



# ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕПЛОТЕХНІКИ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

<b>Рівень вищої освіти</b>	<i>Перший (бакалаврський)</i>
<b>Галузь знань</b>	<i>13 Механічна інженерія</i>
<b>Спеціальність</b>	<i>131 «Прикладна механіка»</i>
<b>Освітня програма</b>	<i>Конструювання та дизайн машин НН ММІ</i>
<b>Статус дисципліни</b>	<i>Нормативна циклу професійної підготовки</i>
<b>Форма навчання</b>	<i>очна (денна)</i>
<b>Рік підготовки, семестр</b>	<i>2 курс, осінній (III) семестр</i>
<b>Обсяг дисципліни</b>	<i>3 кредити ЄКТС/ 90 годин / 36 лекцій, 18 лабораторних робіт / СРС 36 год.</i>
<b>Семестровий контроль/ контрольні заходи</b>	<i>Залік, МКР, РГР</i>
<b>Розклад занять</b>	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></i>
<b>Мова викладання</b>	<i>Українська</i>
<b>Інформація про керівника курсу / викладачів</b>	<i>Лектор: к.т.н., доц. Єценко О.І. <a href="mailto:doc44ent@gmail.com">doc44ent@gmail.com</a> 050 207-26-42 Лабораторні роботи: асистент Яценко О. І. <a href="mailto:loco-motion@ukr.net">loco-motion@ukr.net</a>, 050-086-96-77</i>
<b>Розміщення курсу</b>	<i>Посилання на дистанційний ресурс: Google classroom: <a href="https://classroom.google.com/u/1/c/MjUxNTU1MTM4MzMz">https://classroom.google.com/u/1/c/MjUxNTU1MTM4MzMz</a> <a href="https://campus.kpi.ua/">https://campus.kpi.ua/</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Одна з основних задач сучасного розвитку України є надійне забезпечення потреб народного господарства в енергетичних ресурсах, зменшення їх споживання та ефективне їх використання без зниження розвитку виробництва. Важливу роль у вирішенні цієї задачі відіграє якість теплотехнічної підготовки інженерів, їх розуміння основ теплоенергетичних та теплотехнологічних процесів.

Дисципліна «Теоретичні основи теплотехніки» знайомить студентів з методами розрахунків енергоефективних термодинамічних процесів: від простих закритих до складних відкритих, а також з розрахунками тепломасообмінних процесів передачі та перенесення теплової енергії в теплотехнології. Дисципліна складається з основних розділів: 1. Технічна термодинаміка, 2. Теплопередача, яка розширена до сучасного рівня Тепломасообміну 3. Основи розрахунку промислових теплообмінних теплоенергетичних установок та апаратів.

Вивчення кредитного модуля «Теоретичні основи теплотехніки» слугує основою енергетичної освіти при вивченні спеціальних дисциплін в системі підготовки інженерів-механіків.

Курс має на меті сформувати та розвинути наступні компетентності студентів:

**Інтегральну:**

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.

#### **Загальні:**

- ЗК 2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК6.Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.

#### **Фахові:**

- ФК 1. Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки.
- ФК 10. 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.

#### **Програмними результатами навчання є:**

- РН2. Використовувати знання теоретичних основ механіки рідин і газів, теплотехніки та електротехніки для вирішення професійних завдань;
- РН9. 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.

#### **Знання та уміння:**

- володіти термінологією і користуватися довідковою літературою в області термодинаміки і тепломасообміну;
- уміння аналізувати та оцінювати світові тенденції технологічного, економічного та науково-технічного розвитку;
- уміння визначати основні термодинамічні параметри, користуватися термодинамічними законами, формулами, таблицями та діаграмами під час вирішування інженерних задач, проводити розрахунки та аналіз ефективності теплових двигунів та машин, вміти вирішувати задачі пов'язані з процесами тепло- та тепломасообміну і вміти визначати їх ефективність;
- уміння доводити та аргументовано відстоювати власну думку, розробляти ефективну структуру організації та делегувати повноваження
- під час лабораторних практикумів володіти умінням виконувати спостереження, вимірювання, складати звіт про проведені дослідження, аналізувати отримані результати досліджень, готувати дані для оглядів та наукових публікацій;
- практично здійснювати вибір ефективних методів отримання, перетворення та використання різних видів енергії в залежності від конкретних умов;
- уміння аналізувати процеси пов'язані з використанням теплової енергії, з підвищення ефективності процесів горіння палива, теплообмінних процесів, оцінювати і розробляти заходи по можливому зменшенню споживання теплової енергії та інших ресурсів на промисловості.

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

**Пререквізити:** Термодинамічний метод дослідження рівноважних та нерівноважних процесів спирається на основні закони природи, тому реалізація Робочої програми навчальної дисципліни «Теоретичні основи теплотехніки» відповідно до структурно-логічної схеми освітніх програм передбачає широке використання знань студентів, які вони одержали під час вивчення дисциплін: «Вища математика», «Загальна фізика», «Технологія конструкційних матеріалів».

**Постреквізити.** Дисципліни, які будуть використовувати результати навчання даного курсу: «Деталі машин і основи конструювання», «Деталі машин і основи конструювання. Курсовий проект», а також дипломне проектування.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

#### Технічна термодинаміка

##### **Розділ 1. Загальні відомості. Основні поняття та закони технічної термодинаміки.**

*Тема 1.1* Термодинамічний стан та параметри стану. Рівняння стану.

*Тема 1.2* Теплоємність. Теплота і робота. I закон термодинаміки.

##### **Розділ 2. Дослідження енергетичної ефективності термодинамічних процесів ідеального газу.**

*Тема 2.1* Термодинамічні процеси і їх характеристики. Основні термодинамічні процеси.

*Тема 2.2* Політропні процеси.

##### **Розділ 3. Реальні гази. Термодинамічні властивості та процеси.**

*Тема 3.1* Рівняння стану реального газу. Водяна пара.

*Тема 3.2* Діаграми водяної пари. Параметри стану і процеси водяної пари.

##### **Розділ 4. Вологе повітря.**

*Тема 4.1* Характеристики, діаграма та процеси вологого повітря.

##### **Розділ 5. Термодинаміка потоку газів та пари (відкрита термодинамічна система).**

*Тема 5.1* Основні закономірності протікання газу в коротких каналах змінного перерізу. Дроселювання газів і парів.

##### **Розділ 6. Загальні властивості колових термодинамічних процесів або термодинамічних циклів.**

*Тема 6.1* Класифікація термодинамічних циклів. II закон термодинаміки. Цикл та теорема Карно. Ексергія.

##### **Розділ 7. Аналіз робочого процесу компресора та цикли двигунів внутрішнього згоряння.**

*Тема 7.1* Аналіз робочого процесу компресора.

*Тема 7.2* Цикли поршневих двигунів внутрішнього згоряння.

*Тема 7.3* Цикл газотурбінної установки.

##### **Розділ 8. Цикли паросилових установок.**

*Тема 8.1* Схеми і робочі процеси паросилових установок. Аналіз ефективності паросилових установок.

*Тема 8.2* Методи підвищення ефективності паросилових установок.

##### **Розділ 9. Цикли холодильних установок та теплового насосу.**

*Тема 9.1* Загальні характеристики холодильних установок. Цикл парової компресорної холодильної установки. Цикл теплового насосу.

##### **Тепломасообмін (Теплопередача)**

##### **Розділ 10. Основні поняття. Аналогія процесів перенесення теплоти та субстанції**

##### **Розділ 11. Теплопровідність.**

*Тема 11.1* Диференціальне рівняння теплопровідності Фур'є. Умови однозначності для рішення задач теплопровідності.

*Тема 11.2* Теплопровідність та теплопередача крізь одношарові, багатошарові плоскі та циліндричні стінки.

*Тема 11.3* Теплова ізоляція. Доцільний діаметр теплоізоляції. Способи інтенсифікації теплопередачі.

##### **Розділ 12. Конвективний теплообмін та теплообмін при фазових перетвореннях.**

*Тема 12.1* Основні поняття з теплообміну.

*Тема 12.2* Основи теорії подібності. Теореми подібності. Критерії подібності і критеріальні рівняння.

*Тема 12.3* Тепловіддача за умов вільної конвекції. Внутрішня та зовнішня задачі.

*Тема 12.4* Тепловіддача за умов вимушеної конвекції. Внутрішня та зовнішня задачі.

*Тема 12.5* Кипіння. Тепломасообмін за умов розвиненого бульбашкового кипіння.

*Тема 12.6* Тепломасообмін за умов плівкової конденсації парів на стінці.

Тема 12.7 Тепломасообмін. Закон Фіка. Дифузія, масовіддача, критеріальні рівняння подібності тепломасообміну.

### **Розділ 13. Теплообмін випромінюванням.**

Тема 13.1 Закони теплового випромінювання.

Тема 13.2 Променевий теплообмін між твердими тілами, між газом та його оболонкою. Теплообмін випромінюванням між твердими тілами.

Тема 13.3 Складний теплообмін.

### **Розділ 14. Теплообмінні апарати, види, розрахунок.**

### **Розділ 15. Нестационарна теплопровідність.**

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Основна література**

1. Федоров В.Г., Виноградов-Салтиков В.О., Кепко О.І. Теплотехніка. Курс лекцій. Умань, Вид-во УНУС., 2010. 127 с.
2. Обертюх Р. Р. Теоретичні основи теплотехніки: навч. посібник / Р. Р. Обертюх. - Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. - 165 с.
3. Пеньков В. І. Технічна термодинаміка : навч. посібник / В. І. Пеньков. – Рівне : НУВГП, 2010. – 209 с.
4. Дубровська В.В. Термодинаміка та теплообмін: навч. посіб./ В.В. Дубровська, В.І.Шкляр.- К.: НТУУ «КПІ», Вид-во «Політехніка», 2016. – 152 с
5. Теплотехніка: підручник / Б. Х. Драганов, О. С. Бессараб, А. А. Долінський, В. О. Лазоренко, А. В. Міщенко, О. В. Шеліманова ; за ред. Б. Х. Драганова ; 2-е вид., перероб. і доп. - К. : ІНКОС, 2005. - 400 с.

### **Додаткова література.**

6. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з курсу «Технічна термодинаміка та тепломасообмін»:Лабораторний практикум та методичні вказівки до самостійних робіт для студентів спеціальності 141 освітньо-професійної програми «Енергетичний менеджмент» / Укл. Клименко В.В.,Кравченко В.І.- Кропивницький: ЦНТУ, 2018. 73с.
7. Визначення теплопровідності твердих тіл [Текст]: Метод. вказівки до виконання лабораторної роботи для студентів інженерно-технічних спеціальностей /Укл. О.І.Єщенко, В.В.Задвернюк.- К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 19 с
8. Дешко В.І., Дубровська В.В., Стрелкова Г.Г. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи "Визначення ізобарної теплоємності газів"- К.: НТУУ «КПІ», 2010 р.– 20 с
9. Дослідження роботи паротурбінної установки: метод. рек. / Уклад. В.В.Дубровська, В.І. Шкляр, В.В. Задвернюк. - К.: НТУУ «КПІ», 2011. - 44с.
10. Дешко В. І., Дубровська В.В., Шкляр В.І., Єщенко О.І. та інші. Дослідження кривої пружності водяної пари при малих тисках. Метод. вказівки для викон. лаборатор. Роботи. К.: КПІ, 2016, - 50с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28306>.
11. В. О. Виноградов-Салтиков, О. І. Єщенко, Д. В. Бірюков. Теплотехнічні вимірювання. **Особливості вимірювання температури пірометрами.** Навчальний посібник. Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем» спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. – Електронні текстові дані (файл: 6,16 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 35 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47724>.
12. В. О. Виноградов-Салтиков, О. І. Єщенко. Теплотехнічні вимірювання. **Визначення теплоємності та температуропровідності сипких матеріалів у регулярному режимі.** Навчальний посібник. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для

здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем» спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. – Електронні текстові дані (1 файл: 934 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 22 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47723>.

13. **Тепловіддача горизонтальної труби при вільному русі повітря:** Метод. вказівки до виконання лабораторної роботи для студентів інженерно-технічних спеціальностей / Укл. В.В.Дубровська, В.І. Шкляр. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 24 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28307>.

14. **Характеристики вологого повітря** [Текст]: Метод. вказівки до самостійної роботи студентів та виконання лабораторної роботи з дисципліни «Основи теплотехніки» для студ. / Уклад: О.В.Ленькин, М.М.Шовкалюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 32 с.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)
1.	<p><b>Розділ 1. Технічна термодинаміка.</b>  <b>Тема 1.1 Термодинамічний стан та параметри стану. Рівняння стану ідеального газу.</b>  <i>Лекція 1.</i> Предмет та метод, структура курсу. Роль теплотехніки у підготовці фахівців з інженерної механіки. Основні поняття технічної термодинаміки. Робоче тіло. Термодинамічний стан і термодинамічний процес. Термодинамічна рівновага. Калоричні та термічні параметри стану робочого тіла. Одиниці вимірювання параметрів стану та їх взаємозв'язок. Прилади по вимірюванню основних параметрів стану робочого тіла та середовищ.. Рівняння стану ідеального газу. Розрахунок параметрів стану ідеального газу з використанням рівняння стану.  СРС. Одиниці вимірювання параметрів стану та їх взаємозв'язок. Розрахунок параметрів стану ідеального газу з використанням рівняння стану.  Література: [1], конспект лекцій, презентація.</p>
2.	<p><b>Тема 1.2 Теплоємність. Теплота і робота. Закони технічної термодинаміки.</b>  <i>Лекція 2.</i> Теплоємність. Внутрішня енергія. Форми енергообміну термодинамічної системи. Теплота і робота. Визначення теплоємності газів за формулами і таблицями. Методика розрахунку теплоти і роботи у різних випадках. Перший закон термодинаміки. Термодинамічні потенціали та їх диференціальні рівняння. Обчислення ентропії та її фізичний зміст.  СРС. Енергетична модель робочого тіла. Схема теплового балансу процесу згідно з першим законом термодинаміки. Розрахунки складових теплового балансу.  Л [1], конспект лекцій.  <b>Розділ 2. Дослідження енергетичної ефективності термодинамічних процесів ідеального газу.</b>  <b>Тема 2.1 Термодинамічні процеси і їх характеристики. Основні термодинамічні процеси.</b>  Термодинамічний процес. Характеристики термодинамічного процесу. Загальні задачі дослідження термодинамічних процесів. Ізотермічний процес. Ізобарний процес. Ізохорний процес. Адіабатний процес. Політропний процес.  СРС. Визначення енергетичної ефективності різних термодинамічних процесів та їх аналіз.  Л [1, 2], конспект лекцій, презентація.</p>
3.	<p><b>Розділ 3. Реальні гази. Термодинамічні властивості та процеси.</b>  <b>Тема 3.1 Рівняння стану реального газу. Водяна пара.</b></p>

	<p><i>Лекція 3.</i> Рівняння стану реального газу. Загальні властивості реальних газів. Водяна пара. Основні визначення. Діаграми водяної пари. Параметри стану і процеси водяної пари. <math>P</math>-<math>V</math>, <math>T</math>-<math>s</math> та <math>h</math>-<math>s</math> - діаграми водяної пари. Визначення характеристик основних термодинамічних процесів водяної пари за <math>h</math>-<math>s</math> – діаграмою. Таблиці термодинамічних властивостей води та водяної пари.</p> <p>СРС. Аналіз побудови різних рівнянь стану реального газу, їх порівняння. Вивчення побудови таблиць термодинамічних властивостей води та водяної пари. Визначення значень параметрів різних термодинамічних станів водяної пари. Вивчення побудови <math>h</math>-<math>s</math> – діаграми водяної пари.</p> <p>Л [1], конспект лекцій, презентація.</p>
4.	<p><b>Розділ 4. Вологе повітря.</b></p> <p><b>Тема 4.1 Характеристики, діаграма та процеси вологого повітря.</b></p> <p><i>Лекція 4.</i> Основні визначення та характеристики вологого повітря. <math>h</math>-<math>d</math>-діаграма і основні термодинамічні процеси вологого повітря.</p> <p>СРС. Вивчення побудови <math>h</math>-<math>d</math>-діаграми вологого повітря. Користування <math>h</math>-<math>d</math>-діаграмою.</p> <p>Література: [1, 2], конспект лекцій.</p>
5.	<p><b>Розділ 5. Термодинаміка потоку газів та пари (відкрита термодинамічна система).</b></p> <p><i>Лекція 5.</i> Основні закономірності протікання газу в коротких каналах змінного перерізу. Дроселювання газів і парів. Рівняння першого закону термодинаміки для відкритих систем. Визначення параметрів водяної пари при її дроселюванні за допомогою <math>h</math>-<math>s</math> – діаграми.</p> <p>СРС. Визначення протікання потоку. Розрахунок швидкості витікання потоку. Вплив вхідних характеристик потоку на зміну швидкості і маси потоку в каналі.</p> <p>Література: [1, 2], конспект лекцій, презентація.</p>
6.	<p>Розділ 6. Загальні властивості кругових термодинамічних процесів або термодинамічних циклів.</p> <p><i>Лекція 6.</i> Класифікація термодинамічних циклів. Цикли та теореми Карно. Ексергія. Другий закон термодинаміки. Розрахунки ККД згідно з другим законом термодинаміки. Прямий оборотний цикл Карно. Зворотний оборотний цикл Карно.</p> <p>СРС. Аналіз циклів Карно. Вплив параметрів робочих тіл на ефективність циклу. Ексергія та термодинамічні потенціали. Методи термодинамічного аналізу. Визначення ексергії речовини і теплоти.</p> <p>Література: [1, 2], конспект лекцій.</p> <p>Розділ 7. Цикли паросилових установок.</p> <p>Тема 7.1 Схеми і робочі процеси паросилових установок. Аналіз ефективності паросилових установок.</p> <p>Цикл Карно водяної пари. Цикл Ренкіна. Схема паросилової установки та робочий процес циклу Ренкіна.</p> <p>СРС. Використання <math>h</math>-<math>s</math> – діаграми водяної пари для розрахунку характеристик циклу Ренкіна. Визначення термічного ККД циклу Ренкіна. Цикл з проміжним перегрівом пари. Узагальнений (регенеративний) цикл Карно.</p> <p>СРС. Визначення термічного ККД циклу Ренкіна в залежності від зміни початкових і кінцевих параметрів стану водяної пари. Порівняння ефективності різних циклів ПСУ. Принцип регенерації теплоти. Теплофікаційний цикл ПСУ.</p> <p>Л [1], конспект лекцій, презентація.</p>
7.	<p><b>Розділ 8. Аналіз робочого процесу компресора та цикли двигунів внутрішнього згоряння. Цикл газотурбінної установки.</b></p> <p><i>Лекція 7.</i> Робочий процес одноступінчастого компресора з урахуванням шкідливого об'єму. Багатоступеневе стиснення.</p> <p>Цикли поршневих двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Класифікація циклів ДВЗ. Цикл ДВЗ з ізохорним підведенням теплоти. Цикл ДВЗ з ізобарним підведенням теплоти.</p>



	<p>СРС. Визначення витрати роботи на стиснення робочих тіл у різних умовах. Визначення ККД ДВЗ при різних умовах підведення теплоти. Порівняння ефективності циклів ДВЗ з різними умовами підведення теплоти.</p> <p>Література: [1, 2], конспект лекцій.</p> <p><b>Розділ 9. Цикли холодильних установок та теплового насосу.</b></p> <p><b>Тема 9.1 Загальні характеристики холодильних установок. Цикл парової компресорної холодильної установки. Цикл теплового насосу.</b></p> <p>Загальна характеристика холодильних установок. Цикл парової компресорної холодильної установки. Цикл теплового насосу.</p> <p>СРС. Визначення холодильного коефіцієнту та ефективності використання теплового насосу.</p> <p>Л [1], конспект лекцій, презентація.</p>
8.	<p><b>Розділ 10. Тепломасообмін (Теплопередача). Основні поняття. Аналогія процесів перенесення теплоти та субстанції.</b></p> <p><i>Лекція 8.</i> Основні поняття теплообміну. Аналогія процесів перенесення теплоти та субстанції. Види теплообміну (теплопровідність, конвекція, випромінювання). Основні поняття та визначення теорії теплообміну (температурне поле, температурний градієнт, тепловий потік). Загально технічні основи розрахунку процесів теплообміну.</p> <p>Л [1], конспект лекцій, презентація.</p> <p><b>Розділ 11. Теплопровідність.</b></p> <p>Диференціальне рівняння теплопровідності Фур'є. Умови однозначності для рішення задач теплопровідності. Аналітичні, чисельні та експериментальні методи розв'язування задач теплопровідності. Стаціонарна теплопровідність. Теплопровідність плоскої однорідної та багатошарової стінки під час стаціонарного режиму. Визначення температур поверхонь, термічних опорів та теплових потоків. Теплопровідність циліндричної одношарової стінки під час стаціонарного режиму. Багатошарова стінка. Теплопередача, термічний опір теплопередачі.</p> <p>СРС. Чисельні методи розв'язання задач теплопровідності при стаціонарному і нестаціонарному режимах.</p> <p>Метод кінцевих різниць. Стаціонарне температурне поле пластини з внутрішніми джерелами. Явні та неявні схеми розв'язування. Метод кінцевих елементів. Схематизація реальних процесів теплопровідності в технологічних системах.</p> <p>Метод джерел теплоти. Аналіз розв'язування для нескінченних та напівобмежених тіл.</p> <p>Л [1, 3], конспект лекцій, презентація.</p> <p>Доцільний діаметр теплової ізоляції. Способи інтенсифікації теплопередачі. Теплопередача через оребрену поверхню.</p>
9.	<p><b>Розділ 12. Конвективний теплообмін та теплообмін при фазових перетвореннях.</b></p> <p><i>Лекція 9.</i> Основні поняття і визначення. Коефіцієнт тепловіддачі. Диференційні рівняння конвективного теплообміну в ламінарному і турбулентному потоках і умови однозначності. Безрозмірне описання фізичних явищ. Подібні явища. Критерії і числа подібності. Теореми подібності. Моделювання процесів теплообміну. Визначальний геометричний розмір.</p> <p>СРС. Рівняння гідродинамічної подібності.</p> <p>Л [1, 3], конспект лекцій.</p> <p>Тепловіддача за умов вільної конвекції (необмежена пластина та циліндр, омивання повздовж та впоперек). Тепловіддача під час вільної течії рідини в необмеженому просторі. Зовнішня та внутрішня задачі.</p> <p>СРС. Вільна ламінарна та турбулентна конвекція для внутрішньої задачі. Змішана конвекція.</p> <p>Л [1, 3], конспект лекцій, презентація.</p>
10.	<p><i>Лекція 10.</i> Тепловіддача за умов вимушеної конвекції. Внутрішня та зовнішня задачі. Основні критеріальна рівняння за різних умов тепловіддачі. Тепловіддача за умов</p>

	<p>вимушеної конвекції рідини під час течії її в трубах. Обтікання пучків труб. Методика визначення коефіцієнта тепловіддачі. СРС. Вимушена конвекція при обтіканні тіл різної форми. Л [1, 3], конспект лекцій, презентація.</p>
11.	<p><i>Лекція 11. Кипіння.</i> Тепломасообмін за умов розвиненого бульбашкового кипіння. Бульбашковий та плівковий режими кипіння. Криза кипіння. Тепловіддача під час кипіння рідини у великому об'ємі і в трубах. Критеріальні рівняння для визначення тепловіддачі під час кипіння рідин. Тепломасообмін за умов плівкової конденсації парів на стінці. Механізм конденсації пари. Плівкова і крапельна конденсація. Тепловіддача під час конденсації пари з парогазової суміші. Тепломасообмін. Закон Фіка. Дифузія, масовіддача, критеріальні рівняння подібності тепломасообміну. СРС. Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі під час кипіння рідини та конденсації пари. Коефіцієнти термо- та бародифузії. Л [1, 3], конспект лекцій, презентація.</p>
12.	<p><b>Розділ 13. Радіаційний теплообмін.</b> <i>Лекція 12.</i> Основні поняття і визначення. Основні закони теплового випромінювання Планка, Віна, Стефана-Больцмана, Кірхгофа. Теплове випромінювання між двома сірими поверхнями, а також в умовах наявності екранів. Особливості випромінювання і поглинання газів. СРС. Закон косинусів Ламберта. Коефіцієнт випромінювання твердих тіл і методи його визначення. Література: [1, 3], конспект лекцій. Променевий теплообмін між твердими тілами, між газом та його оболонкою. Теплообмін випромінюванням між твердими тілами. Складний теплообмін. Л [1], конспект лекцій, презентація.</p>
13	<p><b>Розділ 14. Теплообмінні апарати.</b> <i>Лекція 13-14.</i> Розрахунок теплообмінних апаратів. Класифікація теплообмінних апаратів. Визначення середнього температурного напору і коефіцієнта теплопередачі. СРС. Гідромеханічний розрахунок теплообмінних апаратів. Л [1] с. 241-248, [3] с. 398-415, конспект лекцій, презентація. <b>СРС Розділ 15. Нестационарна теплопровідність.</b> Теплопровідність нескінченної пластини та циліндра, що охолоджується. Визначення кількості теплоти, охолодження /нагрівання/ тіл кінцевих розмірів. Література: [2, 3, 6], презентація.</p>

### Практичні заняття

Робочим навчальним планом не передбачені практичні заняття, які дозволяють закріпити знання, отримані на лекційних заняттях, мати можливість ознайомитись з методикою розрахунків безпосередньо теплових процесів розглянутих на лекціях та мати узагальнення, відносно досліджених показників теплових перетворень та інтенсивності визначених теплових процесів в лабораторних роботах. Тому, по ходу викладення лекційного матеріалу будуть надаватись приклади задач, а їх варіанти студенти повинні будуть вирішувати самостійно, як домашнє завдання на опрацювання тем. Схожий підхід буде до лабораторних практикумів розширюючи знання за темою і розширюючи застосування методики визначення та застосування отриманих знань.



## Лабораторні роботи

При виконанні лабораторних робіт передбачається практична демонстрація термодинамічних, тепломасообмінних процесів, з використанням приладів з вимірювання термодинамічних параметрів та визначення енергетичних характеристик, засвоєння теоретичного матеріалу, придбання навичок і умінь при вивченні і дослідженні термодинамічних та теплообмінних процесів.

Лабораторні роботи виконуються з використанням методичних вказівок, розроблених кафедрою до основних розділів курсу.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Визначення теплопровідності твердих тіл [6]	4
2	Дослідження процесів вологого повітря [14]	4
3	Дослідження кривої пружності водяної пари при малих тисках. [13], Та практична робота: Визначення параметрів процесів циклу паротурбінної установки за термодинамічними таблицями та h-s діаграмою.	4
4	Тепловіддача горизонтальної труби при вільному русі повітря. [13]	4
5	Визначення ізобарної теплоємності газів. [8]	2

### 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів передбачає пророблення матеріалів **наданих лектором та викладачем з лабораторних занять**. Крім цього, студенти повинні вчасно виконувати завдання надані під час лекцій та лабораторних робіт. Обов'язковою є пророблення попередніх лекційних матеріалів та підготовка до лабораторного практикуму у вигляді протоколу лабораторної роботи з висвітленням схем, таблиць, запису рівнянь для розрахунків та дій під час виконання роботи.

#### Індивідуальні завдання

Основною формою індивідуальної роботи студентів при вивченні кредитного модуля є виконання розрахунково-графічної роботи (РГР). Метою роботи є закріплення теоретичних знань у вигляді практичних навичок одержаних студентами на лекційних та лабораторних заняттях.

**РГР розбита на дві частини** і передбачає виконання розрахунків, пов'язаних з володінням графічної побудови параметрів та визначенням точок термодинамічних процесів на h-s – діаграмі для водяної пари та володіння та знання іншої h-d– діаграми для вологого повітря, для визначення складових та розгляду процесу сушіння.

Кожний студент виконує РГР за індивідуальними даними.

#### Контрольні роботи

Під час вивчення кредитного модуля передбачається проведення модульної контрольної роботи за темами: **Термодинамічні параметри, перший та другий закон термодинаміки**. А також: **Процеси передачі та перенесення теплової енергії, їх розрахунки для теплообмінних процесів та установок**.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Порушення Кодексу академічної доброчесності Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» є серйозним порушенням, навіть якщо воно є ненавмисним. Кодекс доступний за посиланням: <https://kpi.ua/code.3>.

Зокрема, дотримання Кодексу академічної доброчесності означає, що вся робота на іспитах та заліках має виконуватися індивідуально. Під час виконання самостійної роботи студенти можуть консультиватися з викладачами та з іншими студентами, але повинні самостійно розв'язувати завдання, керуючись власними знаннями, уміннями та навичками. Посилання на всі ресурси та джерела (наприклад, у звітах, самостійних роботах чи презентаціях) повинні бути чітко визначені та оформлені належним чином. У разі спільної роботи з іншими студентами над виконанням індивідуальних завдань, ви повинні зазначити ступінь їх участі в роботі.

**Академічна доброчесність:** Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу. Норми етичної поведінки: Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2. Детальніше: <https://kpi.ua/code>

Вимоги, які ставляться перед студентом дисципліни:

- відвідування лабораторних занять є обов'язковою складовою вивчення матеріалу, викладач фіксує присутність на заняттях;
- викладач використовує електронну пошту групи, *Google classroom* та *ZOOM* для викладання матеріалу поточної лекції, додаткових ресурсів, лабораторних робіт, практичних занять та ін.;
- на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; який по закінченні лекції викладає на електронну пошту групи, у *Google classroom* з відповідної дисципліни для потоку студентів;
- на лекції заборонено відволікати викладача від подання матеріалу студентам, усі питання, уточнення та ін. студенти ставлять в кінці лекції у відведений для цього час;
- ЛР захищаються у два етапи – перший етап: студенти готують електронний Звіт, який надсилається на відповідну електронну адресу викладачу або у *Google classroom*; другий етап – захист ЛР за розкладом у фізичній чи віртуальній присутності за наявності Звіту. Бали за ЛР враховуються лише за виконання двох етапів;
- МКР виконується та надсилається у *Google classroom* або електронну пошту викладача або телеграм;
- РГР захищається індивідуально, після перевірки викладачем надісланої студентом роботи; у відповідності до «Кодексу честі» ЛР, МКР, РГР, домашні самостійні завдання, Тести та Звіти студенти виконують самостійно або в друкованому вигляді згідно стандарту до вимог до науково-технічних Звітів, або від руки в залежності від вимог викладача;
- заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях; підготовку оглядів наукових праць; презентації по одній із тем;
- штрафні бали не нараховуються.

### **Процедура оскарження результатів контрольних заходів**

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень. Детальніше: НАКАЗ №НОН/228/2022 ВІД 21.07.2022 "Про затвердження нової редакції положення про апеляції в КПІ ім. Ігоря Сікорського", [https://document.kpi.ua/2022\\_НОН-228](https://document.kpi.ua/2022_НОН-228)

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

### **Поточний контрольний контроль:**

Тести на лекціях. Захист лабораторних робіт. Модульна контрольна робота

### Календарний рубіжний контроль.

Метою його проведення є підвищення якості навчання студентів та моніторинг виконання графіка освітнього процесу студентами.

Календарний рубіжний контроль проводиться два рази в семестр.

Перший контроль 8-ий тиждень, другий - 14-ий тиждень.

Календарний контроль для заочної форми навчання не передбачений.

### Семестрове індивідуальне завдання:

Розрахунково-графічна робота.

### Лабораторні роботи:

4 роботи.

### Семестровий контроль:

Залік.

### Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що отримуються за:

Експрес-тести на лекційних заняттях, тести за розділами дисципліни, захист лабораторних робіт, модульної контрольної роботи та захист розрахунково-графічної роботи.

### Система рейтингових балів та критерії оцінювання.

Рейтингові бали гк:

#### а) Опитувальний листок та завдання на лекціях –15 балів:

- повна відповідь 13-15 балів
- неповна відповідь 9-12 балів
- незадовільна відповідь 0 балів.

#### б)захист 5 лабораторних робіт – 45 балів:

- повна відповідь на питання під час захисту та оформлений Звіт до ЛР 9 балів;
- достатньо повна відповідь на питання під час захисту та оформлений Звіт до ЛР 7 балів;
- неповна відповідь на питання під час захисту, незначні помилки в Звіті до ЛР 5 балів
- наявність лише оформленого належним чином електронного звіту до ЛР3 бали;
- не оформлений звіт до ЛР 0 балів.

#### в) модульна контрольна робота - 20 балів:

- 95-100% завдання 19-20 балів;
- 75-94% завдання 15-18 балів;
- 60-74% завдання 12-14 балів;
- 60% <завдання 0-11 балів

#### г) розрахунково-графічна робота оцінюється в 20 балів за складовими:

- виконання графіку роботи 1 бал;
- якість пояснювальної записки 1 бал;
- захист роботи:
- оформленої належним чином РГР та повна відповідь на питання під час захисту 17-18 балів;
- оформленої належним чином РГР і достатньо повна відповідь на питання під час захисту 14-16 балів;

- оформленої належним чином РГР та неповна відповідь на питання під час захисту 11-13 балів
- наявність лише оформленої належним чином РГР 10 балів;
- незадовільна відповідь на питання під час захисту 0 балів.

#### **Штрафні та заохочувальні бали $r_s$ .**

- штрафні бали не нараховуються

- додаткові заохочувальні бали

+2 бали.

Значення  $R_C$  - стартової шкали РСО поточної успішності дорівнює сумі максимальних вагових балів:

$$R_C = \sum r_k = 15 + 45 + 20 + 20 = 100 \text{ балів.}$$

Розмір  $R$  - шкали РСО з кредитного модуля формується як сума балів поточної успішності  $R_C$ :

$$R = R_C = 100$$

Рейтингова оцінка студента  $RD$  з кредитного модуля формується як сума рейтингових балів  $r_k$  та заохочувальних/штрафних балів  $r_s$ :

$$RD = R_C + R_s = \sum r_k + \sum r_s$$

#### **Календарний контроль.**

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів максимально можлива кількість балів – 32 бали: завдання на лекціях, МКР та 2-3 лабораторні роботи. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менший ніж 16 балів.

За результатами 13 тижнів навчання максимально можлива кількість балів – 60 балів: завдання на лекціях, МКР, 5 лабораторних робіт. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менший ніж 30 балів.

**Умови допуску до семестрового контролю:** мінімально позитивна оцінка за РГР, захист усіх лабораторних робіт.

Студенти, які набрали протягом семестру рейтинг з дисципліни  $RD < 40$ , зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку і мають академічну заборгованість.

**Семестровий контроль:** Залік.

**Пропоную викласти в такій редакції:** ОК

**Семестровий контроль:** Залік.

Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на передостанньому занятті з дисципліни в семестрі. Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідно до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи.

У цьому випадку бали, отримані за лабораторні роботи (максимум 45 б.) та РГР (максимум 20 б.) залишаються, а бали отримані за модульну контрольну роботу (максимум 20 б.) та виконання завдань на лекціях (максимум 15 б.) скасовуються.

На заліку студенти виконують письмову контрольну роботу у вигляді опитувального листка із теоретичними та практичними запитаннями по курсу дисципліни (звертається увага на пропущені лекційні теми), за результатами відповідей максимальне оцінювання відповідей складає 35 балів.

Переведення рейтингових балів з кредитного модуля  $RD$  до оцінок за університетською шкалою здійснюється відповідно до таблиці:

Значення RD	Оцінка традиційна
-------------	-------------------

$95 \leq RD \leq 100$	Відмінно
$85 \leq RD \leq 94$	Дуже добре
$75 \leq RD \leq 84$	Добре
$65 \leq RD \leq 74$	Задовільно
$60 \leq RD \leq 64$	Достатньо
$RD < 60$	Незадовільно
Невиконання умов допуску до семестрового контролю	Не допущено

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік теоретичних питань, що виносяться на Поточний, Календарний та Семестровий контролі наведено в Google classroom.

### **Дистанційне навчання:**

Дистанційне навчання з даної навчальної дисципліни допускається за певною тематикою за умови погодження зі студентами. У разі, якщо невелика кількість студентів має бажання (або через форс-мажорні обставини) пройти онлайн-курс за певною тематикою, вивчення матеріалу у такій формі допускається, але студенти повинні виконати всі завдання, передбачені силабусом навчальної дисципліни.

Виставлення залікової оцінки та оцінки за контрольні заходи шляхом перенесення результатів проходження онлайн-курсу з даної дисципліни передбачено лише у разі форс-мажорних обставин студентів.

Виконання деяких тематичних завдань, а також семестрового індивідуального завдання, здійснюється під час самостійної роботи студентів у дистанційному режимі (з можливістю консультивання з викладачем через соціальні мережі, електронну пошту тощо).

### **Інклюзивне навчання:**

Навчальна дисципліна «Теоретичні основи теплотехніки» може викладатися для більшості студентів з особливими освітніми потребами, окрім студентів з серйозними вадами зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

### **Навчання іноземною мовою:**

Враховуючи специфіку навчальної дисципліни, деякі поняття та навчальний матеріал вивчаються англійською мовою (фрагментарно). Враховуючи студентоцентризований підхід, за бажанням студентів, допускається вивчення окремих тем за допомогою відповідних англійських електронних ресурсів або англійського підручника підготовленого лектором у співстворстві з іншими викладачами кафедри.

### **Позааудиторні заняття:**

Консультації (індивідуальні та групові) з даної навчальної дисципліни та самостійна робота студентів можуть проводитись за попередньою згодою у науковій лабораторії, в науково-технічній бібліотеці університету та/або у домашніх умовах, відповідно. Навчальний матеріал, передбачений для засвоєння студентом у процесі самостійної роботи, виносяться на підсумковий контроль разом з навчальним матеріалом, що вивчався при проведенні аудиторних навчальних занять.

На початку семестру викладач інформує студентів/слухачів про можливість пройти відповідні безкоштовні (або платні) курси на свій розсуд по тематиці навчальної дисципліни. Після отримання студентом офіційного сертифікату проходження відповідних курсів, викладач зараховує відповідну частину курсу (або курс в цілому).

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

Складено доцент, к.т.н. Єщенко О.І.

Ухвалено кафедрою ТАЕ (протокол №17 від 15.06.2022 р.)

Погоджено методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 9 від 27.06.2022 р.)

**Погоджено** методичною комісією НН ММІ (протокол №11 від 29.08.2022 р.)