — Cambridge, MA: Phlogiston Press. 2019. - 771 p.*

Додаткові інформаційні ресурси:

6. *Омельченко О.В., Цвіркун Л.О. Тепломасообмін: навч. посіб. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2021. 100 с.*
7. *Методичні рекомендації, завдання та приклади розрахунку теплообмінних апаратів теплоенергетичних установок для студентів спеціальностей «Нетрадиційні і відновлені джерела енергії», «Електромеханічні системи геотехнічних виробництв», «Розробка родовищ та видобування корисних копалин» спеціалізації «Енергомеханічні*

*комплекси гірничого виробництва»/ О.С. Савенчук, Ю.І. Оксень, О.П. Трофімова. – Д.:
Національний гірничий університет, 2015. – 93 с.*

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	<p>Тема 1. Вступ до дисципліни «Тепломасообмін». Предмет навчальної дисципліни, теорія теплообміну та її метод, види процесів переносу теплоти – теплопровідність, конвекція та випромінювання, складний теплообмін, поняття тепломасообміну. Кількісні характеристики у процесах переносу теплоти: кількість теплоти, тепловий потік, густина теплового потоку.</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 1.</p>
2	<p>2. Теорія теплопровідності. Тема 2.1. Основні положення теорії теплопровідності. Вихідні положення - температурне поле, ізотермічна поверхня, ізотерми, градієнт температури. Закон Фур'є. Теплопровідність через неізотермічну поверхню. Коефіцієнт теплопровідності. Теплопровідність газів, рідин, твердих тіл. Теплоізоляційні матеріали. Засоби вимірювання температур та розподілу температур (температурного поля).</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 2.</p>
3	<p>Тема 2.1. Основні положення теорії теплопровідності (завершення). Поняття про диференційне рівняння теплопровідності. Диференційне рівняння теплопровідності, умови однозначності для процесів теплопровідності, граничні умови першого, другого, третього та четвертого роду. Закон Ньютона-Ріхмана. Загальна характеристика методів розв'язку задач теплопровідності.</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 3.</p>
4	<p>Тема 2.2. Теплопровідність при стаціонарному режимі. Аналіз диференційного рівняння теплопровідності. Теплопровідність одношарової та багатшарової плоскої стінки при граничних умовах першого та третього роду. Термічний опір. Коефіцієнт теплопередачі через плоску стінку.</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 4.</p>
5	<p>Тема 2.2. Теплопровідність при стаціонарному режимі (продовження). Теплопровідність одношарової та багатшарової циліндричної стінки при граничних умовах першого та третього роду. Лінійна густина теплового потоку та лінійний термічний опір циліндричної стінки. Критичний діаметр теплової ізоляції циліндричного трубопроводу.</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 5.</p>
6	<p>Тема 2.2. Теплопровідність при стаціонарному режимі (продовження). Способи інтенсифікації процесу теплопередачі. Диференційне рівняння теплопровідності ребра постійного поперечного перерізу. Теплопровідність ребра кінцевої довжини. Ефективність плоского ребра. Теплопередача через плоску ребрену стінку.</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 6.</p>

7	<p>Тема 2.2. Теплопровідність при стаціонарному режимі (завершення). Теплопровідність однорідної пластини із внутрішніми джерелами теплоти при граничних умовах першого та третього роду. Теплопровідність в однорідному циліндричному стержні із внутрішніми джерелами теплоти при граничних умовах першого та третього роду. Електротехнічні пристрої з внутрішніми джерелами теплоти. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 7.</p>
8	<p>Тема 2.3. Теплопровідність при нестаціонарному режимі. Аналітичний опис процесу нестаціонарної теплопровідності в розмірній формі. Аналітичний опис процесу нестаціонарної теплопровідності в безрозмірній формі. Числа подібності та критерії подібності. Число Фур'є та критерій Біо. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 8.</p>
9	<p>Тема 2.3. Теплопровідність при нестаціонарному режимі (продовження). Аналітичний розв'язок задачі охолодження (нагрівання) нескінченної пластини в середовищі з постійною температурою. Безрозмірне рівняння температурного поля та аналіз його розв'язку. Визначення кількості теплоти, що віддається пластиною при охолодженні або акумулюється при нагріванні. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 9.</p>
10	<p>Тема 2.3. Теплопровідність при нестаціонарному режимі (завершення). Охолодження (нагрівання) нескінченного циліндра в середовищі з постійною температурою. Визначення кількості теплоти, що віддається циліндром при охолодженні, або акумулюється при нагріванні. Нестационарний процес теплопровідності в тілах кінцевих розмірів (паралелепіпед, циліндр кінцевих розмірів). Регулярний режим охолодження/нагрівання тіл. Практичне застосування регулярного режиму охолодження тіл. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 10.</p>
11	<p>3 Теорія конвективного теплообміну. Конвективний теплообмін в однорідному середовищі. Тема 3.1. Основні положення вчення про конвективний теплообмін. Фізична сутність конвективного теплообміну. Рівняння Ньютона-Ріхмана, коефіцієнт тепловіддачі. Рівняння тепловіддачі на границі потоку рідини та стінки (рівняння Біо-Фур'є). Фактори, що впливають на коефіцієнт тепловіддачі: природа виникнення руху рідини та сили, що його викликають, режими руху рідини, теплофізичні параметри рідини, форма, розміри та орієнтація об'єму у просторі. Диференційні рівняння конвективного теплообміну: диференційне рівняння теплопровідності для потоку рухомої рідини, диференційне рівняння теплопровідності для потоку крапельної рідини (рівняння Фур'є-Кірхгофа). Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 11.</p>

12	<p>Тема 3.1. Основні положення вчення про конвективний теплообмін (завершення). Диференційні рівняння конвективного теплообміну: рівняння руху в'язкої рідини (рівняння Нав'є-Стокса), врахування зміни густини рідини (наближення Бусинеску), рівняння суцільності-нерозривності потоку (рівняння Бернуллі). Умови однозначності до диференційних рівнянь конвективного теплообміну. Основні положення теорії граничного шару: гідродинамічний та тепловий пограничні шари, формування гідродинамічного та теплового пограничних шарів при вільному русі рідини. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 12.</p>
13	<p>Тема 3.2. Основи теорії подібності та фізичного моделювання. Загальні уявлення про теорію подібності. Перетворення диференційних рівнянь конвективного теплообміну та умов однозначності до безрозмірного вигляду: аналітичний опис задачі конвективного теплообміну пластини, метод масштабних перетворень, масштабне перетворення рівняння теплообміну, число Нуссельта та його фізичний смисл, масштабне перетворення диференційного рівняння теплопровідності для потоку рухомої рідини, числа подібності Пекле, Рейнольдса, Прандтля та їх фізичний смисл. Масштабне перетворення диференційного рівняння руху рідини при конвективному теплообміні, числа подібності Грасгофа, Архімеда, Ейлера та їх фізичний смисл. Рівняння подібності для визначення коефіцієнтів тепловіддачі. Умови подібності фізичних процесів, наслідки з умов подібності фізичних процесів. Моделювання процесів конвективного теплообміну. Методи наближеного моделювання. Отримання емпіричних рівнянь подібності для визначення коефіцієнтів тепловіддачі. Введення поправки на змінність теплофізичних параметрів. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 13</p>
14	<p>4. Тепловіддача в однорідному однофазному середовищі. 4.1 Вимушена конвекція. Теплообмін при вимушеному русі рідини уздовж плоскої поверхні. Гідродинамічна характеристика процесу поздовжнього обтікання пластини вимушеним потоком рідини, товщина гідродинамічного пограничного шару. Рівняння теплового потоку для теплового пограничного шару. Тепловіддача конвекцією при ламінарному русі рідини вздовж поверхні. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 14.</p>
15	<p>Теплообмін при вимушеному русі рідини уздовж плоскої поверхні (завершення) Тепловіддача при вимушеному поздовжньому омивання плоскої поверхні при турбулентному пограничному шарі. Аналогія Рейнольдса. Рішення задачі теплообміну для пластини при турбулентному пограничному шарі. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 15.</p>
16	<p>Тема 4.1. Вимушена конвекція (продовження). Теплообмін при вимушеному русі рідини в каналах. Особливості гідродинаміки при вимушеному русі рідини в каналах. Початковий відрізок гідродинамічної стабілізації. Початковий відрізок теплової стабілізації. Тепловіддача при вимушеній течії рідини усередині труб та каналів, тепловіддача при турбулентній течії рідини у трубах, тепловіддача всередині прямих та зігнутих труб. Тепловіддача при ламінарній течії рідини у трубах при в'язкісному та в'язкісно-гравітаційному режимах. Розрахунок тепловіддачі при перехідному режимі течії. Розрахунок тепловіддачі в каналах некруглого перерізу. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 16.</p>

17	<p>Тема 4.1. Вимушена конвекція (завершення). Тепловіддача при поперечному омиванні одиначної круглої трубки. Характер течії рідини при поперечному омиванні трубки. Характер пограничного шару при омиванні трубки. Зміна локального коефіцієнта тепловіддачі по околу трубки. Розрахункові залежності для визначення середнього коефіцієнта тепловіддачі для одиначної трубки в потоці рідини. Тепловіддача при омиванні пучків труб. Особливості гідродинаміки пучка труб. Тепловіддача при поперечному омиванні пучків труб коридорного та шахового розташування. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 17.</p>
18	<p>Тема 4.2. Природна конвекція. Тепловіддача при вільному русі рідини. Основні фізичні закономірності тепловіддачі при вільному русі рідини в необмеженому об'ємі. Теплообмін біля вертикальної поверхні при ламінарному русі рідини (аналітичний розв'язок задачі). Інженерні формули для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при вільній конвекції біля вертикальних пластин, горизонтальних труб та плит. Тепловіддача при вільному русі рідини в обмеженому об'ємі – у плоских та циліндричних прошарках. Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності плоских щілин, заповнених рідинами, коефіцієнт конвекції. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 18.</p>
19	<p>5. Теплообмін за умов зміни агрегатного стану речовини (при фазових перетвореннях) Тема 5.1. Теплообмін при конденсації. Основні фізичні закономірності конденсації. Плівкова та краплинна конденсація. Тепловіддача при конденсації сухої насиченої пари на вертикальній поверхні, рівняння Нуссельта. Розрахункові рівняння коефіцієнта тепловіддачі для вертикальних поверхонь теплообміну, поправка на змінність теплофізичних параметрів, поправка Капіци на хвильовий рух плівки конденсату. Рівняння подібності для розрахунку тепловіддачі при ламінарній течії плівки конденсату з врахуванням поправок. Теплообмін при конденсації пари на вертикальній поверхні при турбулентній течії конденсату. Теплообмін при конденсації пари на похилій поверхні та на горизонтальній трубі. Вплив на теплообмін при конденсації наявних в парі газів, що не конденсуються, та компоновки конденсатора. Теплообмін при конденсації пари в пучках труб. Теплообмін при конденсації пари всередині труб: особливості гідродинаміки, коефіцієнт тепловіддачі при конденсації пари в трубках при ламінарній та турбулентній течії конденсату. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 19.</p>
20	<p>Тема 5.2. Теплообмін при кипінні однокомпонентних рідин. Загальна характеристика процесів пароутворення. Кипіння на поверхні твердого тіла - бульбашкове та плівкове кипіння. Умови виникнення кипіння. Виникнення, ріст та відривання бульбашок пари на тепловіддаючій поверхні. Критичний радіус бульбашки. Відривний діаметр бульбашки. Циклічність утворення, росту та відривання бульбашок. Швидкість пароутворення. Крива кипіння. Перша та друга кризи тепловіддачі при кипінні. Характер кривих кипіння при паровому та електричному (променевому) нагріві теплообмінних поверхонь. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 20.</p>

21	<p>Тема 5.2. Теплообмін при кипінні однокомпонентних рідин (завершення). Емпіричні рівняння для розрахунку тепловіддачі при бульбашковому кипінні рідин в необмеженому об'ємі. Кипіння в вертикальних та горизонтальних трубках, двофазна течія. Характеристики двофазної течії при кипінні рідин. Експлуатаційні значення витратного паровмісту. Розрахунок тепловіддачі при бульбашковому кипінні в умовах вимушеної конвекції в трубах.</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 21.</p>
22	<p>6. Теплообмін випромінюванням. Складний теплообмін.</p> <p>Тема 6.1. Теплообмін випромінюванням. Загальні поняття про теплове випромінювання. Основні визначення. Поглинання, відбивання та пропускання випромінювання. Закони теплового випромінювання: закон Планка, закон зміщення Віна, закон Стефана-Больцмана, закон Кірхгофа, закон Кеплера, закон Ламберта. Чорна, радіаційна, кольорова та яскравісна температури.</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 22.</p>
23	<p>Теплообмін випромінюванням (продовження). Види променевих потоків та баланс променевого теплообміну. Теплообмін випромінюванням між двома паралельними поверхнями в діатермічному середовищі. Теплообмін випромінюванням між двома паралельними поверхнями в діатермічному середовищі при наявності екранів. Теплообмін випромінюванням між тілом та його оболонкою. Калориметричний метод визначення випромінювальної здатності тіла. Променевий теплообмін між двома тілами довільно розташованими у просторі.</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 23.</p>
24	<p>Теплообмін випромінюванням (завершення). Об'ємне поглинання випромінювання, закон Бугера. Теплове випромінювання газів. Теплообмін між газом та його оболонкою.</p> <p>Тема 6.2. Складний теплообмін. Складний теплообмін, як сукупність процесів тепловіддачі та випромінювання. Радіаційно-конвективний теплообмін.</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 24.</p>
25	<p>7. Основи розрахунку теплообмінних апаратів.</p> <p>Тема 7.1 Основи розрахунку теплообмінних апаратів. Класифікація теплообмінників за принципом дії: рекуперативні, регенеративні та контактні (у т. ч. змішувальні). Основні положення теплового розрахунку теплообмінних апаратів: види теплових розрахунків, рівняння теплового балансу теплообмінного апарата, рівняння теплопередачі у теплообмінному апараті.</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 25.</p>
26	<p>Тема 7.1 Основи розрахунку теплообмінних апаратів (продовження). Основні схеми руху теплоносіїв: прямотечія, протитечія, перехресна та складні схеми руху теплоносіїв. Характер зміни температур при прямотечії та протитечії. Середня різниця температур теплоносіїв. Визначення температурного напору при складних схемах руху теплоносіїв.</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 26.</p>

27	<p>Тема 7.1 Основи розрахунку теплообмінних апаратів (завершення). Визначення кінцевої температури теплоносіїв при повірочному розрахунку теплообмінників. Порівняння теплообмінників з протитечею та прямотечею. Порядок конструкторського теплового розрахунку теплообмінника. Порядок повірочного теплового розрахунку теплообмінника. Літературні джерела: [1,2,5]; Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 27.</p>
----	---

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	<p>Тема 1. Предмет та задачі теорії тепломасообміну. Тема 2.1 Основні положення теорії теплопровідності. Тема 2.2 Теплопровідність при стаціонарному режимі. Основні питання практичного заняття 1: одиниці вимірювання теплової енергії, теплового потоку, густини теплового потоку, співвідношення між величинами вимірними в різних одиницях вимірювання. Закон Фур'є і його застосування до задач теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності матеріалів, що застосовуються в енергетичних установках – конструкційні метали і сплави, вогнетриви, кераміка, органічні та неорганічні теплоізоляційні матеріали. Теплопровідність в одношаровій та багатошаровій плоскій стінці при граничних умовах першого та третього роду. Розв'язання задач. Домашнє завдання: самостійне розв'язання задач ДПЗ-1 за тематикою заняття. Літературні джерела:</p> <ul style="list-style-type: none"> - дистанційний курс «Тепломасообмін»: лекції 1, 2, 3, 4. - матеріали до практичного заняття 1, - завдання ДПЗ-1
2	<p>Тема 2.2 Теплопровідність при стаціонарному режимі. Основні питання практичного заняття 2. Теплопровідність в одношаровій та багатошаровій циліндричній стінці при граничних умовах першого та третього роду. Критичний діаметр теплової ізоляції - особливості втрат теплоти від трубопроводів, особливості охолодження неізольованих дротів та ізольованих проводів. Теплопровідність ребер. Тепловіддача оребреної поверхні, теплопередача через ребристу стінку. Оребрення труб та охолоджуючих пристроїв силової електроніки. Теплопровідність пластини та циліндричного стержня з внутрішніми джерелами теплоти. Нагрів провідників електричним струмом, електричні нагрівачі. Розв'язання задач. Домашнє завдання: самостійне розв'язання задач ДПЗ-1 за тематикою заняття. Літературні джерела:</p> <ul style="list-style-type: none"> - дистанційний курс «Тепломасообмін»: лекції 5, 6, 7. - матеріали до практичного заняття 2, - завдання ДПЗ-1

3	<p>Тема 3.1 Загальні питання конвективного теплообміну. Тема 3.2 Основи теорії подібності та фізичного моделювання. Тема 4.1 Вимушена конвекція. Тема 4.2 Природна конвекція</p> <p>Основні питання практичного заняття 3. Теорія подібності. Числа подібності. Рівняння подібності. Гідродинамічний та тепловий пограничні шари при вимушеному обтіканні пластини. Тепловіддача при вимушеному поздовжньому омиванні пластини, при течії рідини в круглих трубках, при поперечному омиванні одиночної труби, при вільній конвекції. Таблиці теплофізичних властивостей рідин. Розв'язання задач.</p> <p>Домашнє завдання: самостійне розв'язання задач ДПЗ-2 за тематикою заняття.</p> <p>Літературні джерела:</p> <ul style="list-style-type: none"> - дистанційний курс «Тепломасообмін», лекції 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18. - матеріали до практичного заняття 3, - завдання ДПЗ-2
4	<p>Тема 5.1 Теплообмін при конденсації Тема 5.2 Теплообмін при кипінні</p> <p>Основні питання практичного заняття 4. Тепловіддача при плівковій конденсації чистих парів на вертикальній поверхні та горизонтальній трубі. Тепловіддача при бульбашковому кипінні у великому об'ємі. Перша криза тепловіддачі при кипінні. Перша критична густина теплового потоку. Робочі значення густини теплового потоку при бульбашковому кипінні у великому об'ємі. Розв'язання задач.</p> <p>Домашнє завдання: самостійне розв'язання задач ДПЗ-3 за тематикою заняття.</p> <p>Літературні джерела:</p> <ul style="list-style-type: none"> - дистанційний курс «Тепломасообмін», лекції 19, 20, 21. - матеріали до практичного заняття 4, <p>завдання ДПЗ-3</p>
5	<p>Тема 6.1 Теплообмін випромінюванням Тема 7.1 Основи розрахунку теплообмінних апаратів</p> <p>Основні питання практичного заняття 5. Теплообмін випромінюванням між тілами в діатермічному середовищі. Захист від випромінювання та зниження втрат теплоти при застосуванні екранів. Розв'язання задач. Задачі розрахунку теплообмінників при повірочному та проектному тепловому розрахунку. Рівняння теплового балансу та теплопередачі. Визначення середнього температурного напору. Визначення кінцевих температур теплоносіїв. Коефіцієнт теплопередачі в теплообміннику. Необхідна площа теплообмінної поверхні, основні режимні та конструктивні характеристики. Розв'язання задач.</p> <p>Домашнє завдання: самостійне розв'язання задач ДПЗ-3 за тематикою заняття.</p> <p>Літературні джерела:</p> <ul style="list-style-type: none"> - дистанційний курс «Тепломасообмін», лекції 22, 23, 24, 25, 26, 27. - матеріали до практичного заняття 5, - завдання ДПЗ-3

Лабораторні роботи

№ з/п	Короткий зміст лабораторної роботи
1	<p data-bbox="204 275 1465 349"><i>Визначення коефіцієнта теплопровідності листового матеріалу методом порівняння (Лабораторна робота №1)</i></p> <p data-bbox="204 398 1474 562">Мета роботи – практичне застосування теорії теплопровідності для визначення коефіцієнта теплопровідності, вивчення методики експериментального визначення коефіцієнта теплопровідності листового матеріалу, отримання навичок у виконанні експериментальних робіт.</p> <p data-bbox="204 577 1474 651">Завдання роботи - експериментальне визначення коефіцієнта теплопровідності листового матеріалу методом порівняння.</p> <p data-bbox="204 667 1114 703">Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</p> <p data-bbox="204 707 1474 1554">1. При підготовці до заняття вивчити методичні вказівки до виконання лабораторної роботи, заготовити таблиці для запису результатів вимірювань. 2. Перед виконанням роботи зробити зовнішній огляд лабораторної установки. 3. У викладача отримати заздалегідь виготовлений зразок листового матеріалу для вимірювання його теплопровідності з наклеєними на нього терморезисторами. 4. Виміряти товщину листа матеріалу, що буде досліджуватися, за допомогою штангенциркуля. Записати назву матеріалу та його товщину. 5. Виміряти товщину листа еталонного матеріалу за допомогою штангенциркуля. Записати назву матеріалу, його товщину та паспортне значення коефіцієнта теплопровідності. 6. Закріпити лист еталонного матеріалу та досліджуваний зразок на лабораторній установці. 7. Приєднати терморезистори до вимірювального приладу за схемою з'єднань. 8. Заповнити посудину з нагрівачем водою до мітки, встановити лабораторний термометр. 9. Перевірити цілісність та правильність електричної схеми установки. 10. Увімкнути електричне живлення установки та встановити напругу на нагрівачі згідно з програмою експерименту. 11. Спостерігати за графіком зміни температур досліджуваних пластин, що відображається на моніторі ПК, впевнившись у досягненні сталого стану записати у протокол значення температур на поверхнях пластин. Дослід повторити 3 рази. 12. За даними вимірювань для кожного досліду обчислити густину теплового потоку, що передавалась через пластини, коефіцієнт теплопровідності досліджуваного листового матеріалу. Обчислити середнє значення коефіцієнта теплопровідності досліджуваного листового матеріалу, порівняти знайдене значення з довідковими даними. 13. Оформити звіт про виконання лабораторної роботи.</p> <p data-bbox="204 1603 1410 1715">Література: [3], лабораторна робота 1; дистанційний курс «Тепломасообмін»; паспорт лабораторії https://vde.kpi.ua/wp-content/uploads/2022/06/lab_passport_317.pdf</p>

*Дослідження тепловіддачі горизонтальної труби при вільному русі повітря
(Лабораторна робота №2)*

Мета роботи – практичне закріплення знань з теорії конвективного теплообміну при вільному русі рідини, вивчення методик експериментального визначення коефіцієнтів тепловіддачі, отримання практичних навичок у проведенні теплотехнічних експериментів.

Завдання роботи - експериментально визначити значення коефіцієнта тепловіддачі від горизонтальної труби при вільному русі повітря залежно від температурного напору, виконати критеріальну обробку отриманих експериментальних даних та представити їх у вигляді рівняння подібності.

Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:

1. При підготовці до заняття вивчити методичні вказівки до виконання лабораторної роботи, заготовити таблиці для запису результатів вимірювань. 2. Перед виконанням роботи зробити зовнішній огляд лабораторної установки, впевнитись у цілісності установки та правильності електричних з'єднань. 3. Впевнитись, що ручка лабораторного автотрансформатора знаходиться в нульовому положенні – виведена у крайнє ліве положення. 4. Виміряти діаметр та довжину трубки від якої буде досліджуватися тепловіддача. 5. Протерти трубку чистою тканиною. Записати паспортне значення ступеня чорноти поверхні використовуваної трубки. 6. Включити персональний комп'ютер. Включити живлення вимірювача температури ПКРТ-0103. На персональному комп'ютері запустити програму «Термопара». Впевнитись, що програма працює та відображає значення температур по кожній термопарі. 7. Включити живлення лабораторного автотрансформатора і встановити напругу вказану викладачем. 8. Спостерігати зміну температури трубки за графіком, що відображається на моніторі комп'ютера. Після стабілізації температур, що вимірюються всіма термопарами, записати у таблицю спостережень: поточне значення часу за годинником комп'ютера, значення напруги за вольтметром та силу струму за амперметром, значення температур стінок трубки та повітря нижче трубки. Повторити вимірювання всіх величин два рази при даних незмінних умовах. 9. За вказівкою викладача повторити експеримент при інших значеннях напруги. 10. Провівши заключний експеримент вивести ручку автотрансформатора в нульове положення та вимкнути його живлення. 11. Ввести отримані експериментальні дані у таблицю в програмі Excel. 12. Для кожного дослідження розрахувати повну густину теплового потоку, густину теплового потоку, що віддається випромінюванням, густину теплового потоку, що віддається конвекцією, середню температуру стінок трубки, температурний напір, коефіцієнт тепловіддачі конвекцією. 13. В програмі Excel побудувати графік залежності коефіцієнта тепловіддачі від температурного напору. 14. Для кожного дослідження знайти табличні значення коефіцієнта теплопровідності повітря при температурі дослідження та розрахувати число Нуссельта. 15. Для кожного дослідження знайти табличні значення для повітря: кінематичного коефіцієнта в'язкості та числа Прандтля. Обчислити число Грасгофа та число Релея. 16. В програмі Excel побудувати графік залежності числа Нуссельта від числа Релея, побудувати степеневу апроксимуючу лінію, визначити параметри отриманого рівняння подібності та достовірність апроксимації. 17. Порівняти отримане рівняння подібності з рівняннями подібності наявними в літературі. 18. Оформити звіт про виконання лабораторної роботи.

Література: [3], лабораторна робота 2;

дистанційний курс «Тепломасообмін»;

паспорт лабораторії https://vde.kpi.ua/wp-content/uploads/2022/06/lab_passport_317.pdf

3

*Дослідження кризи теплообміну при кипінні води в умовах великого об'єму
(Лабораторна робота №3)*

Мета роботи – практичне ознайомлення з режимами кипіння води - бульбашковим і плівковим та переходом від бульбашкового кипіння до плівкового; вивчення методики експериментального визначення теплових потоків при кипінні води; отримання навичок у виконанні експериментальних робіт.

Завдання роботи - експериментальне визначення густини теплового потоку та першої критичної густини теплового потоку при кипінні води в умовах великого об'єму та обігріві дроту пропусканням через нього електричного струму.

Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:

1. При підготовці до заняття вивчити методичні вказівки до виконання лабораторної роботи, заготовити таблиці для запису спостережень та результатів вимірювань. 2. Перед виконанням роботи зробити зовнішній огляд лабораторної установки. 3. У викладача отримати заздалегідь виготовлений дріт з контактними клемми. 4. Виміряти опір дроту за допомогою омметра. 5. Виміряти товщину дроту за допомогою мікрометра. 6. Виміряти довжину дроту між клемми утримувача дроту за допомогою лінійки. 7. Закріпити робочу ділянку на затискачах струмопідводу. 8. Встановити рамку з струмопідводом та робочою ділянкою в робоче положення на посудині з водою. 9. Перевірити цілісність електричної схеми та нульове положення автотрансформатора. 10. Ввімкнути електричне живлення та установити напругу прикладену до кінців дроту згідно з програмою експерименту. 11. Через стінки посудини розглядати характер конвективного руху води та бульбашок пари довкола нагрітого дроту. 12. Записувати значення сили струму та перепаду напруги на дроті, температуру води. 13. Поступово збільшувати силу струму до інтенсивного бульбашкового кипіння нагрітої води на поверхні дроту, та до переходу від бульбашкового до плівкового кипіння нагрітої води на поверхні дроту. Через стінки посудини розглянути парову плівку довкола дроту, відрив бульбашок пари, їх рух в товщі води та вихід на поверхню. 14. Перевести установку у вихідний стан та вимкнути.

17. Для досліджених режимів розрахувати густину теплового потоку, електричний опір дроту, температуру дроту, температурний напір, коефіцієнт тепловіддачі. 18. За отриманими даними побудувати криві кипіння. На кривих кипіння вказати перехід від бульбашкового до плівкового кипіння та першу критичну густину теплового потоку. Порівняти отримане значення першої критичної густини теплового потоку при кипінні з літературними даними. 19. Оформити звіт про виконання лабораторної роботи.

Література: [3], лабораторна робота 3;

дистанційний курс «Тепломасообмін»;

паспорт лабораторії https://vde.kpi.ua/wp-content/uploads/2022/06/lab_passport_317.pdf

Порівняння ступеня чорноти пластин з лакофарбовим та селективним покриттями
(Лабораторна робота №4)

Мета роботи – є практичне застосування теорії теплообміну випромінюванням до вивчення матеріалів, що використовуються для виготовлення абсорберів сонячних колекторів; експериментальне визначення випромінювальної здатності пластини з селективним покриттям методом порівняння з пластиною з сірим покриттям; отримання навичок у виконанні експериментальних робіт з дослідження променевого теплообміну.

Завдання роботи - експериментально визначити випромінювальну здатність алюмінієвої пластини з селективним покриттям методом порівняння з алюмінієвою пластиною з «сірим» лакофарбовим покриттям.

Програма проведення досліджень та опрацювання результатів:

1. При підготовці до заняття вивчити методичні вказівки до виконання лабораторної роботи, заготовити таблиці для запису спостережень та результатів вимірювань.
2. Перед виконанням роботи зробити зовнішній огляд лабораторної установки, впевнитися у її цілісності.
3. Перевірити рівень води у посудині по контрольній мітці, при необхідності долити дистильовану воду. Встановити в посудину скляний лабораторний термометр.
4. Впевнитись, що ручка лабораторного автотрансформатора знаходиться в нульовому положенні.
5. Виміряти товщину еталонної пластини та записати її паспортний коефіцієнт теплопровідності. Записати паспортне значення ступеня чорноти пластин з лакофарбовим та селективним покриттями.
6. Включити персональний комп'ютер. Включити живлення приладу ПКРТ-0103. На персональному комп'ютері запустити програму «Термопара». Впевнитись, що програма працює та відображає значення температур по кожній термопарі.
7. Включити живлення лабораторного автотрансформатора і встановити напругу вказану викладачем.
8. Спостерігати зміну температур води, поверхонь еталонної та досліджуваних пластин за графіком, що відображається на моніторі комп'ютера.
9. Коригуючи напругу на нагрівачі досягти сталого стану пластини з селективним покриттям при її температурі 70°C. Записати значення всіх температур. Повторити експеримент тричі.
10. Коригуючи напругу на нагрівачі досягти сталого стану пластини з лакофарбовим покриттям при її температурі 70°C. Записати значення всіх температур. Повторити експеримент тричі.
11. Повторити експерименти за п.9 та 10 при інших значеннях температури пластин.
12. Для кожного дослідження обчислити густину теплового потоку, що віддавався від пластини з лакофарбовим покриттям та від пластини з селективним покриттям. Обчислити ступінь чорноти (випромінювальну здатність) пластини з селективним покриттям при температурі дослідження. Порівняти отримане значення ступеня чорноти пластини з селективним покриттям з паспортним значенням, пояснити можливе розходження їх значень.
13. Оформити звіт про виконання лабораторної роботи.

Література: [3], лабораторна робота 1;

дистанційний курс «Тепломасообмін»;

паспорт лабораторії https://vde.kpi.ua/wp-content/uploads/2022/06/lab_passport_317.pdf

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Опрацювання лекційного матеріалу	22
2	Підготовка до МКР	4
3	Підготовка до лабораторних робіт, проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях, оформлення звітів	8
4	Розв'язок задач домашніх практичних завдань (ДПЗ)	8
5	Підготовка до складання заліку	6
	Разом	48

Політика і контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- Правилами відвідування занять не передбачено оцінка присутності або відсутності здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нарахування заохочувальних або штрафних балів. Відпрацювання та захист лабораторних робіт і розв'язання задач ДПЗ з дисципліни є обов'язковою умовою допуску до заліку;
- студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації в інтернеті та дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;
- правила захисту лабораторних робіт: допускається як індивідуальний захист лабораторних робіт, так і колективний (у складі бригади, склад якої визначають на першому лабораторному занятті). В обох випадках оцінюють індивідуальні відповіді кожного студента;
- правила захисту практичних завдань: захист домашнього практичного завдання з дисципліни здійснюється індивідуально і лише у випадку, коли студент не погоджується із нарахованими балами за результатами її перевірки (за умови дотримання календарного плану виконання ДПЗ);
- правила призначення заохочувальних балів: заохочувальні бали не передбачаються.
- політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не виконав ДПЗ, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання захисту лабораторних робіт та результатів ДПЗ не передбачено;
- політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Тепломасообмін»;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соціальних мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

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

Поточний контроль: робота під час аудиторних практичних занять, самостійне розв'язання домашніх практичних завдань, захист лабораторних робіт, Виконання МКР.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: виконання домашніх практичних завдань, виконання усіх лабораторних робіт, семестровий стартовий рейтинг (R_S) 30 і більше 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 отримано R_L і R_D - $R_S = R_p + R_L + R_m + R_D < 30$ балів	Не допущено

Загальна рейтингова оцінка студента після завершення семестру складається з балів, отриманих за:

- Експрес опитування на практичних заняттях (R_p);
- виконання трьох домашніх практичних завдань (ДПЗ) (R_D).
- виконання та захист чотирьох лабораторних робіт (R_L);
- виконання двох модульних контрольних робіт (МКР) (R_m).

Експрес опитування на практичних заняттях (R_p)	Домашні практичні завдання (R_D)	Лабораторні роботи (R_L)	МКР (R_m)	R
10	60	20	10	100

Робота на практичних заняттях

На практичних заняттях здійснюється розв'язування практичних задач та експрес-опитування - задаються запитання про основні визначення, формулювання законів, одиниці виміру величин за темою задачі, що розв'язується. Відповідь на таке запитання потребує не більше 1 хвилини.

На одному практичному занятті здійснюється опитування 8 - 10 студентів, за семестр студентів опитують по 2 рази.

Ваговий бал одного опитування 5.

Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях: 5бали * 2 опитування = 10 балів.

Критерії оцінювання

- Самостійне розв'язання задачі, правильна відповідь на запитання – 5 балів,
- Самостійне розв'язання задачі, неточна відповідь на запитання – 4 бали,
- Розв'язання задачі з допомогою викладача, неточна відповідь на запитання – 3 бали,
- Розв'язання задачі з допомогою викладача, невірна відповідь на запитання – 1-2 бали,
- Відповідь невірна або не по суті, зволікання з розв'язуванням задачі - 0 балів.

Виконання домашніх практичних завдань (ДПЗ)

Згідно з навчальною програмою кожен студент самостійно виконує три домашніх практичних завдання які охоплюють всі розділи дисципліни.

Ваговий бал одного завдання – 20.

Максимальна кількість балів за виконання ДПЗ – $20 \cdot 3 = 60$.

Критерії оцінювання

- повне, вірне та вчасне виконання – 20 балів;
- при неповному виконанні завдань бали нараховуються пропорційними до частки вірних результатів по відношенню до загального їх числа у даному завданні;
- невірні результати, що отримані внаслідок математичних помилок але за правильно вибраними залежностями та даними, зараховуються з понижувальним коефіцієнтом 0,5;
- невірні результати, що отримані внаслідок неправильного вибору залежностей, довідкових даних або відступу від застосування одиниць вимірювання в СІ – 0 балів;
- на виконання кожного ДПЗ відводять 2 тижні з моменту видачі завдання.

Виконання та захист лабораторних робіт

Ваговий бал однієї лабораторної роботи – 5.

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює 5 бали \times 4 роботи = 20 балів.

Критерії оцінювання

- повне виконання експериментальної частини роботи, вірна обробка експериментальних даних, належне оформлення протоколу, повна відповідь на запитання при захисті роботи – 5 балів;
- повне виконання експериментальної частини роботи, вірна обробка експериментальних даних, неналежне оформлення протоколу або неповна відповідь при захисті роботи – 4 бали;
- повне виконання експериментальної частини роботи, обробка експериментальних даних з незначними помилками, неналежне оформлення протоколу, неповна чи неточна відповідь при захисті роботи – 3 бали;
- помилки в отриманні експериментальних даних, помилки в обробці експериментальних даних, неналежне оформлення протоколу, невірна відповідь при захисті роботи – 1-2 бали.

Модульні контрольні роботи (МКР)

Модульний контроль здійснюється частинами у два етапи. Напередодні першого календарного контролю проводиться МКР-1 та напередодні другого календарного контролю МКР-2 у формі тестів. Ваговий бал однієї частини МКР – 5 балів.

Максимальна кількість балів за виконання 2 частин МКР – $5 \cdot 2 = 10$ балів.

Критерії оцінювання

- повне, вірне та вчасне виконання – 5 балів;
- при неповному виконанні завдань бали нараховуються пропорційними до частки вірних результатів по відношенню до загального їх числа у даному завданні.

Форма семестрового контролю – залік

Залік з дисципліни проводиться у письмовій формі. Заліковий білет містить три питання. Максимальний рейтинг заліку становить:

$Rz = \text{перше питання} \times 34 \text{ бали} + 2 \text{ питання} \times 33 \text{ бали/питання} = 100 \text{ балів.}$

Критерії оцінювання відповідей на заліку

Рейтинг заліку за одне питання $Rz=32...33$ (34): Студент дав вичерпні відповіді на питання (при необхідності і додаткові), дає визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні.
Рейтинг заліку за одне питання $Rz=29..31$: Відповідаючи на питання, студент припускається окремих помилок, але може їх самостійно виправити при уточнюючому запитанні викладача,

знає визначення основних понять і величин дисципліни, в цілому розуміє фізичну суть процесів тепломасообміну, що вивчались.

Рейтинг заліку за одне питання $R_z=25..28$: Відповідаючи на питання, студент припускається помилок, але може їх виправити за допомогою викладача; знає визначення окремих понять і величин дисципліни, в цілому розуміє фізичну суть процесів тепломасообміну.

Рейтинг заліку за одне питання $R_z=20...24$: Студент частково відповідає на залікове питання, припускається суттєвих помилок, не може виправити помилки за допомогою викладача, недостатньо розуміє фізичну суть процесів тепломасообміну. Відповіді непослідовні і нечіткі.

Рейтинг заліку за одне питання $R_z =19$ і менше балів: У відповіді студент припускається суттєвих помилок, не може виправити помилки за допомогою викладача, не розуміє фізичну суть процесів тепломасообміну. Відповіді некоректні або не відповідають суті питання.

Остаточний рейтинг студента складає суму балів , отриманих за виконання всіх завдань передбачених РСО, або за виконання залікового завдання.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік запитань, які виносяться на семестровий контроль (залік)

1. Способи перенесення теплоти. Кількісні показники в процесах переносу теплоти.
2. Основні поняття про температурне поле. Градієнт температури.
3. Закон Фур'є.
4. Поняття про коефіцієнт теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності газів, рідин, твердих тіл.
5. Диференційне рівняння теплопровідності.
6. Умови однозначності процесів теплопровідності.
7. Теплопровідність одношарової плоскої стінки при граничних умовах першого роду.
8. Теплопровідність багатшарової плоскої стінки при граничних умовах першого роду.
9. Теплопровідність одношарової плоскої стінки при граничних умовах третього роду (теплопередача через плоску стінку).
10. Теплопровідність багатшарової плоскої стінки при граничних умовах третього роду.
11. Теплопровідність циліндричної стінки при граничних умовах першого роду.
12. Теплопровідність циліндричної стінки при граничних умовах третього роду.
13. Теплопровідність багатшарової циліндричної стінки при граничних умовах третього роду.
14. Критичний діаметр теплової ізоляції циліндричного трубопроводу.
15. Способи інтенсифікації процесу теплопередачі.
16. Диференційне рівняння теплопровідності ребра (стержня) постійного поперечного перерізу.
17. Теплопровідність ребра кінцевої довжини.
18. Ефективність плоского ребра.
19. Теплопередача через плоску ребрену стінку. Коефіцієнт ребрення.
20. Теплопровідність плоскої стінки із внутрішніми джерелами теплоти.
21. Теплопровідність в однорідному циліндричному стержні із внутрішніми джерелами теплоти.
22. Аналітичний опис процесу нестационарної теплопровідності
23. Аналітичний опис процесу нестационарної теплопровідності в безрозмірній формі. Вирази та фізичний зміст числа Біо та числа Фур'є.
24. Нестационарна теплопровідність. Охолодження/нагрівання нескінченної пластини.
25. Аналіз нестационарного поля температур в пластині.
26. Визначення кількості теплоти, що віддається пластинною в процесі охолодження.
27. Регулярний режим охолодження тіл.
28. Фізична суть конвективного теплообміну та тепловіддачі.

29. Рівняння Ньютона-Ріхмана. Рівняння тепловіддачі Біо-Фур'є.
30. Природа виникнення руху рідини. Вільний та вимушений рух. Режими руху рідини та їх вплив на перенесення теплоти.
31. Умови «прилипання» рідини до поверхні тіла. Гідродинамічний пограничний шар: ламінарний та турбулентний.
32. Тепловий пограничний шар. Формування гідродинамічного та теплового пограничних шарів при вільному русі рідини.
33. Диференційне рівняння теплопровідності для потоку рухомої рідини.
34. Рівняння руху в'язкої рідини – рівняння Нав'є – Стокса..
35. Рівняння руху в'язкої рідини з врахуванням залежності густини рідини від температури.
36. Рівняння суцільності, нерозривності потоку рідини.
37. Аналітичний опис задачі конвективного теплообміну пластини.
38. Масштабне перетворення диференційного рівняння теплообміну. Фізичний смисл числа Нуссельта.
39. Масштабне перетворення диференційного рівняння енергії. Фізичний смисл чисел Пекле, Рейнольдса, Прандтля.
40. Масштабне перетворення диференційного рівняння руху рідини при конвективному теплообміні. Фізичний смисл чисел Грасгофа, Архімеда, Ейлера.
41. Рівняння подібності для процесів конвективного теплообміну.
42. Умови подібності фізичних процесів. Моделювання процесів конвективного теплообміну.
43. Гідродинамічна характеристика процесу при поздовжньому омиванні пластини потоком рідини. Формули для визначення товщини ламінарного та турбулентного пограничних шарів.
44. Інтегральне рівняння енергії для теплового пограничного шару.
45. Тепловіддача конвекцією при ламінарному русі рідини вздовж плоскої поверхні (пластини). Формули для визначення локального та середнього коефіцієнта тепловіддачі.
46. Аналогія Рейнольдса. Рішення задачі теплообміну для пластини при турбулентному пограничному шарі. Формули для визначення локального та середнього коефіцієнта тепловіддачі.
47. Особливості гідродинаміки та теплообміну при вимушеному русі рідини в каналах. Режими руху рідини в каналах. Епюри швидкості рідини по перерізу каналу при ламінарній та турбулентній течії. Визначення середньої швидкості рідини у каналі.
48. Початкові відрізки гідродинамічної та теплової стабілізації при течії рідини в каналах. Особливості теплообміну на відрізку теплової стабілізації.
49. Тепловіддача при ламінарній течії рідини в циліндричному каналі при в'язкісному та в'язкісно-гравітаційному режимах.
50. Коефіцієнт тепловіддачі при турбулентній течії в циліндричному каналі. Розрахунок теплообміну для каналів не круглого профілю.
51. Характер течії при поперечному омиванні трубки. Характер пограничного шару при омиванні трубки. Залежність локального коефіцієнта тепловіддачі по околу трубки при її поперечному омиванні рідиною
52. Розрахункові залежності для визначення середнього коефіцієнта тепловіддачі труби при поперечному омиванні потоком рідини.
53. Розташування трубок у трубних пучках. Особливості гідродинаміки пучка труб. Формули для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі від труб у пучку.
54. Природна конвекція. Основні фізичні закономірності гідродинаміки та тепловіддачі при вільному русі рідини в необмеженому об'ємі біля вертикальної пластини. Змінатемператури та швидкості рідини в пограничному шарі.
55. Визначення локального та середнього коефіцієнта тепловіддачі при вільному русі рідини біля вертикальної поверхні теплообміну для умов ламінарного пограничного шару.
56. Визначення середнього коефіцієнта тепловіддачі при вільному русі рідини біля горизонтальної труби (формула Міхєєвої).
57. Визначення середнього коефіцієнта тепловіддачі при вільному русі рідини за узагальнюючою

формулою Міхеєва.

58. Тепловіддача при вільному русі рідини в обмеженому об'ємі.
59. Основні фізичні закономірності процесу конденсації пари. Плівкова та краплинна конденсація.
60. Тепловіддача при конденсації сухої насиченої пари на вертикальній поверхні. Зв'язок коефіцієнта тепловіддачі з товщиною плівки конденсату.
61. Тепловіддача при конденсації сухої насиченої пари на вертикальній поверхні. Рішення Нуссельта для локального та середнього коефіцієнта тепловіддачі.
62. Тепловіддача при конденсації сухої насиченої пари на вертикальній поверхні. Визначення коефіцієнта тепловіддачі середнього по висоті поверхні з врахуванням змінності фізичних параметрів рідини та хвильового руху плівки конденсату.
63. Тепловіддача при конденсації сухої насиченої пари на вертикальній поверхні. Формула для визначення коефіцієнта тепловіддачі в безрозмірній формі.
64. Тепловіддача при конденсації сухої насиченої пари на вертикальній поверхні. Визначення коефіцієнта тепловіддачі при змішаному режимі руху плівки конденсату.
65. Тепловіддача при конденсації сухої насиченої пари на нахиленій поверхні. Формула Нуссельта для визначення коефіцієнта тепловіддачі при конденсації пари на горизонтальній трубці.
66. Вплив окремих факторів на інтенсивність тепловіддачі при конденсації пари : наявності газів, що не конденсуються, та просторового положення труб.
67. Конденсація пари в трубних пучках. Розміщення трубок в пучку. Коефіцієнт тепловіддачі при конденсації пари на трубці n -ряду та середній для всього горизонтального пучка.
68. Кипіння та випаровування, кипіння на поверхні та в об'ємі, бульбашкове та плівкове кипіння. Умови необхідні для настання кипіння. Виникнення та ріст бульбашок пари на тепловіддаючій поверхні. Визначення критичного радіуса зародка бульбашки.
69. Відривання бульбашки від поверхні. Розрахунок відривного діаметра бульбашки.
70. Крива кипіння, характер процесів теплообміну в окремих областях, перша та друга кризи теплообміну при кипінні.
71. Характер кривих кипіння при різних способах підведення теплоти, перша та друга кризи теплообміну при кипінні.
72. Емпіричні рівняння для визначення коефіцієнта тепловіддачі при бульбашковому кипінні рідини, умови їх застосування.
73. Перша критична густина теплового потоку при кипінні рідини, рівняння для її розрахунку. Вибір робочих значень густини теплового потоку при бульбашковому кипінні рідини.
74. Критеріальна формула Кутателадзе для визначення інтенсивності тепловіддачі при бульбашковому кипінні рідини.
75. Фізична картина процесу кипіння рідини в вертикальній та горизонтальній трубках.
76. Випромінювання. Види електромагнітного випромінювання. Теплове випромінювання. Поглинання, відбивання та пропускання випромінювання.
77. Поглинання, відбивання та пропускання випромінювання абсолютно чорного тіла, дзеркального та абсолютно білого тіл, прозорого тіла.
78. Види променевих потоків.
79. Закон Планка. Закон Віна.
80. Закон Стефана-Больцмана для абсолютно чорного тіла. Випромінювальна здатність сірих тіл. Ступінь чорноти.
81. Закон Кірхгофа. Селективне покриття.
82. Теплообмін випромінюванням між двома паралельними поверхнями. Теплообмін випромінюванням в системі двох тіл, коли зовнішнє тіло охоплює внутрішнє тіло.
83. Теплообмін випромінюванням між двома паралельними тілами при наявності екранів.
84. Об'ємне поглинання та випромінювання. Закон Бугера.
85. Теплове випромінювання газів. Теплове випромінювання димових газів. Густина потоку випромінювання від газу до оточуючих його поверхонь.
86. Складний теплообмін. Розрахунок густини теплового потоку при складному радіаційно-конвективному теплообміні.
87. Види теплових розрахунків теплообмінних апаратів. Основні положення теплового

розрахунку теплообмінних апаратів.

88. Середній температурний напір. Вплив схеми руху теплоносіїв на температурний напір.

89. Порядок конструкторського теплового розрахунку теплообмінних апаратів.

90. Порядок повірного теплового розрахунку теплообмінних апаратів.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА, к.т.н. Жовніром М.М.

Ухвалено кафедрою відновлюваних джерел енергії ФЕА (протокол № 10 від 17.05.2022 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 16.06.2022 р.)