



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>ТЕПЛОМАСООБМІН (HEAT AND MASS TRANSFER)</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)/заочна/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин / 4 кредити ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / МКР</i>
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ViewSchedule.aspx?q=1c48a746-04ff-41f1-86b3-bf84c967d32c
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>доцент к. т. н. Жовмір Микола Михайлович 097 546 5137</i> Практичні: <i>. асистент Мельник Олександр Анатолійович 068 623 7435</i> Лабораторні: <i>доцент к. т. н. Жовмір Микола Михайлович,</i> <i>асистент Мельник Олександр Анатолійович</i>
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/MTQ3NTA2Mzg4OTg2?cjc=mjimiuyt

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 з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» зі спеціалізацією «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії».

Метою навчальної дисципліни є одержання теоретичних і практичних знань про процеси перенесення теплоти, зокрема в енергетичних установках з використанням енергії відновлюваних джерел; формування у студентів здатностей використовувати основні закони переносу теплоти для аналізу процесів, що відбуваються в електротехнічних та енергетичних установках; вміння використовувати математичний опис при розрахунку основних характеристик процесів переносу теплоти, конструктивних характеристик та теплових режимів роботи енергетичних установок, формування вмінь та набуття досвіду експериментального дослідження процесів переносу теплоти.

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.

Програмні результати навчання:

Загальні компетенції:

ЗК1 - Здатність застосовувати знання на практиці – стосовно застосування знань теорії тепломасообміну на практиці для розрахунків процесів передачі теплоти в енергетичному обладнанні;

ЗК2 - Здатність спілкуватися державною мовою як усно так і письмово – стосовно способів та процесів передавання теплоти, теплового стану та теплових режимів енергетичного обладнання;

ЗК5 - Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел - з питань розрахунку процесів теплообміну, вибору розрахункових залежностей та значень теплофізичних характеристик матеріалів, робочих тіл, теплоносіїв.

ЗК7 - Здатність приймати обґрунтовані рішення – стосовно забезпечення належного теплового стану електротехнічного та теплоенергетичного обладнання, обґрунтування інтенсивності передачі теплоти, геометричних характеристик теплообмінного обладнання та режимних параметрів його роботи;

ЗК9 - Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня - стосовно способів та процесів передавання теплоти, теплового стану та теплових режимів енергетичного обладнання;

Фахові компетенції спеціальності:

ФК 2 – Здатність вирішувати практичні задачі із залученням апарату вищої математики, загальної фізики та теоретичної електротехніки – стосовно отримання диференціальних рівнянь передавання теплоти, формулювання умов однозначності, інтегрування з отриманням залежностей для інженерних розрахунків.

ФК 11 – Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці – усвідомлення впливу теплового стану обладнання та устаткування на його енергетичну ефективність, надійність та безпечність, впливу теплових режимів на можливість реалізації переваг нових технологій.

Фахові компетенції за спеціалізацією Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії:

ФК1.1 – Здатність застосовувати методи діагностики стану обладнання та устаткування відновлюваної енергетики, проводити сертифікацію та експертизу об'єктів відновлюваної енергетики – стосовно діагностики теплового стану устаткування, діагностики перевантажень за тепловим станом, визначення потоків теплової енергії, складання енергетичних балансів при експертизі енергетичної ефективності електротехнологічного та теплоенергетичного обладнання, будівель та їх елементів.

ФК1.2 – Здатність перевіряти технічний стан, організовувати обслуговування та ремонт електроенергетичних електротехнологічних систем, пристроїв, комплексів та устаткування традиційної та відновлюваної енергетики – стосовно здатності застосування знань про властивості температурних полів, розуміння співвідношень інтенсивності процесів передачі теплоти в різних умовах, розуміння впливу особливостей теплообміну на технічний стан, розвиток перед аварійного та аварійних станів обладнання, на працездатність, досягнути потужність та енергетичну ефективність обладнання.

Знання за спеціалізацією Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії :

ЗН 1.1 – Знати існуючі підходи до проектування, виготовлення, випробувань та експлуатації обладнання та устаткування нетрадиційної та відновлюваної енергетики – стосовно знання теорії тепломасообміну та її застосування до розрахунку інтенсивності процесів передачі теплоти в енергетичному обладнанні при його конструюванні, виготовленні, випробуваннях, виборі стандартного обладнання при проектуванні та перевірки можливості його застосування, особливостях здійснення процесів теплообміну для забезпечення належної експлуатації обладнання.

ЗН 1.3 - Знати електрофізичні та теплотехнічні процеси і явища, що відбуваються в обладнанні та устаткуванні нетрадиційної та відновлюваної енергетики – знати фізичну суть процесів переносу теплоти теплопровідністю, конвекцією, при кипінні та конденсації, променевому теплообміні, їх залежність від теплофізичних властивостей тіл, теплоносіїв та робочих тіл, геометричних розмірів, форми та орієнтації в просторі, режимних умов.

ЗН 1.7 - Знати фактори, що призводять до виникнення незворотних процесів в устаткуванні та обладнанні електричних станцій та об'єктів відновлюваної енергетики – зокрема щодо характеру температурного поля в тілах з внутрішніми джерелами теплоти, настанням кризи теплообміну при кипінні в парогенераторах та випарниках теплових насосів, різкого зниження теплообміну при порушеннях герметичності конденсаторів парових турбін та теплових насосів.

Уміння:

УМ-2 - Уміти проводити аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах – зокрема використовуючи дані про тепловий стан обладнання та умови його охолодження.

УМ-7 - Уміти комбінувати методи емпіричного і теоретичного дослідження для пошуку шляхів зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні – зокрема з застосуванням положень теорії теплообміну та емпіричних даних про тепловий стан шин, проводів та кабелів для виявлення перевантажених ділянок і з'єднань, складання теплових балансів теплоенергетичного обладнання з метою виявлення втрат, оцінки енергетичної ефективності, визначення реальних потоків енергії, що передаються; вибір методів зменшення теплових втрат з використанням екранів та теплоізоляції.

Уміння за спеціалізацією Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії:

УМ-1.1 – Уміти обирати конструктивні форми та проводити розрахунок устаткування та обладнання відновлюваної енергетики, електрофізичних процесів й явищ, що відбуваються в електричних апаратах – стосовно розрахунку процесів передачі теплоти.

УМ-1.4 – Уміти розраховувати устаткування та обладнання нетрадиційної та відновлюваної енергетики – стосовно розрахунку процесів передачі теплоти в обладнанні, вибору режимів роботи теплообмінних апаратів, систем охолодження.

УМ-1.5 - Уміти впроваджувати заходи запобігання небезпечних ситуацій на обладнанні та устаткуванні електричних станцій та інших об'єктів нетрадиційної та відновлюваної енергетики – стосовно вибору умов передачі теплоти, що забезпечують допустимі температурні умови роботи матеріалів, теплоносіїв та робочих тіл; вибору обґрунтованих та допустимих значень інтенсивності процесів передачі теплоти при кипінні теплоносіїв та робочих тіл; забезпечення допустимих температур на поверхні обладнання з влаштуванням теплоізоляції.

УМ-1.8 – Уміти визначати ефективність систем електроживлення, електричних станцій та інших об'єктів нетрадиційної та відновлюваної енергетики, а також будівель та споруд – стосовно вміння складати тепловий баланс, визначати корисний тепловий потік, теплові втрати.

Досвід:

- *аудиторної та самостійної роботи при засвоєнні нового матеріалу;*
- *використання набутих знань при самостійному розв'язанні типових задач:*
 - *розрахунку процесів теплопровідності через одно та багатопшарові плоскі та циліндричні стінки;*
 - *розрахунку інтенсивності конвективного теплообміну, теплообміну при зміні агрегатного стану, теплообміну випромінюванням та складного теплообміну;*
 - *розрахунку теплообмінних апаратів;*
- *експериментального дослідження процесів теплопровідності та теплообміну на працюючих установках з застосуванням сучасних засобів вимірювань та реєстрації даних, обробки результатів досліджень з отриманням рівнянь подібності.*

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти: теоретичною базою дисциплін «Вища математика», «Загальна фізика», «Електротехнічні матеріали», «Технічна термодинаміка». Дисципліна «Тепломасообмін», використовуючи відомі закони фізики та методи математичного аналізу, подає теорію тепломасообміну. При вивченні дисципліни потрібні також знання з 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. Дисципліна «Тепломасообмін» передувє вивченню дисциплін «Сонячна теплоенергетика», «Парові, водогрійні опалювальні котли та теплогенератори», «Перетворення та акумулювання енергії відновлюваних джерел», «Фотоенергетика».

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. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
2. Тепломасообмін (основи теорії і розрахунку): навч. посіб. /А.І. Погорєлов. – 2-е вид. випр. – Львів: Новий світ -2000, 2004. – 144 с.
3. Тепломасообмін : Метод. вказівки до виконання лабораторних робіт для студ. усіх форм навчання та студ.-іноземців за спец. 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”, спеціалізація “Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії”/М.М. Жовмір НТТУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського». - К. : ФЕА НТТУ «КПІ», 2017. – 40 с.
4. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1980. – 288 с.
5. Дистанційний курс «Тепломасообмін»
<https://classroom.google.com/c/MTQ3NTA2Mzq4OTQ2?cjc=mjmiyut>

Додаткові інформаційні ресурси близькі за змістом до викладу лекцій та практичних занять:

6. Михеев МА, Михеева И.М. Основы теплопередачи - М.: Энергия 1977. – 344 с.
7. Лабай В.Й. Тепломасообмін. - Львів: Тріада плюс, 1998.- 260 с.

8. Збірник задач з технічної термодинаміки та теплообміну: навч. посіб. / С.М. Константинов, Р.В. Луцук. – К.: Освіта України, 2009. – 544 с.
9. 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.
10. Основні залежності та приклади розрахунків теплообмінних апаратів. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад. Л.Г. Воронін, А.Р. Степанюк, Л.І. Ружинська, - Київ : НТУУ „КПІ”, 2011. - 68 с.

Додаткові інформаційні ресурси підвищеної деталізації у викладі матеріалу

11. Юдаев Б.Н. Теплопередача. - М.: Высшая школа, 1981. - 319 с.
12. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел., М. : Наука, 1964. – 488 с.
13. Bejan A., Kraus A.D. Heat transfer handbook. – USA, N.J., Hoboken: John Willey & Sons, Inc., 2003. – 1948 p.
14. Бекман Д. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. М.: Энергоиздат. 1983. - 325 с.

Інші додаткові та довідкові ресурси:

15. Кулиниченко В.Р. Справочник по теплообменным расчетам. - К.: Техніка, 1990. -165 с.
16. Недужий И.А., Алабовский А.Н. Техническая термодинамика и теплопередача. - К.: Вища школа, 1981. - 246 с.
17. Алабовский А.Н., Константинов С.М., Недужий И.А. Теплотехника. - К.: Вища школа, 1986. - 255 с.
18. Теплотехника / Под ред. А.П. Баскакова. - М.: Энергия, 1991.-224 с.
19. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидравлическое сопротивление: Справочное пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 367 с.
20. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник в 4-х томах/ Под общ. ред. В.А.Григорьева. - М.: Энергоатомиздат, 1991.
21. Бажан П.П., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. - М.: Машиностроение, 1989. - 366 с.
22. Справочник по теплообменным аппаратам: В 2-х томах. Том 1 / Под общ. ред. Б.С.Петухова, В.К. Шикова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 560 с.
23. Справочник по теплообменным аппаратам: В 2-х томах. Том 2 / Под общ. ред. О.Г. Мартыненко. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.

Навчальний контент

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]с. 4-7; 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). Літературні джерела: [1] с. 8-16. 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. Літературні джерела: [1] с. 16-20; 22-24. Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 3.</p>
4	<p>Тема 2.2. Теплопровідність при стаціонарному режимі. Аналіз диференційного рівняння теплопровідності. Теплопровідність одношарової та багатошарової плоскої стінки при граничних умовах першого та третього роду. Термічний опір. Коефіцієнт теплопередачі через плоску стінку. Літературні джерела: [1] с. 24-32. Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 4.</p>
5	<p>Тема 2.2. Теплопровідність при стаціонарному режимі (продовження). Теплопровідність одношарової та багатошарової 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. Літературні джерела: [1] с. 33-40. 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 оребрену стінку. Літературні джерела: [1] с. 44-50. 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] с. 58-66. 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] с. 66-67. Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 8.</p>

9	<p>Тема 2.3. Теплопровідність при нестационарному 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] с. 67-78. Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 9.</p>
10	<p>Тема 2.3. Теплопровідність при нестационарному 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] с. 78-84; 87-95. 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, теплофізичних параметрів 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] с. 108-114. 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] с. 114-123. 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, числа 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</p>

	<p>процесів конвективного теплообміну. Методи наближеного моделювання. Отримання емпіричних рівнянь подібності для визначення коефіцієнтів тепловіддачі. Введення поправки на змінність теплофізичних параметрів. Літературні джерела: [1] с. 129-140; 143-146; 154-155. 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 рідин, товщина гідродинамічного пограничного шару. Рівняння теплового потоку для теплового пограничного шару. Тепловіддача конвекцією при ламінарному русі рідини вздовж поверхні. Літературні джерела: [1] с. 165-166; 155-165. 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] с. 166-173. 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-гравітайному режимах. Розрахунок тепловіддачі при перехідному режимі течії. Розрахунок теплообміну в каналах некруглого перерізу. Літературні джерела: [1] с. 173-180; 183-192. Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 16.</p>
17	<p>Тема 4.1. Вимушена конвекція (завершення). Тепловіддача при поперечному омиванні одиначної круглої трубки. Характер течії 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 руб. Особливості гідродинаміки пучка труб. Тепловіддача при поперечному омиванні пучків труб коридорного та шахового розташування. Літературні джерела: [1] с. 193-200. 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</p>

	<p>щілин заповнених рідинами, коефіцієнт конвекції. Літературні джерела: [1] с. 201-210. 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 хвильових 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, формула Лабунцова. 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] с. 226-245. 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 поверхонь. Літературні джерела: [1] с. 250-263; 276-282 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. Літературні джерела: [1] с. 263-273. Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 21.</p>
22	<p>6. Теплообмін випромінюванням. Складний теплообмін. 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. Літературні джерела: [1] с. 312-326. 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</p>

	<p>середовищі при наявності екранів. Теплообмін випромінюванням між тілом та його оболонкою. Калориметричний метод визначення випромінювальної здатності тіла. Променивий теплообмін між двома тілами довільно розташованими у просторі.</p> <p>Літературні джерела: [1] с. 326-342; 334-342; 360-362; 368-373; [2] с. 70-81.</p> <p>Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 23.</p>
24	<p>Теплообмін випромінюванням (завершення). Об'ємне поглинання випромінювання, закони 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] с. 360-362; 368-378.</p> <p>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). теплообмінних апаратів. Основні положення теплового розрахунку теплообмінних апаратів: види теплових розрахунків, рівняння теплового балансу теплообмінного апарата, рівняння теплопередачі у теплообмінному апараті.</p> <p>Літературні джерела: [1] с. 379-382; Ознайомитися з конструктивним устроєм теплообмінників за одним з джерел [21 - 23].</p> <p>Дистанційний курс «Тепломасообмін» лекція 25.</p>
26	<p>Тема 7.1 Основи розрахунку теплообмінних апаратів (продовження). Основні схеми руху теплоносіїв: прямиотечія, протитечія, перехресна та складні схеми руху теплоносіїв. Характер зміни температур при прямиотечії та протитечії. Середня різниця температур теплоносіїв. Визначення температурного напору при складних схемах руху теплоносіїв.</p> <p>Літературні джерела: [1] с. 382-386.</p> <p>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 протитечією та прямиотечією. Порядок конструкторського теплового розрахунку теплообмінника. Порядок повірочного теплового розрахунку теплообмінника.</p> <p>Літературні джерела: [1] с. 386-390.</p> <p>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 ДКР1 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 ДКР1
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 дротів та ізольованих проводів). Теплопровідність ребер. Тепловіддача оребреної поверхні, теплопередача через ребристу стінку (оребрена труба 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 ДКР1 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 ДКР1
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 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. Домашнє завдання: самостійне розв'язання задач ДКР2 за тематикою заняття. 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 ДКР2
4	<p>Тема 5.1 Теплообмін при конденсації Тема 5.2 Теплообмін при кипінні Основні питання практичного заняття 4. Тепловіддача при плівковій конденсації чистих парів на вертикальній поверхні та горизонтальній трубі. Тепловіддача при</p>

	<p>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 ДКРЗ 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, - завдання ДКРЗ
5	<p>Тема 6.1 Теплообмін випромінюванням</p> <p>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.</p> <p>Задачі розрахунку теплообмінників при повітряному 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 ДКРЗ 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 ДКРЗ

Лабораторні роботи

№ з/п	Короткий зміст лабораторної роботи
1	<p style="text-align: center;"><i>Визначення коефіцієнта теплопровідності листового матеріалу методом порівняння (Лабораторна робота №1)</i></p> <p>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>Завдання роботи - експериментальне визначення коефіцієнта теплопровідності листового матеріалу методом порівняння.</p> <p>Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</p> <p>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</p>

	<p>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 значення температур на поверхнях пластин. Дослід повторити 3 рази. 12. За даними прямих 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>Література: [3], с.1-6, 7-13;</p> <p>дистанційний курс «Тепломасообмін», лабораторна робота 1.</p>
2	<p style="text-align: center;">Дослідження тепловіддачі горизонтальної труби при вільному русі повітря (Лабораторна робота №2)</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</p> <p>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 тепловіддача від якої буде досліджуватися. 5. Зачистити поверхню трубки мілким шліфувальним папером та протерти чистою тканиною змоченою спиртом. 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 три 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 вигляді таблиці в програмі Excel. 12. Для кожного досліду розрахувати повну густину теплового потоку, густину теплового потоку, 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.</p>

	<p>14. Для кожного досліду знайти табличні значення коефіцієнта теплопровідності повітря при температурі досліду та розрахувати число Нуссельта. 15. Для кожного досліду 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.</p> <p>Література: [3], с.1-6, 14-23;</p> <p>дистанційний курс «Тепломасообмін», лабораторна робота 2.</p>
3	<p style="text-align: center;">Дослідження кризи теплообміну при кипінні води в умовах великого об'єму (Лабораторна робота №3)</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</p> <p>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 зажимах струмопідводу. 8. Встановити рамку з струмопідводами 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 пар 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. 15. Для досліджених режимів розрахувати густину теплового потоку, електричний опір дроту, температуру дроту, температурний напір, коефіцієнт тепловіддачі. 16. 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. 17. Оформити звіт про виконання лабораторної роботи.</p> <p>Література: [3], с.1-6, 24-30;</p> <p>дистанційний курс «Тепломасообмін», лабораторна робота 3.</p>

4	<p style="text-align: center;"><i>Порівняння ступеня чорноти пластин з лакофарбовим та селективним покриттями (Лабораторна робота №4)</i></p> <p>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.</p> <p>Завдання роботи - експериментально визначити випромінювальну здатність алюмінієвої пластини з селективним покриттям методом порівняння з алюмінієвою пластиною з «сірим» лакофарбовим покриттям.</p> <p>Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</p> <p>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.</p> <p><i>Література: [3], с.1-6, 31-40;</i></p> <p><i>дистанційний курс «Тепломасообмін», лабораторна робота 4.</i></p>
---	---

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	14
	Підготовка до практичних занять	7

2	Проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях, оформлення звітів	8
3	Розв'язок задач ДКР	9
4	Підготовка до заліку	10
	Разом	48

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях. Відпрацювання лабораторних робіт з дисципліни є обов'язковою умовою допуску до заліку;
- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в 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 індивідуальних завдань: захист домашньої контрольної роботи з дисципліни здійснюється індивідуально і лише у випадку, коли студент не погоджується із нарахованими балами за результатами перевірки роботи викладачем (за умови дотримання календарного плану виконання ДКР);
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів: заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали. Заохочувальні бали нараховують за участь у факультетських та інститутських наукових конференціях з доповідями за тематикою дисципліни «Тепломасообмін». Штрафні бали нараховують за несвоєчасне виконання домашніх контрольних робіт та несвоєчасне здавання і захист лабораторних робіт.
- політика дедлайнів та перескладань: несвоєчасне виконання домашніх контрольних робіт та несвоєчасний захист лабораторних робіт передбачають нарахування штрафних балів. Якщо студент не виконував МКР або ДКР, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання захисту лабораторних робіт та переписування МКР, ДКР 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 соц.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: експрес-опитування, МКР, розв'язання задач на практичних заняттях, самостійне розв'язання задач домашніх контрольних робіт.

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

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: здавання домашніх контрольних робіт, зарахування усіх лабораторних робіт, семестровий рейтинг більше 30 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

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

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

- відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- розв'язання задач на практичних заняттях;
- виконання та захист чотирьох лабораторних робіт;
- виконання тестів аудиторних модульних контрольних робіт;
- виконання трьох індивідуальних домашніх контрольних робіт.

Експрес-опитування на лекційних заняттях	МКР	Розв'язання задач на практичних заняттях	Лабораторні роботи	ДКР	R _c	R _z	R
3	10	5	12	30	60	40	100

Відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях

Ваговий бал – 0,5.

Максимальна кількість балів на лекціях – $0,5 * 6 = 3$ бали.

При експрес-опитуванні задаються запитання про основні визначення, формулювання законів, одиниці виміру величин – відповідь на таке запитання потребує не більше 1 хвилини. За семестр на лекційних заняттях студенти можуть отримати по 6 запитань, по 6-7 студентів за одне заняття.

Критерії оцінювання

- Правильна відповідь на одне запитання з місця – 0,5 бала,
- Неточна відповідь – 0,25 бала,
- Відповідь неправильна або не по суті, зволікання чи ухилення від відповіді - 0 балів.

Розв'язання задач на практичних заняттях

Ваговий бал – 1.

Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях – $1 \text{ бали} * 5 = 5$ балів.

Критерії оцінювання

- самостійне розв'язання задачі, вільне володіння темою заняття – 1;

- розв'язання задачі за допомогою викладача, володіння окремими розділами теми заняття – 0,5;

Виконання та захист лабораторних робіт

Ваговий бал – 3.

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює $3 \times 4 = 12$ балів.

Критерії оцінювання

– повне виконання експериментальної частини роботи, точна обробка експериментальних даних, належне оформлення протоколу, повна відповідь при захисті роботи – 3 бали;

– повне виконання експериментальної частини роботи, точна обробка експериментальних даних, неналежне оформлення протоколу і неповна відповідь при захисті роботи – 2 бали;

– повне виконання експериментальної частини роботи, обробка експериментальних даних з незначними помилками, неналежне оформлення протоколу, неповна чи неточна відповідь при захисті роботи – 1 бал;

– помилки в отриманих експериментальних даних, помилки в обробці експериментальних даних, неналежне оформлення протоколу, неповна чи неточна відповідь при захисті роботи – 0,5 бала.

Модульні (аудиторні) контрольні роботи (МКР)

Згідно з робочою навчальною програмою кожен студент виконує дві модульні (аудиторні) контрольні роботи у формі тестів..

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

Критерії оцінювання

- повне, вірне та вчасне виконання – 5 балів;

- при неповному виконанні завдань бали нараховуються пропорційно до частки вірних результатів по відношенню до загального числа завдань даної ДКР.

Домашні контрольні роботи (ДКР)

Згідно з робочою навчальною програмою кожен студент виконує три домашніх контрольні роботи завдання яких охоплюють всі теми дисципліни.

Максимальна кількість балів за виконання ДКР – $10 \times 3 = 30$.

Критерії оцінювання

- повне, вірне та вчасне виконання – 10 балів;

- при неповному виконанні завдань бали нараховуються пропорційно до частки вірних результатів по відношенню до загального числа завдань даної ДКР;

- 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 кожної ДКР відводять 2 тижні з моменту видачі завдання; здача ДКР після встановленого терміну передбачає нарахування штрафного балу -1 за кожен тиждень понад встановлений термін.

Форма семестрового контролю – залік

Рейтинг $R_c \geq 0,4 \cdot R$, тобто 40 і більше балів – залік зараховується автоматично з перерахунком семестрового рейтингу у залікові бали: $R = R_c / 60 \cdot 100$.

Рейтинг R_c в межах $(0,3 - 0,4) \cdot R$, тобто 30 – 39 балів – студенти складають залік.

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 40 балів, а також ті, хто має рейтинг вище 40, але хоче підвищити оцінку, здають залік у письмовій формі. Заліковий білет містить три запитання. Максимальний рейтинг заліку становить:

$R_z = 3 \text{ питання} * 13 \text{ балів/питання} = 39 \text{ балів.}$

Студенти, що дали відповідь на білет за бажанням можуть відповісти на додаткове усне запитання (формулювання визначень та законів) з переліку запитань винесених на залік та отримати додатково 1бал.

При складанні заліку до семестрового рейтингу додаються бали отримані за відповіді на заліку і отримана сума балів переводиться до залікової оцінки за таблицею відповідності рейтингових балів оцінкам.

Критерії оцінювання відповідей на заліку

Рейтинг заліку за одне питання $R_z=12...13$: 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 $R_z=10..11$: Відповідаючи на питання, студент припускається окремих помилок, але може їх виправити за допомогою викладача; знає визначення основних понять і величин дисципліни, в цілому розуміє фізичну суть процесів тепломасообміну, що вивчались.

Рейтинг заліку за одне питання $R_z=8...9$: Студент частково відповідає на залікове питання, показує знання, недостатньо розуміє фізичну суть процесів тепломасообміну. Відповіді непослідовні і нечіткі.

Рейтинг заліку за одне питання $R_z =7$ і менше балів: У відповіді студент припускається суттєвих помилок, проявляє нерозуміння фізичної суті процесів тепломасообміну, не може виправити помилки за допомогою викладача. Відповіді некоректні, а в деяких випадках не відповідають суті поставленого запитання.

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 багатошарової плоскої стінки при граничних умовах першого роду.
9. Теплопровідність одношарової плоскої стінки при граничних умовах третього роду (теплопередача через плоску стінку).
10. Теплопровідність багатошарової 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 багатошарової 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 оребрену стінку. Коефіцієнт оребрення.
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 смисл 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 пластиною 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. Режим 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. Режим 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. Зміна температури 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 Міхеєвої).
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 трубі.
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.

Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 від 01.10.2020 ПРО ЗАТВЕРДЖЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИЗНАННЯ В КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ, НАБУТИХ У НЕФОРМАЛЬНІЙ/ІНФОРМАЛЬНІЙ ОСВІТІ

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

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

Ухвалено кафедрою відновлюваних джерел енергії ФЕА(протокол № 11 від 24.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол №__ від __. __.2021р.)

¹Методичною радою університету– для загальноуніверситетських дисциплін.