



Теплопередача

Робоча програма освітнього компонента (Силабус)

Реквізити освітнього компонента

Галузь знань	Перший (бакалавр)
Спеціальність	13 Механічна інженерія
Освітня програма	131 Прикладна механіка
Статус освітнього компонента	ОПП Інжиніринг пакування та пакувального обладнання
Форма навчання	Вибіркова
Рік підготовки, семестр	очна(денна)
Обсяг освітнього компонента	3 курс, весняний семестр
	4(120)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	4 години на тиждень (2 години лекційних, 1 година практичних занять 1 година лабораторних занять)
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доцент, к.т.н. ШИЛОВИЧ Тетяна Борисівна, https://cpsm.kpi.ua/shilovich-tetyana-borisivna.html?tmpl=component Практичні, Лабораторні: https://cpsm.kpi.ua/shilovich-tetyana-borisivna.html?tmpl=component доцент, к.п.н. КАЗАК Ірина Олександрівна, https://cpsm.kpi.ua/kazak-irina-oleksandrivna.html?tmpl=component
Розміщення курсу	Платформа Сікорський: https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3251

Програма освітнього компонента

1. Опис освітнього компонента, його мета, предмет вивчення та результати навчання

Більшість технологічних процесів підприємств з виробництва пакувальних матеріалів та виробів пов'язане з переносом теплоти, причому, у багатьох випадках ця операція є завершальною стадією технологічної переробки, яка визначає властивості матеріалів та якість продукції. Раціональний вибір режиму теплової обробки і відповідного теплообмінного обладнання визначають технологічні та експлуатаційні характеристики матеріалів і виробів, ресурсоенергозбереження, а також економічні показники виробництва.

Існує три принципово різних за своєю фізичною сутністю способи поширення теплоти: теплопровідність (кондукція) – перенос теплоти внаслідок хаотичного (теплого) руху мікрочастинок (молекул – у газах і краплинних рідинах, коливання атомів – у кристалічних решітках твердих тіл, дифузії вільних електронів – у металах), при їхньому безпосередньому зіткненні один з одним; конвекція – перенос теплоти внаслідок руху та перемішування макроскопічних об'ємів рідини або газу, тобто руху рідкого середовища як такого. Розрізняють вільну та вимушену конвекцію; та теплове випромінювання – перенос енергії за допомогою

електромагнітних хвиль інфрачервоної частини спектра випромінювання. Всі тіла здатні випромінювати енергію, при цьому внутрішня енергія тіла перетворюється на променеву, яка поглинається іншими тілами, знову перетворюючись у внутрішню. Цей вид теплообміну можливий між тілами різного агрегатного стану, як віддаленими один від одного, так і дотичними.

У виробництві процеси передачі теплоти здійснюються в пристроях, які називаються теплообмінними апаратами. У реальних теплообмінних апаратах теплообмін здійснюється не яким-небудь одним із зазначених способів, а комбінованим шляхом, причому в різних частинах апарата сполучення цих способів може бути різним. Наприклад, у печах теплота від топкових газів до поверхні випалюваних виробів передається всіма видами переносу - тепловим випромінюванням, конвекцією та теплопровідністю.

У теорії теплопередачі розрізняють два процеси теплообміну: тепловіддачу й теплопередачу. Тепловіддачею називають процес теплообміну між твердим тілом (наприклад, стінкою апарата) і дотичною з нею рідиною або газом. Процес теплообміну між двома рідинами, газами, між рідиною й газом (гарячим і холодним теплоносіями), розділеними твердою стінкою, називають теплопередачею. Таким чином, процес теплопередачі складається із процесу тепловіддачі від більш теплого теплоносія до стінки, теплопровідності через тверду стінку й тепловіддачі від стінки до більш холодного теплоносія.

Предмет освітнього компонента «Теплопередача» – процеси переносу теплоти в пристроях та апаратах полімерних та будівельних виробництв, розрахунки параметрів вказаних процесів.

Вирішення даної задачі визначається рівнем підготовки фахівців, які працюють у галузі інжинірингу пакування та пакувального обладнання.

Для успішного вирішення завдань розрахунку процесів теплопередачі фахівці мають вільно володіти інформацією, вміти вирішувати задачі теплопереносу в промисловому обладнанні.

Мета освітнього компонента «Теплопередача»

Метою вивчення даного **освітнього компонента** є формування у студентів комплексу знань в області законів теплообміну та теплообмінного обладнання, комплексу умінь та навиків, необхідних для проведення користуючись відповідними методиками та довідковими даними, здійснювати теплові та параметричні розрахунки теплообмінного обладнання. Відповідно до мети підготовка бакалаврів за даною спеціальністю з дисципліни вимагає посилення формування у бакалаврів наступних компетентностей:

Інтегральна компетентність:

- здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в прикладній механіці або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів механічної інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.;
- здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки (ФК1).
- Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкцій і процесів, в тому числі і за наявності деякої невизначеності (ФК2).
- здатність описувати та класифікувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні основних механічних теорій та практик, а також базових знаннях суміжних наук (ФК10).

Згідно з вимогами програми **освітнього компонента «Теплопередача»**, студенти після його засвоєння мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

- використовувати знання теоретичних основ механіки рідин і газів, теплотехніки та електротехніки для вирішення професійних завдань (PH02);
- знати та розуміти суміжні галузі (механіку рідин і газів, теплотехніку, електротехніку, електроніку) і вміти виявляти міждисциплінарні зв'язки прикладної механіки на рівні, необхідному для виконання інших вимог освітньої програми (PH09);
- здійснювати оптимальний вибір обладнання та комплектацію технічних комплексів (PH14).

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

Вивчення **освітнього компонента «Теплопередача»** базується на засадах інтеграції різноманітних знань, отриманих студентами протягом перших курсів бакалавріату при вивченні **освітніх компонентів** «Інформатика», «Математика», «Фізика», «Теоретичні основи теплотехніки». Дисципліна **«Теплопередача»** є освітнім компонентом професійної підготовки, що має забезпечити розв'язання комплексних проблеми в області інжинірингу, раціонального використання матеріальних та енергетичних ресурсів.

3. Зміст освітнього компонента

Розділ 1. Вступ

Тема 1. Основні поняття та завдання курсу.

Розділ 2. Теплопровідність

Тема 2. Основний закон теплопровідності. Диференціальне рівняння теплопровідності. Теплопровідність через одношарову плоску стінку.

Тема 3. Теплопровідність через багатошарову плоску стінку. Теплопровідність одношарової та багатошарової циліндричної стінки, сферичної стінки.

Розділ 3. Конвективний теплообмін

Тема 4. Теорія подібності, як теорія експерименту. Теорія розмірностей. Критеріальні рівняння.

Тема 5. Конвективний теплообмін. Вільна конвекція.

Тема 6. Вимушена конвекція. Течія в каналі. Поперечне обтікання поверхонь. Обтікання одиночної труби на "пучка" труб. Розрахункові формули. Методика їх використання. Розрахунки тепловіддачі "пучка" труб. Теплоізоляція. Критичний діаметр теплоізоляції.

Розділ 4. Теплова радіація

Тема 7. Основні закони випромінювання. Інтенсивність випромінювання. Теплообмін радіацією між твердими тілами. Основні розрахункові формули і методика їх використання. Ступінь чорноти.

Тема 8. Променивий теплообмін в газах. Фізика процесу, теплообмін між твердим тілом та газом. Основні розрахункові співвідношення. Інтенсифікація процесу променевого теплообміну.

Розділ 5. Теплообмін при зміні агрегатного стану речовини

Тема 9. Тепловіддача при конденсації пари.

Тема 10. Тепловіддача під час кипіння рідини.

Розділ 6. Теплопередача та теплообмінне обладнання

Тема 11. Теплопередача.

Тема 12. Теплообмінні апарати загального призначення. Перевірочний розрахунок. Теплообмін в апаратах для переробки пластмас, для виробництва будівельних матеріалів.

Розділ 7. Тепломасообмін.

Тема 13. Сушіння матеріалів.

Тема 14. Теоретична сушарка. Сушіння повітрям з рециркуляцією. Кінетика процесу сушіння "крива сушіння".

Розділ 8. Нестационарний теплообмін

Тема 15. Нестационарний теплообмін. Основне рівняння нестационарної теплопровідності.

Охолодження (нагрівання) пластини. Аналіз одержаного рішення. Кількість теплоти, яку віддає пластина.

Тема 16. Охолодження "безкінечного" циліндра. Рівняння. Граничні умови третього роду. Аналіз рішення. Кількість теплоти, яку віддає циліндр під час охолодження.

Тема 17. Регулярний режим охолодження. Теорема Кондратьєва. Наближені методи розрахунку задач теплопровідності.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Коваленко І.В., Малиновский В.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: підруч. – Київ: Інрес, Воля, 2006. – 261с.
2. Константинов С.М. Тепломасообмін: Підручник.-К. ВПІ ВПК: «Політехніка»: Інрес. – 2005. - 304 с.
3. Теплопередача: Практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів, які навчаються за програмою підготовки бакалаврів за спеціальностями 131 – «Прикладна механіка» та 133 – «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Т.Б. Шилович – Електронні текстові дані (1 файл: 1,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 39 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 1 від 07.09.2023 р.) за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету (протокол № 5 від 24.04.2023 р.) <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/60989>
4. Теплопередача: Лабораторний практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів, які навчаються за програмою підготовки бакалаврів за спеціальністю 131 – Прикладна механіка та 133 – Галузеве машинобудування / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Т.Б. Шилович, І. О. Казак – Електронні текстові дані (1 файл: 17 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 63 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48799>

Додаткова література

5. John H. Lienhard IV and John H. Lienhard V. A Heat Transfer Textbook Режим доступу <https://ahtt.mit.edu/wp-content/uploads/2019/08/AHTTv500.pdf> -696 p.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

6. Національна бібліотека ім. Вернадського Режим доступу <http://www.nbuv.gov.ua>

Навчальний контент

5. Методика опанування освітнього компонента

Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних, взаємозалежних знань з освітнього компонента «Теплопередача», рівень яких визначається цільовою установкою до кожної конкретної теми;
- забезпечення в процесі лекції творчої роботи студентів спільно з викладачем;
- виховання у студентів професійно-ділових якостей і розвиток у них самостійного творчого мислення;
- формування у студентів необхідного інтересу та надання напрямку для самостійної роботи;
- визначення на сучасному рівні розвитку науки в області сучасних методів та процесів теплопередачі;
- відображення методичної обробки матеріалу (виділення головних положень, висновків, рекомендацій, чітке і адекватне їх формулювання);
- використання для демонстрації наочних матеріалів, поєднання, по можливості їх з демонстрацією результатів і зразків;
- викладання матеріалів досліджень чіткою і якісною мовою з дотриманням структурно-логічних зв'язків, роз'яснення всіх нововведених термінів і понять;
- доступність для сприйняття даною аудиторією.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Годин
1	Основні поняття та завдання курсу. Вступ. Завдання курсу. Роль та місце теплових процесів в розрахунках машин та апаратів хімічної промисловості. Наука про теплообмін, її теоретична база. Сучасний стан науки про теплообмін. Досягнення вітчизняної науки. Література: [1] с. 107. Завдання на СРС. Визначити досягнення вітчизняної науки в області тепломасообміну	2
2	Основний закон теплопровідності. Диференціальне рівняння теплопровідності. Теплопровідність через одношарову плоску стінку. Теплопровідність. Основні поняття. Градієнт температури. Тепловий потік. Ізотермічні поверхні. Основний закон теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності. Диференціальне рівняння теплопровідності. Теплопровідність через одношарову плоску стінку. Література: [1] с. 107-112. Завдання на СРС. Вивчити основні положення гіпотези Фур'є.	2
3	Теплопровідність через багатошарову плоску стінку. Теплопровідність одношарової та багатошарової циліндричної стінки, сферичної стінки. Теплопровідність через циліндричну та сферичну стінки. Визначення теплового потоку, температури між шарами. Загальний та питомий тепловий потік. Теплопровідність одношарової та багатошарової	2

	циліндричної стінки. Питомий тепловий потік, температура на поверхнях контакту між шарами. Приблизний метод розрахунку теплопровідності через одношарову та багатошарову циліндричні стінки. Література: [1] с. 113-115. Завдання на СРС. Опрацювати умови однозначності.	
4	Теорія подібності як теорія експерименту. Теорія розмірностей. Критеріальні рівняння. Основні поняття теорії подібності. Три теореми подібності. Теорія розмірностей. Література: [1] с. 116-120. Завдання на СРС. Опрацювати теореми подібності.	2
5	Конвективний теплообмін. Вільна конвекція. Основні поняття та види конвективного теплообміну. Диференціальні рівняння. Одержання критеріїв конвективного теплообміну. Література: [1] с.120-124 Завдання на СРС. Опрацювати розрахунок критеріїв подібності при природному русі рідини. [5].	2
6	Вимушена конвекція. Течія в каналі. Поперечне обтікання поверхонь. Обтікання одиначної труби на "пучка" труб. Розрахункові формули. Методика їх використання. Розрахунки тепловіддачі "пучка" труб. Теплоізоляція. Критичний діаметр теплоізоляції. Поправки до розрахунку інтенсивності тепловіддачі. Поперечне, обтікання труби та «пучка» труб. Література: [1] с.105-107. Завдання на СРС. Опрацювати поправки при розрахунках некруглих перетинів каналів.	2
7	Основні закони випромінювання. Інтенсивність випромінювання. Теплообмін радіацією між твердими тілами. Основні розрахункові формули і методика їх використання. Ступінь чорноти. Основні поняття і визначення. Закони променевого теплообміну. Література: [1] с.140-142 Завдання на СРС. Опрацювати методика розрахунку теплообміну випромінюванням	2
8	Променевий теплообмін в газах. Фізика процесу, теплообмін між твердим тілом та газом. Основні розрахункові співвідношення. Інтенсифікація процесу променевого теплообміну. Теплообмін між твердими тілами, розділеними прозорим середовищем. Теплообмін випромінюванням при наявності екранів. Література: [1] с.143-144 Завдання на СРС. Опрацювати методика розрахунку теплообміну випромінюванням з екранами.	2
9	Тепловіддача при конденсації пари. Теплообмін при зміні агрегатного стану речовини. Фізика процесу. Основні особливості процесу. Класифікація випадків тепловіддачі при зміні агрегатного стану речовини. Тепловіддача при конденсації пари. Основні	2

	закономірності. Диференціальні рівняння процесу. Теоретичні рішення задачі конденсації. Рішення задачі теплообміну при конденсації на основі теорії подібності. Критеріальні рівняння. Методика їх використання. Особливості проходження процесу конденсації. Інтенсифікація процесу. Література: [1] с.106-107. Завдання на СРС. Опрацювати розрахунок критеріїв подібності при розв'язанні задач конденсації.	
10	Тепловіддача під час кипіння рідини. Тепловіддача під час кипіння рідини. Фізика процесу. Основні закономірності. Плівковий та бульбашковий процес кипіння. Критеріальні рівняння. Методика їх використання. Кипіння в великому об'ємі та в трубах. Література: [1] с.109-111. Завдання на СРС. Опрацювати методику розрахунку тепловіддачі при кипінні.	2
11	Теплопередача. Радіаційно-конвективна теплопередача через плоску та циліндричну стінки. Література: [6] с.120-123. Схеми течії теплоносія. Визначення середньої різниці температур теплоносіїв. Література: [1] с.145-149. Завдання на СРС. Опрацювати методику розрахунку середньо логарифмічного температурного напору.	2
12	Теплообмінні апарати загального призначення. Перевірочний розрахунок. Теплообмін в апаратах для переробки пластмас, для виробництва будівельних матеріалів. Теплообмінні апарати загального призначення. Основні схеми теплообмінних апаратів. Проектний та перевірочний розрахунки апаратів. Література: [1] Завдання на СРС. Опрацювати основні схеми теплообмінних апаратів	2
13	Сушіння матеріалів. Призначення процесу та його роль. Сушильні агрегати. Характеристика повітря як основного сушильного агента (вологість, відносна вологість, вологовміст, ентальпія). Статика основного сушильного процесу. Матеріальний і тепловий баланс. Література: [1] Завдання на СРС. Опрацювати основні схеми конструкцій сушарок	2
14	Теоретична сушарка. Сушіння повітрям з рециркуляцією. Кінетика процесу сушіння "крива сушіння". Теоретична сушарка. Дійсний процес сушіння та його аналіз. Діаграма сушильних процесів, побудова та розрахунки основного сушильного процесу за допомогою діаграми. Варіанти основного сушильного процесу та їх аналіз, шляхи інтенсифікації та оптимізації процесу. Сушіння повітрям рециркуляцією його. Основні аналітичні співвідношення. Побудова і розрахунки процесу в діаграмі. Кінетика процесу сушіння "крива сушіння". Література: [1] Завдання на СРС. Опрацювати побудову процесу сушіння в i-d діаграмі	2

15-17	Нестационарний теплообмін. Нагрівання нескінченної пластини. Аналіз одержаного рішення. Кількість теплоти, яку віддає пластина. Охолодження "безкінечного" циліндра. Рівняння. Граничні умови третього роду. Аналіз рішення. Кількість теплоти, яку віддає циліндр під час охолодження. Регулярний режим охолодження. Теорема Кондратьєва. Наближені методи розрахунку задач теплопровідності. Охолодження (нагрівання) пластин. Охолодження циліндра, сфери, тіл кінцевих розмірів. Наближені методи рішення задач нестационарного теплообміну. Література: [1] с. 74-120. Завдання на СРС. Опрацювати наближені методи рішення задач нестационарного теплообміну.	6
18	Залік	2
	Всього	36

Практичні заняття

У системі професійної підготовки бакалаврів з даного **освітнього компонента** практичні заняття займають 25 % аудиторного навантаження. Будучи доповненням до лекційного курсу, вони закладають і формують основи кваліфікації бакалавра в галузі механічної інженерії, а саме розрахунку теплових процесів в галузевому обладнанні. Зміст цих занять і методика їх проведення повинні забезпечувати розвиток творчої активності особистості. Вони розвивають конструктивне мислення і здатність користуватися спеціальною термінологією, дозволяють перевірити знання, тому даний вид роботи виступає важливим засобом оперативного зворотного зв'язку. Практичні заняття повинні виконувати не тільки пізнавальну і виховну функції, але й сприяти зростанню студентів як фахових працівників в області прикладної механіки.

Основні завдання циклу практичних занять:

- допомогти студентам систематизувати, закріпити і поглибити знання теоретичного характеру в області сучасних методів розрахунку теплообмінних процесів в обладнанні;
- навчити студентів прийомам розв'язання практичних завдань, сприяти оволодінню навичками та вміннями виконання розрахунків, графічних та інших завдань;
- навчити їх працювати з довідковою літературою;
- формувати вміння вчитися самостійно, тобто опановувати методи, способи і прийоми самонавчання, саморозвитку і самоконтролю.

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)	Годин
1	Основні фізичні величини, визначення значень фізичних властивостей теплоносіїв. Література: [3] с. 5. Завдання на СРС. Опрацювати визначення фізичних властивостей повітря, води, трансформаторної олії.	2
2	Теплопровідність, методика рішення задач. Література: [3] с. 7-11.	2

	<i>Завдання на СРС. Опрацювати визначення теплового потоку, температури стінки для багатопарових стінок.</i>	
3	<i>Основні поняття та параметри, методика рішення задач вільної конвекції. Розрахунки коефіцієнта тепловіддачі при вільній конвекції в необмеженому просторі з використанням критеріальних рівнянь. Вибір рівнянь, визначальної температури та розміру.</i> <i>Література: [3] с. 11-13.</i> <i>Завдання на СРС. Опрацювати методику рішення задач для вільної конвекції в обмеженому просторі</i>	2
4	<i>Основні поняття та параметри, методика рішення задач вимушеної конвекції. Розрахунки коефіцієнта тепловіддачі в каналі з використанням критеріальних рівнянь.</i> <i>Література: [3] с. 13-19.</i> <i>Завдання на СРС. Опрацювати методику рішення задач для поперечного обтікання каналу</i>	2
5	<i>Основні поняття та параметри, методика рішення задач променевого теплообміну. Розрахунок теплообміну радіацією між твердим тілом та газом; між твердими тілами.</i> <i>Література: [3] с. 19-20.</i> <i>Завдання на СРС. Опрацювати методику рішення задач для теплообміну з екранами</i>	2
6	<i>Основні поняття та параметри, методика рішення задач кипіння та конденсації. Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі під час конденсації пари. Дві визначальні температури процесу. Критерій фазового переходу. Шаховий та коридорний пучок труб. Вибір температури стінки і її перевірка.</i> <i>Література: [3] с. 20-25.</i> <i>Завдання на СРС. Опрацювати методику рішення задач для кипіння рідини</i>	2
7	<i>Основні поняття та параметри, методика рішення задач теплопередачі. Розрахунки середнього температурного напору, коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі.</i> <i>Література: [3] с. 25-28.</i> <i>Завдання на СРС. Опрацювати методику рішення задач для теплопередачі через багатопарову стінку</i>	2
8	<i>Основні поняття та параметри, методика рішення задач при нестационарному теплообміну. Розрахунок охолоджуючих пристроїв. Рішення задачі на основі закономірностей нестационарної теплопровідності</i> <i>Література: [3] с. 32-34.</i> <i>Завдання на СРС. Опрацювати методику рішення задач для необмеженого циліндра</i>	2
9	<i>Модульна контрольна робота</i>	2
	<i>Всього</i>	18

Лабораторні заняття

У системі професійної підготовки бакалаврів з даного **освітнього компонента** практичні заняття займають 25 % аудиторного навантаження. Будучи доповненням до лекційного курсу, вони закладають і формують основи кваліфікації бакалавра в галузі механічної інженерії, а саме підготовки і проведення лабораторних досліджень теплових процесів, які відбуваються в галузевому обладнанні. Зміст цих занять і методика їх проведення повинні забезпечувати розвиток навичок роботи з вимірювальним обладнанням, виконання розрахунків, їх узагальнення та творче осмислення. Вони розвивають конструктивне мислення і здатність користуватися спеціальною термінологією, дозволяють перевірити знання, отримані на лекційних заняттях, тому даний вид роботи виступає важливим засобом оперативного зворотного зв'язку. Лабораторні заняття повинні виконувати не тільки пізнавальну і виховну функції, але й сприяти зростанню студентів як фахових працівників в області галузевого машинобудування.

Основні завдання циклу лабораторних занять:

- допомогти студентам систематизувати, закріпити і поглибити знання теоретичного характеру в області сучасних методів дослідження розрахунку теплообмінних процесів в обладнанні;
- навчити студентів прийомам отримання масиву даних та їх обробки, сприяти оволодінню навичками та вміннями виконання розрахунків та їх графічної обробки та узагальнення;
- навчити студентів працювати з довідниковою літературою;
- формувати вміння вчитися самостійно, тобто опановувати методи, способи і прийоми самонавчання, саморозвитку і самоконтролю.

№ з/п	Назва теми лабораторного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)	Годин
1	Дослідження процесу теплопровідності в циліндричній стінці за стаціонарного режиму. Література: [4] Завдання на СРС. За експериментальними даними побудувати лінійне температурне поле циліндричної стінки	4
2	Дослідження тепловіддачі керамічного циліндра в умовах вільної конвекції. Література: [4] Завдання на СРС. За експериментальними даними побудувати залежність температури від розташування термопари	4
3	Дослідження процесів теплової радіації чорної та сірої пластин. Література: [4] Завдання на СРС. За експериментальними даними побудувати залежність температури поверхні сірої пластини від ступеня чорноти	4
4	Дослідження сушіння пористих тіл з рециркуляцією повітря. Література: [4] Завдання на СРС. За експериментальними даними побудувати криву сушіння	4
5	Захист звіту з лабораторних робіт	2

	Всього	18
--	--------	----

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота займає 40% часу вивчення **освітнього компонента**, включаючи і підготовку до заліку. Головне завдання самостійної роботи студентів – це опанування наукових знань в областях, що не увійшли у перелік лекційних питань шляхом особистого пошуку інформації, формування активного інтересу до творчого підходу у навчальній роботі. У процесі самостійної роботи в рамках освітнього компоненту студент повинен навчитися глибоко аналізувати сучасні підходи до розробки та впровадження новітніх технологій розрахунку теплообмінного обладнання, виходячи із його технологічного призначення та параметрів роботи. Він повинен володіти основними прийомами та методами розрахунку.

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
Розділ 1. Вступ		
1	Тема 1. Основні поняття та завдання курсу. Проблематика науки про теплопередачу та теплообмін Література: [5] с. 34-46	4
Розділ 2. Теплопровідність		
2	Тема 2. Основний закон теплопровідності. Диференціальне рівняння теплопровідності. Теплопровідність через одношарову плоску стінку. Дослідити аналогію між термічним та електричним опором Література: [5] с. 63-78	2
	Тема 3. Теплопровідність через багатошарову плоску стінку. Теплопровідність одношарової та багатошарової циліндричної стінки, сферичної стінки.	2
Розділ 3. Конвективний теплообмін		
3	Тема 4. Теорія подібності, як теорія експерименту. Теорія розмірностей. Критеріальні рівняння. Критеріальні рівняння при ламінарному омиванні вертикальної ізотермічної стінки Література: [5], с.415 - 418 Тема 5. Конвективний теплообмін. Вільна конвекція. Вільна конвекція при різних видах розташування поверхонь Література: [5], с. 428-429 Тема 6. Вимушена конвекція. Течія в каналі. Поперечне обтікання поверхонь. Обтікання одиночної труби на "пучка" труб. Розрахункові формули. Методика їх використання. Розрахунки тепловіддачі "пучка" труб. Теплоізоляція. Критичний діаметр теплоізоляції. Аналогія Рейнольдса – Колборна Література: [5], с.313-315	10
Розділ 4. Теплова радіація		

	Тема 7. Основні закони випромінювання. Інтенсивність випромінювання. Теплообмін радіацією між твердими тілами. Основні розрахункові формули і методика їх використання. Ступінь чорноти. Тема 8. Променевий теплообмін в газах. Фізика процесу, теплообмін між твердим тілом та газом. Основні розрахункові співвідношення. Інтенсифікація процесу променевого теплообміну. Що таке сонячна енергія Література: [5],с. 590-594	4
Розділ 5. Теплообмін при зміні агрегатного стану речовини		
6	Тема 9. Тепловіддача при конденсації пари. Тема 10. Тепловіддача під час кипіння рідини. Кипіння в трубах Література: [5],с. 507-516	4
Розділ 6. Теплопередача та теплообмінне обладнання		
7	Тема 11. Теплопередача. Тема 12. Теплообмінні апарати загального призначення. Перевірочний розрахунок. Теплообмін в апаратах для переробки пластмас, для виробництва будівельних матеріалів. Функції і конструкції теплообмінників Література: [5], с. 100-112	6
Розділ 7. Тепломасообмін		
8	Тема 13. Сушіння матеріалів. Тема 14. Теоретична сушарка. Сушіння повітрям з рециркуляцією. Кінетика процесу сушіння "крива сушіння". Поняття про масоперенос Література: [5], с. 615-618	4
Розділ 8. Нестационарний теплообмін		
9	Тема 15. Нестационарний теплообмін. Основне рівняння нестационарної теплопровідності. Охолодження (нагрівання) пластини. Аналіз одержаного рішення. Кількість теплоти, яку віддає пластина. Тема 16. Охолодження "безкінечного" циліндра. Рівняння. Граничні умови третього роду. Аналіз рішення. Кількість теплоти, яку віддає циліндр підчас охолодження. Тема 17. Регулярний режим охолодження. Теорема Кондратьєва. Наближені методи розрахунку задач теплопровідності. Електрична та механічна аналогія нестационарної теплопровідності Література: [5], с. 196-200	2
10	Підготовка до модульної контрольної роботи	4
11	Підготовка до заліку	6
	Всього	48

7. Політика освітнього компонента

Правила відвідування занять та поведінки на заняттях

Відвідування занять є обов'язковим компонентом оцінювання. Студенти зобов'язані брати активну участь в навчальному процесі, не спізнюватися на заняття та не пропускати їх без поважної причини, не заважати викладачу проводити заняття, не відволікатися на дії, що не пов'язані з навчальним процесом.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

- заохочувальні бали можуть нараховуватись викладачем виключно за виконання творчих робіт з дисципліни або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату:
 - <https://www.coursera.org/learn/thermodynamics-intro>;
 - <https://www.coursera.org/learn/sustainability-fuels-ash-chemistry-deposits-corrosion-additives>
 Але їхня сума не може перевищувати 10% від рейтингової шкали.
- штрафні бали передбачені в разі виявлення плагіату або грубого порушення розрахункової частини лабораторної роботи (неприйнятні значення величин, графічна обробка даних, які порушують уявлення про фізику процесу).

Політика дедлайнів та перескладань

У разі виникнення заборгованостей з освітнього компонента або будь-яких форс-мажорних обставин, студенти мають самостійно зв'язатися з викладачем по доступних (наданих викладачем) каналах зв'язку для розв'язання проблемних питань та узгодження алгоритму дій для відпрацювання. Про виникнення форс-мажорних обставин студент має повідомити зразу після їх настання, не чекаючи наслідків у вигляді незаліку або штрафних балів.

Політика академічної доброчесності

Плагіат та інші форми недоброчесної роботи неприпустимі. До плагіату відноситься відсутність посилань при використанні друкованих та електронних матеріалів, цитат, думок інших авторів. Неприпустимі підказки та списування під час написання тестів, проведення занять; здача заліку за іншого студента; копіювання матеріалів, захищених системою авторського права, без дозволу автора роботи.

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

Політика академічної поведінки і етики

Студенти мають бути толерантним, поважати думку оточуючих, заперечення формулювати в коректній формі, конструктивно підтримувати зворотний зв'язок на заняттях.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

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

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з освітнього компонента згідно з робочим навчальним планом:

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи		
	Кредити	акад. год.	Лекції	Практичні	Лаб. роб.	СРС	МКР	РР	Семестровий контроль
6	4	120	36	18	18	48	1	—	залік

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

Рейтинг студента з освітнього компонента складається з балів, що він отримує за роботу на практичних та лабораторних заняттях, за виконання модульної контрольної роботи.

Семестровим контролем є залік.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

Виконання завдань на практичних заняттях.

Ваговий бал виконання 4 задач на практичних заняттях складає по 10 балів за задачу.

Критерії оцінювання виконання практичного завдання

Повнота та ознаки виконання завдання	Бали
Завдання виконане в повній мірі	10
Несвоєчасне виконання завдання, виконаного правильно	9-8
Неповне виконання завдання	7-6
Невиконання або неякісно виконане завдання	0

Виконання завдань на лабораторних заняттях.

Ваговий бал виконання 4 лабораторних робіт на лабораторних заняттях складає по 10 балів.

Критерії оцінювання виконання практичного завдання

Повнота та ознаки виконання завдання	Бали
Лабораторна робота виконане в повному обсязі і здана вчасно	10
Несвоєчасне виконання завдання, але правильно і в повному обсязі	9-8
Неповне виконання завдання	7-6
Невиконання або неякісно виконане завдання	0

Виконання модульної контрольної.

Ваговий бал виконання МКР складає 20 балів.

Критерії оцінювання виконання МКР

Повнота та ознаки виконання завдання	Бали
МКР виконана в повному обсязі	20
Незначні недоліки за пунктом 1	19-15
Значні недоліки за пунктом 1	14-10
Неповне виконання завдання	5-9
Неякісне виконання завдання	1-4
Невиконання завдання	0

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за практичні, лабораторні роботи та МКР не менше 60 балів.

Семестровий контроль: залік.

Ваговий бал залікової роботи складає 50 балів за 2 завдання.

Критерії оцінювання виконання залікової роботи

Повнота та ознаки виконання завдання	Бали
Робота виконана в повному обсязі	50
Незначні недоліки за пунктом 1	45-49

<i>Значні недоліки за пунктом 1</i>	<i>38-48</i>
<i>Неповне виконання завдання</i>	<i>30-37</i>
<i>Неякісне виконання завдання</i>	<i>0</i>
<i>Невиконання завдання</i>	<i>0</i>

Таким чином рейтингова семестрова шкала з освітнього компонента складає:

$$R = 40 + 40 + 20 = 100 \text{ балів}$$

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 30 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 15 балів.

За результатами навчальної роботи за 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 60 балів. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 30 балів.

Максимальна сума балів складає 100. Отримання заліку з освітнього компонента «автоматом» передбачено за умов набору 60 і більше балів за семестр.

Необхідною умовою допуску до заліку є рейтинг, що складає не менше 60% від виконання практичних, лабораторних робіт та МКР, тобто 60 балів.

Для отримання залікової оцінки, сума всіх отриманих протягом семестру рейтингових балів **R** переводиться згідно з таблицею:

Кількість балів	Оцінка
<i>95...100</i>	<i>відмінно</i>
<i>85...94</i>	<i>дуже добре</i>
<i>75...84</i>	<i>добре</i>
<i>65...74</i>	<i>задовільно</i>
<i>60...64</i>	<i>достатньо</i>
<i>RD < 60</i>	<i>незадовільно</i>
<i>Не виконані умови допуску</i>	<i>не допущено</i>

9. Додаткова інформація з освітнього компонента

Приблизний перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

1. Проаналізувати основні поняття про теплообмін. Перелічити основні способи теплообміну.
2. Описати, що таке температурне поле, градієнт температури, навести приклади.
3. Проаналізувати закон (гіпотезу) Фур'є, диференціальну та інтегральну форму запису.
4. Проаналізувати виведення диференційного рівняння стаціонарної теплопровідності.
5. Теплопровідність через пласку стінку за стаціонарних умов: диференційне рівняння, граничні умови, зміна температури в стінці та розрахунок питомого теплового потоку.
6. Перелічити та проаналізувати умови однозначності, які задаються для однозначного розв'язання задач теплообміну. Граничні умови.
7. Проаналізувати процес теплопровідності через багатошарову пласку стінку за стаціонарних умов.
8. Проаналізувати процес теплопровідності через циліндричну стінку за стаціонарних умов.
9. Проаналізувати процес теплопровідності через багатошарову циліндричну стінку за стаціонарних умов.
10. Проаналізувати основи теорії подібності.
11. Порівняти основні критерії подібності при розрахунках задач теплообміну.

12. Надати поняття про безрозмірні комплекси. Основні безрозмірні комплекси та їх фізичний сенс.
13. Охарактеризувати метод розмірностей для розв'язання задач теплообміну.
14. Охарактеризувати формулювання задачі конвективного теплообміну.
15. Проаналізувати закон Ньютона-Рихмана, коефіцієнт тепловіддачі.
16. Диференційне рівняння конвективного теплообміну.
17. Основні критеріальні рівняння конвективного теплообміну.
18. Тепловіддача при вимушеному русі рідини у трубах.
19. Визначення коефіцієнту тепловіддачі при вимушеному русі рідини у прямій трубі круглого перетину.
20. Коефіцієнт тепловіддачі при вимушеному русі рідини у трубах з заокругленням каналу та некруглого перетину.
21. Тепловіддача у шаховому пучку труб, розрахунок коефіцієнта тепловіддачі.
22. Тепловіддача у коридорному пучку труб, розрахунок коефіцієнта тепловіддачі.
23. Вільна конвекція. Тепловіддача при вільному русі рідини вздовж вертикальної пластини.
24. Вільна конвекція. Тепловіддача при русі рідини в обмеженому просторі.
25. Поняття про променевий теплообмін, закон Стефана-Больцмана. Теплообмін між твердими тілами, розділеними прозорим середовищем.
26. Проаналізувати закон Стефана-Больцмана для абсолютно чорного та сірих тіл.
27. Проаналізувати види променевих потоків. Абсолютно чорне, біле, прозоре тіла.
28. Проаналізувати теплообмін випромінюванням при наявності екранів.
29. Охарактеризувати поняття про ступінь чорноти тіл, приведена ступінь чорноти.
30. Складний теплообмін, визначення, поняття, основні розрахункові рівняння.
31. Тепловий розрахунок теплообмінників, види, методика.
32. Класифікація теплообмінників, основні конструкції.
33. Рівняння теплопередачі. Коефіцієнт теплопередачі, схеми течії теплоносія, середній температурний напір.
34. Класифікація теплообмінних апаратів за конструкцією
35. Конструкторський розрахунок теплообмінних апаратів поверхневого типу.
36. Перевірочний розрахунок теплообмінних апаратів поверхневого типу.
37. Поняття про конденсацію газів. Теплообмін при конденсації водяної пари.
38. Тепловіддача при плівковій конденсації.
39. Теплообмін при кипінні. Два режими кипіння.
40. Теплообмін при кипінні. Дві кризи кипіння.
41. Кипіння, режими кипіння, основні поняття.
42. Охарактеризувати процес сушіння матеріалів. Сушильні агенти. Повітря як сушильний агент.
43. Охарактеризувати процес сушіння матеріалів. Структура I-x діаграми вологого повітря.
44. Охарактеризувати процес сушіння матеріалів. Статика основного процесу сушки.
45. Охарактеризувати процес сушіння матеріалів. Тепловий баланс сушарок.
46. Охарактеризувати процес сушіння матеріалів. Сушіння з рециркуляцією повітря.
47. Охарактеризувати процес сушіння матеріалів. Кінетика сушки.
48. Нестационарний теплообмін. Диференційні рівняння та умови однозначності.
49. Проаналізувати випадки коли $Bi \rightarrow \infty$ і $Bi \rightarrow 0$ в задачі при охолодженні пластини.
50. Методика знаходження коренів μ в задачі охолодження пластини.

Приблизний перелік питань, які виносяться на модульну контрольну роботу

1. Проаналізувати застосування закону Фур'є для пласкої пластини (формулювання та рівняння).

2. Задача. Скільки теплоти втрачається через стіну з червоної цегли ($\lambda=0,7$ Вт/м ·К) товщиною 500 мм, площі 1 м^2 , якщо температура стінки в приміщенні 20°C , а назовні -20°C (мінус 20)?
3. Навести, за яким критерієм визначають режим руху рідини при вимушеній конвекції? Як розраховується для каналів круглого та не круглого перетинів?
4. Проаналізувати та дати визначення температурного поля, пояснити, що таке ізотермічна поверхня, навести приклади.
5. Задача. Визначити втрати теплоти з поверхні теплообмінника, Q , Вт, в навколишнє середовище при наступних умовах: площа поверхні апарату $F=15 \text{ м}^2$, температура поверхні 80°C , середня температура повітря 25°C , коефіцієнт тепловіддачі $\alpha=5$ Вт/м² ·К.
6. Пояснити, за яким критерієм характеризується під'ємна сила, що виникає в рідині внаслідок різниці густини.
7. Проаналізувати поняття про температурний градієнт.
8. Задача. Визначити лінійний тепловий потік через циліндричну стінку (трубу) зі сталі ($\lambda=20$ Вт/м ·К), якщо її внутрішній діаметр 20 мм, зовнішній 25 мм, температури зовнішніх поверхонь стінок труби $t_{c1}=80^\circ\text{C}$, $t_{c2}=50^\circ\text{C}$.
9. Як називаються безрозмірні комплекси, які складаються з різнорідних фізичних величин, навести приклади.
10. Як визначається критерій Грассгофа, навести формулу з поясненням величин, що входять та фізичний сенс, проаналізувати розмірності.
11. Задача. Скільки теплоти втрачається через стіну з червоної цегли ($\lambda_1=0,7$ Вт/м ·К) товщиною 500 мм, вкриту шаром ізоляції, товщиною 20 мм ($\lambda_2=0,25$ Вт/м ·К) з площі 1 м^2 , якщо температура стінки в приміщенні 20°C , а назовні -20°C (мінус 20) ?
12. Який розмір є визначальним при розрахунку теплообміну при поперечному обтіканні горизонтального пучка труб? Як розраховується в цьому випадку коефіцієнт тепловіддачі?
13. Як визначається критерій Нуссельта (формула та фізичний сенс).
14. Задача. Визначити режим руху повітря в трубах діаметром $d = 60$ мм зі швидкістю $w= 6$ м/с, якщо кінематична в'язкість повітря складає $\nu = 24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$?
15. Проаналізувати диференційне рівняння стаціонарної теплопровідності (без внутрішніх джерел теплоти) та умови однозначності, які необхідно задати для його розв'язання.
16. Проаналізувати, який фізичний сенс має критерій Рейнольда, записати формулу та фізичні величини, що входять.
17. Задача. Визначити втрати теплоти теплообмінником, Q , Вт, в навколишнє середовище при наступних умовах: поверхня апарату $F=15\text{м}^2$, температура поверхні 80°C , середня температура повітря 25°C , коефіцієнт тепловіддачі $\alpha=5$ Вт/м² ·К.
18. Як враховується при розрахунках вимушеної конвекції те, що течія теплоносія відбувається в каналі некруглого перетину (прямокутник, квадрат, кільце)?
19. Проаналізувати закон Ньютона-Рихмана та його застосування в інженерних розрахунках.
20. Задача. Визначити коефіцієнт теплопровідності λ плоскої пластини, якщо її товщина $\delta = 0,04$ м, різниця температур поверхонь складає $\Delta t= 40$ К, а густина теплового потоку, що проходить через пластину $q = 80\,000$ Вт/м².
21. Визначити діаметр еквівалентний каналу квадратного перетину зі стороною a .
22. Проаналізувати закон Фур'є (формулювання та диференціальна форма)
23. Задача. Скільки теплоти втрачається через стіну товщиною 500 мм, з червоної цегли ($\lambda=0,7$ Вт/м ·К) з площі 1 м^2 , якщо температура стінки в приміщенні 25°C , а зовні -15°C (мінус 15) ?
24. Визначити діаметр еквівалентний каналу прямокутного перетину зі сторонами s х v .

25. Що таке температурне поле (визначення), яка поверхня називається ізотермічною.
26. Задача. Визначити втрати теплоти з поверхні теплообмінника Q , Вт, в навколишнє середовище при наступних умовах: площа поверхні апарату $F=12 \text{ м}^2$, температура поверхні 80°C , середня температура повітря 25°C , коефіцієнт тепловіддачі $\alpha=6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{K}$?
27. Визначити діаметр еквівалентний кільцевого каналу розмірами d_1 та d_2 .
28. Проаналізувати поняття про температурний градієнт.
29. Задача. Визначити лінійний тепловий потік через циліндричну стінку зі сталі ($\lambda=25 \text{ Вт/м} \cdot \text{K}$), якщо внутрішній діаметр 20 мм, зовнішній 25 мм, температури стінок труби $t_{c1}=80^\circ\text{C}$, $t_{c2}=50^\circ\text{C}$.
30. Проаналізувати геометричні характеристики шахового пучка труб при розрахунках теплообмінників.
31. Критерій Грассгофа (формула та фізичний сенс).
32. Задача. Скільки теплоти втрачає стіна товщиною 500 мм, з червоної цегли ($\lambda_1=0,7 \text{ Вт/м} \cdot \text{K}$), вкрита шаром ізоляції, товщиною 20 мм ($\lambda_2=0,25 \text{ Вт/м} \cdot \text{K}$) з площі 1 м^2 , якщо температура стінки в приміщенні 25°C , а зовні -15°C (мінус 15) ?
33. Геометричні характеристики коридорного пучка труб при розрахунках теплообмінного обладнання.
34. Критерій Нуссельта (формула та фізичний сенс).
35. Задача. Визначити режим руху повітря в трубах діаметром $d = 60 \text{ мм}$ зі швидкістю $w = 1 \text{ м/с}$, якщо кінематична в'язкість повітря складає $\nu = 24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$?
36. Як розрахувати середній коефіцієнт тепловіддачі для пучка труб з n рядів.
37. Критерій Рейнольдса (формула та фізичний сенс).
38. Задача. Визначити втрати теплоти теплообмінником, Q в навколишнє середовище при наступних умовах: поверхня апарату $F=15 \text{ м}^2$, температура поверхні 75°C , середня температура повітря 20°C , коефіцієнт тепловіддачі - $\alpha=5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{K}$?
39. Яка поправка вводиться при розрахунку вимушеної тепловіддачі у вигнутій трубі з радіусом вигину R ?
40. Застосування закону Ньютона-Ріхмана в задачах тепловіддачі.
41. Задача. Визначити коефіцієнт теплопровідності λ плоскої пластини, якщо її товщина $\delta = 0,05 \text{ м}$, різниця температур поверхонь складає 50 K , а густина теплового потоку, що проходить через пластину $q = 80\,000 \text{ Вт/м}^2$.
42. За яким критерієм визначають режим руху рідини при вимушеній конвекції?
43. Закон Фур'є (диф. рівняння та формулювання).
44. Задача. Розрахувати критерій Грассгофа для повітря, яке омиває горизонтальну трубу діаметром $d=100 \text{ мм}$, з температурою поверхні 400°C . Параметри повітря: температура 20°C , кінематична в'язкість $15,00 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.
45. Формулювання та застосування в задачах теплообміну закона Стефана-Больцмана.

Робочу програму освітнього компонента (силабус):

Складено доц., к.т.н., Шилович Т.Б.

Ухвалено кафедрою ХПСМ (протокол № 17 від 04.06.2025 р.)

Погоджено Методичною комісією ІХФ (протокол № 11 від 27.06.2025 р.)