



# Теплообмін у конвективних і ширмових поверхнях нагріву парових котлів

## Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>142 Енергетичне машинобудування</i>
Освітня програма	<i>Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем</i>
Статус дисципліни	<i>вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>IV курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЄКТС (120 годин), 45 години лекцій, 27 годин практичні заняття, 48 годин самостійна робота</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/ модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<a href="http://roz.kpi.ua/">http://roz.kpi.ua/</a>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент, Новаківський Євген Валерійович, enovakivsky@gmail.com Практичні заняття: к.т.н., доцент, Новаківський Євген Валерійович, enovakivsky@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<a href="https://login.kpi.ua/">https://login.kpi.ua/</a> , <a href="https://do.ipk.kpi.ua/">https://do.ipk.kpi.ua/</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни *теплообмін у конвективних і ширмових поверхнях нагріву парових котлів*

При проектуванні і експлуатації паливовикористовуючого вогнетехнічного обладнання необхідно знати умови протікання і розвитку процесів, які протікають в ньому. Для того щоб забезпечити високі техніко-економічні показники вогнетехнічного обладнання з одного боку, а з іншого – допустимий вплив на навколишнє середовище необхідні знання особливостей протікання процесів радіаційно-конвективного та складного теплообміну в вогнетехнічних установках і пристроях та в газовому тракті парових котлів в цілому. Отже, розуміння методики позонного і зонального розрахунку теплообміну в газовому тракті парових котлів дозволить фахівцю вирішувати складні інженерні задачі.

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

ФК 1. Здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепції розвитку галузі енергетичного машинобудування.

ФК 2. Здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії.

ФК 3. Здатність аналізувати інформацію з літературних джерел, здійснювати патентний пошук, а також використовувати бази даних та інші джерела інформації для здійснення професійної діяльності.

ФК 4. Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні деталей і вузлів енергетичного і технологічного обладнання.

ФК 15. Здатність продемонструвати знання характеристик і властивостей обладнання, процесів і матеріалів в галузі енергетичного машинобудування.

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

ПРН 1. Знання і розуміння математики та тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, конструкційних матеріалів,

систем автоматизованого проектування енергетичних машин на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.

ПРН 2. Знання і розуміння інженерних дисциплін на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях.

ПРН 3. Розуміння широкого міждисциплінарного контексту спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.

ПРН 6. Розробляти і проектувати вироби в галузі енергетичного машинобудування, процеси і системи, що задовольняють встановленим вимогам, які можуть включати обізнаність про нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) аспекти; обрання і застосування адекватної методології проектування.

ПРН 11. Розуміння застосовуваних методик проектування і дослідження, а також їх обмежень відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.

ПРН 12. Застосовувати практичні навички вирішення завдань, що передбачають реалізацію інженерних проектів і проведення досліджень відповідно до спеціалізації.

ПРН 22. Класифікувати теплообмінне обладнання за різними ознаками і відповідно до заданих умов роботи теплообмінного обладнання, вибирати паливо і теплоносії, використовувати стандартні методики для виконання конструкторських і повіркових розрахунків тепло- і парогенеруючих установок і теплоенергетичного обладнання.

ПРН 23. Визначати та аналізувати теплогідравлічні та аеродинамічні характеристики роботи енергетичного і технологічного обладнання в умовах зміни режимних та експлуатаційних параметрів.

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

Пререквезити: Теорія теплообміну, Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні; Парові і водогрійні котли, Матеріалознавство та матеріали в енергомашинобудуванні.

Постреквезити: Переддипломна практика, Дипломне проектування.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### Розділ 1. Розрахунок теплообміну в поверхнях нагріву.

Тема 1.1. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі.

Тема 1.2. Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі при повздовжньому і поперечному русі теплоносія в трубчатих поверхнях нагріву.

Тема 1.3. Визначення коефіцієнтів забруднення, використання і теплової ефективності поверхонь нагріву.

Тема 1.4. Розрахунок температурного напору в поверхнях нагріву.

### Розділ 2. Тепловий розрахунок радіаційних та напіврадіаційних поверхонь нагріву парового котла.

Тема 2.1. Розрахунок радіаційного пароперегрівника.

Тема 2.2. Розрахунок ширмового пароперегрівника, фестона і підвісних труб.

### Розділ 3. Тепловий розрахунок конвективних поверхонь нагріву парового котла.

Тема 3.1. Розрахунок конвективного пароперегрівника.

Тема 3.2. Розрахунок водяного економайзера.

Тема 3.3. Розрахунок рекуперативних та регенеративних повітропідігрівників. Повітропідігрівники з проміжним теплоносієм.

Тема 3.4. Одержання високого рівня підігріву повітря в регенеративних повітропідігрівниках. Повне розділення газоходів як засіб регулювання температури пром. перегріву. Конструктивні рішення утилізаційних схем.

Тема 3.5. Формування теплової нерівномірності у конвективних поверхнях нагріву парового котла і розрахунок теплової розвірки.

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

### Базова (підручники, навчальні посібники) література

1 Степанов Д.В. Котельні установки промислових підприємств: навч. посібник/ Д. В. Степанов, Є.С.

Корженко, Л.А. Боднар.– Вінниця: ВНТУ, 2011. - 120 с

2. Ткаченко С.Й. Котельні установки: електронний навчальний посібник / С.Й Ткаченко, Д.В. Степанов, Л.А. Бондар. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 187 с.

3. D. Annaratone, Steam Generators, DOI: 10.1007/978-3-540-77715-1 1, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008:
4. Гічов Ю.О. Джерела тепlopостачання промислових підприємств. Частина 1. Конспект лекцій / Ю.О. Гічов. – Дніпропетровськ:НМетАУ, 2011. – 52 с.
5. Гічов Ю.О. Джерела тепlopостачання промислових підприємств. Частина 2. Конспект лекцій / Ю.О. Гічов. – Дніпропетровськ:НМетАУ, 2011. – 49 с. 4.

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література.

1. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – С-П: НПО ЦКТИ – ВТИ, 1998, 256 с.
2. Липов Ю.М. Компоновка и тепловой расчет парогенератора. Учебное пособие для вузов./ Ю.М Липов., Ю.Ф. Самойлов, З.Г. Модель – М.: Энергия, 1975, 176 с
3. Методические указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов. – С-П.: АООТ “НПО ЦКТИ”, 1996, 270 с.
4. Блох А.Г. Теплообмен в топках паровых котлов./ А.Г Блох. Л., Энергоатомиздат, 1984, 240 с
5. Орнатский А.П. Парогенераторы сверхкритического давления. / А.П Орнатский., Ю.Г Дашкиев., В.Г Перков.– Киев: Вища школа, 1980, 288 с.
6. Кроль Л.Б., Розенгауз И.Н. Конвективные элементы мощных котельных агрегатов./ Л.Б Кроль., И.Н. Розенгауз. М.: Энергия. 1976, 248 с.
7. Хзмалян Д.М., Качан Я.А. Теория горения и топочные устройства. Под ред. Д.М. Хзмаляна. Учсб. Пособие для студентов высш. учеб. заведений. – М.: Энергия, 1976, 488
8. Исаченко В.П. Теплопередача./ В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел – М.: Энергия, 1981, 434 с.
9. Вукалович М.П. Термодинамика. Учебное пособие для вузов. М.П. Вукалович, И.И. Новиков, 1972
10. Идельчик И.Е. Аэродинамика технологических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983, 351 с.
11. Левченко Г.И. Оребренные поверхности нагрева паровых котлов /Г.И. Левченко, И.Д. Лисейкин, А.М. Копелиович и др. – М.: Энергоатомиздат, 1986, 168 с.
12. Ковалев А.П. Парогенераторы: Учебник для вузов /А.П. Ковалев, Н.С. Лелеев, Т.В. Виленский: Под общ. ред. А.П. Ковалева. – М.: Энергоиздат, 1985, 376 с.
13. . Бычковский А.Л. Утепляющие экраны парогенераторов. – М.: Машиностроение, 1976, 112 с
14. Кузнецов Н.В. Рабочие процессы и вопросы усовершенствования конвективных поверхностей котельных агрегатов. – М.-Л: Госэнергоиздат, 1958, 172 с.
15. Дашкиев Ю.Г. Эксплуатационная надежность пароперегревателей котлов и методы ее прогнозирования: Учебное пособие /Ю.Г. Дашкиев, Е.Е. Никитин, Г.П. Полупан. – К.: УМК ВО, 1989, 92 с
15. Волков А.П. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты /А.П. Волков и др. – М.: Энергоиздат, 1989. – 272 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 літературу та завдання на СРС)
<b>Розділ 1. Розрахунок теплообміну в поверхнях нагріву</b>	
1.	<p><b>Тема 1.1. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі</b></p> <p><b>Лекція № 1.</b></p> <p>Фактори, що впливають на процес переносу теплоти через стінку. Теплообмін через багат шарову плоску стінку. Особливості фізичних властивостей димових газів і сухого та вологого повітря. Радіаційно-конвективний теплообмін в ширмових поверхнях нагріву. Конвективний теплообмін в водяних економайзерах і повітропідігрівниках.</p> <p>Лекція супроводжується показом слайдів за допомогою проектора.</p> <p><b>Література:</b> [2, с. 78 - 80] додаткова – [14].</p> <p><b>СРС:</b> Математичний опис процесу теплопередачі через плоску стінку.</p> <p><b>Література:</b> [1] додаткова – [14].</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
2.	<p align="center"><b>Тема 1.2. Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі при повздовжньому і поперечному русі теплоносія в трубчатих поверхнях нагріву.</b></p> <p><b>Лекція 2.</b> Тепловіддача від газів до циліндра при повздовжньому русі теплоносія. Розрахункова температура і живий переріз для теплоносія. Тепловіддача від газів до циліндра при поперечному русі теплоносія. Лекція супроводжується показом слайдів. <b>Література:</b> [2,], додаткова – [14]. <b>СРС:</b> Середня і локальна тепловіддача при повздовжньому русі теплоносія для циліндричної поверхні. <b>Література:</b> [1], [14].</p>
3.	<p><b>Лекція 3.</b> Тепловіддача при поперечному омиванні коридорних пучків. Тепловіддача при поперечному омиванні шахових пучків труб. Тепловіддача від газів при складному русі в трубчатих поверхнях нагріву. Променевий теплообмін в поверхнях нагріву парових котлів. Лекція супроводжується показом слайдів. <b>Література:</b> [2], [14]. <b>СРС:</b> Особливості теплопередачі через одношарову циліндричну стінку. <b>Література:</b> [1], [14].</p>
4.	<p align="center"><b>Тема 1.3. Визначення коефіцієнтів забруднення, використання і теплової ефективності поверхонь нагріву.</b></p> <p><b>Лекція 4.</b> Коефіцієнт забруднення для ширмових поверхонь і шахових та коридорних пучків. Коефіцієнт використання для ширмових поверхонь і рекуперативних та регенеративних поверхонь нагріву парових котлів. Лекція супроводжується показом слайдів. <b>Література:</b> [2], [3]. <b>СРС:</b> Теплофізичні властивості забруднень поверхонь нагріву при роботі на твердому паливі. <b>Література:</b> [1], [14]</p>
5.	<p><b>Лекція 5.</b> Коефіцієнт використання для ширмових поверхонь і рекуперативних та регенеративних поверхонь нагріву парових котлів. Коефіцієнт теплової ефективності поверхонь нагріву. Лекція супроводжується показом слайдів. <b>Література:</b> [2], [3]. <b>СРС:</b> Теплофізичні властивості забруднень поверхонь нагріву при роботі на газовому паливі. <b>Література:</b> [1], [14]</p>
6.	<p align="center"><b>Тема 1.4. Розрахунок температурного напору в поверхнях нагріву</b></p> <p><b>Лекція 6.</b> Температурний напір при прямотоковому і протитоковому русі теплоносія і робочого тіла. Схеми з паралельно-змішаним рухом. Лекція супроводжується показом слайдів. <b>Література:</b> [2,], [9]. <b>СРС:</b> Теплофізичні властивості золових відкладень при згорянні мазуту. <b>Література:</b> [1], [14].</p>
7.	<p><b>Лекція 7.</b> Температурний напір при перехресному русі теплоносія і робочого тіла. Вплив зміни теплофізичних властивостей робочого тіла і агрегатного стану на температурний напір. Лекція супроводжується показом слайдів. <b>Література:</b> [2,], [9]. <b>СРС:</b> Теплофізичні властивості води і пари на лінії насичення. <b>Література:</b> [1], [14].</p>
<b>Розділ 2. Тепловий розрахунок радіаційних та напіврадіаційних поверхонь нагріву парового котла</b>	
8.	<p align="center"><b>Тема 2.1. Розрахунок радіаційного пароперегрівника</b></p> <p><b>Лекція 8.</b> Особливості конструкції і розташування радіаційних пароперегрівників. Розподіл теплосприйняття в радіаційних пароперегрівниках. Тепловий потік і коефіцієнт тепловіддачі в радіаційних пароперегрівниках від димових газів. Параметри робочого тіла на виході з пароперегрівника. Лекція супроводжується показом слайдів. <b>Література:</b> [2,], [15].</p>

	<p><b>СРС:</b> Особливості радіаційного теплообміну для гладкотрубних та газошільних екранів.  <b>Література:</b> [1], [14].</p>
9.	<p><b>Тема 2.2. Розрахунок ширмового пароперегрівника, фестона і підвісних труб</b>  <b>Лекція 9.</b> Особливості конструкції ширмового пароперегрівника і місце його розташування. Вимоги безшлакової роботи ширм. Особливості теплообміну в вертикальних і горизонтальних ширмах.  Лекція супроводжується показом слайдів.  <b>Література:</b> [2,], [15], [3].  <b>СРС:</b> Підготовка до МКР.</p>
10.	<p><b>Лекція 10.</b> Тепловий баланс в напіврадіаційних пароперегрівниках. Конструктивні особливості одно- і багаторядного фестонів. Призначення підвісних труб. Особливості теплообміну в фестоні і підвісних трубах.  Лекція супроводжується показом слайдів.  <b>Література:</b> [2], [15], [3].  <b>Модульна контрольна робота, частина I</b>  <b>СРС:</b> Особливості теплообміну коридорних пучків з кількістю рядів <math>Z_2 &lt; 10</math>.  <b>Література:</b> [1], [14].</p>
<p><b>Розділ 3. Тепловий розрахунок конвективних поверхонь нагріву парового котла</b></p>	
11.	<p><b>Тема 3.1. Розрахунок конвективного пароперегрівника</b>  <b>Лекція 11.</b> Приріст ентальпії і масові швидкості в пакетах конвективних пароперегрівників.  Тепловий розрахунок гарячого та холодного пакетів.  Лекція супроводжується показом слайдів.  <b>Література:</b> [2], [14], [14].  <b>СРС:</b> Особливості теплообміну шахових пучків з кількістю рядів <math>Z_2 &lt; 10</math>.  <b>Література:</b> [1], [14].</p>
12.	<p><b>Лекція 12.</b> Проміжний пароперегрівник, особливості конструкції та розрахунків.  Лекція супроводжується показом слайдів.  <b>Література:</b> [2], [14], [14].  <b>СРС:</b> Особливості теплообміну коридорних пучків з кількістю рядів <math>Z_2 &gt; 10</math>.  <b>Література:</b> [1], [14].</p>
13.	<p><b>Тема 3.2. Розрахунок водяного економайзера</b>  <b>Лекція 13.</b> Призначення, особливості конструкції і розташування водяних економайзерів. Киплячі і некиплячі водяні економайзери, діапазон масових швидкостей. Розрахункове теплосприйняття водяного економайзера як замикаючої поверхні нагріву.  Лекція супроводжується показом слайдів.  <b>Література:</b> [2], [14], [14].  <b>СРС:</b> Особливості теплообміну шахових пучків з кількістю рядів <math>Z_2 &gt; 10</math>.  <b>Література:</b> [1], [14].</p>
14.	<p><b>Лекція 14.</b> Одно- та двоступеневі схеми водяного економайзера. Розрахунок теплообміну в пакеті водяного економайзера.  Лекція супроводжується показом слайдів.  <b>Література:</b> [2,], [14], [14].  <b>СРС:</b> Теплообмін при ламінарній течії теплоносія в трубах, в'язкістний та в'язкістно-гравітаційні режими.  <b>Література:</b> [1], [14].</p>
15.	<p><b>Тема 3.3. Розрахунок рекуперативних та регенеративних повітропідігрівників.</b>  <b>Повітропідігрівники з проміжним теплоносієм</b>  <b>Лекція 15.</b> Конструктивні характеристики трубчастих повітропідігрівників. Вплив геометрії поверхні нагріву на інтенсивність теплообміну. Визначення компоновочних рішень по розміщенню повітропідігрівників. Розрахунок одно- та двоступеневого повітропідігрівника.  Лекція супроводжується показом слайдів.  <b>Література:</b> [2], [6], [14].</p>
16.	<p><b>Лекція 16.</b> Типи поверхонь нагріву рекуперативних повітропідігрівників. Типорозміри регенеративних повітропідігрівників. Точка роси димових газів при згоранні сірчаних палив і корозійно-небезпечний діапазон температури металу стінки. Тепловий розрахунок регенеративного повітропідігрівника.  Лекція супроводжується показом слайдів.  <b>Література:</b> [2], [6], [14].</p>

	<p><b>СРС:</b> Теплофізичні властивості неорганічних та органічних теплоносіїв (спиртів, фреонів, дифінільної суміші, нафталіну).</p> <p><b>Література:</b> [1], [14].</p>
17.	<p><b>Лекція 17.</b> Методи підвищення надійності роботи “холодних” пакетів повітропідігрівників. Конструктивні особливості повітропідігрівників виготовлених з теплових труб або термосифонів. Температурний діапазон роботи теплових труб і вибір теплоносія. Тепловий розрахунок повітропідігрівника з проміжним теплоносієм.</p> <p>Лекція супроводжується показом слайдів.</p> <p><b>Література:</b> [2], [14].</p> <p><b>СРС:</b> Теплофізичні і термодинамічні властивості димових газів.</p> <p><b>Література:</b> [1], [14].</p>
18.	<p><b>Лекція 19.</b> Повне розділення конвективних газоходів як засіб регулювання температури пром. перегріву. Загальна характеристика роботи схеми і підтримання параметрів пром. перегріву, температури гарячого повітря і відпрацьованих газів в процесі експлуатації. Низькотемпературні водяні економайзери. Економічна ефективність запропонованих рішень.</p> <p>Лекція супроводжується показом слайдів.</p> <p><b>Література:</b> [6], [9].</p> <p><b>СРС:</b> Гідродинаміка руху рідини в каналах складної форми.</p> <p><b>Література:</b> [1], [14].</p>
19.	<p><b>Тема 3.5. Формування теплової нерівномірності у конвективних поверхнях нагріву парового котла і розрахунок теплової розвірки</b></p> <p><b>Лекція 20.</b> Аеродинаміка поворотного газоходу і характер руху газового потоку в ньому. Епюри розподілу швидкостей газів в поворотному газоході і нерівномірність швидкості по перерізах.</p> <p>Лекція супроводжується показом слайдів.</p> <p><b>Література:</b> [5], [10].</p> <p><b>СРС:</b> Гідродинаміка руху рідини в каналах складної форми.</p> <p><b>Література:</b> [1], [14].</p> <p><b>СРС:</b> Температурний режим метала стінки в залежності від умов теплообміну.</p> <p><b>Література:</b> [1], [14].</p>
20.	<p><b>Лекція 21.</b> Аеродинаміка опускного газоходу і характер руху газового потоку в ньому. Теплова розвірка, її складові і основні джерела виникнення. Основні джерела формування теплової нерівномірності і засоби її розрахункового визначення у конвективних і ширмових пароперегрівниках.</p> <p>Лекція супроводжується показом слайдів.</p> <p><b>Література:</b> [5], [10].</p> <p><b>СРС:</b> Підготовка до МКР.</p>
21.	<p><b>Лекція 22.</b> Методи визначення теплової розвірки в пароперегрівниках і її шкідливі наслідки. Основні шляхи підвищення експлуатаційної надійності високотемпературних поверхонь нагріву парових котлів.</p> <p>Лекція супроводжується показом слайдів.</p> <p><b>Література:</b> [5], [14].</p> <p><b>Модульна контрольна робота, частина II</b></p>
22.	<b>Залік</b>

### **Практичні заняття**

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
<b>Розділ 1. Розрахунок теплообміну в поверхнях нагріву</b>	
Тема 1.2. Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі при повздовжньому і поперечному русі теплоносія в трубчатих поверхнях нагріву.	
1,2	Теплообмін при поперечному омиванні шахового/коридорного пучка в залежності від вологовмісту продуктів згорання <i>Література: основна – [1, с. 31 ÷ 45], [3] додаткова – [8].</i>
3	Теплообмін випромінюванням в пароперегрівачі в залежності від вологовмісту продуктів згорання <i>Література: основна – [1, с. 46 ÷ 48], [3] додаткова – [8].</i>
4, 5	Змішаний теплообмін в пароперегрівачах

	<i>Література: основна – [1, с. 31 ÷ 54], [3] додаткова – [8].</i>
<b>Тема 1.4. Розрахунок температурного напору в поверхнях нагріву</b>	
6, 7	Розрахунок теплового напору в пароперегрівачі парового котла при прямої, протитоці та змішаному русі пари та димових газів <i>Література: основна – [2, с.42 ÷ 57], [3] додаткова – [8].</i>
<b>Розділ 3. Тепловий розрахунок конвективних поверхонь нагріву парового котла</b>	
<b>Тема 3.2. Розрахунок водяного економайзера</b>	
8, 9	Конструктивний розрахунок водяного економайзера <i>Література: основна – [2, с.62 ÷ 83], [3] додаткова – [6,8].</i>
<b>Тема 3.3. Розрахунок рекуперативних та регенеративних повітропідігрівників.</b>	
10,11	Конструктивний розрахунок повітряпідігрівача <i>Література: основна – [3, с.22 ÷ 40], [3] додаткова – [8,12].</i>
12, 13	Розрахунок двоступеневого повітропідігрівача <i>Література: основна – [3, с.22 ÷ 45], [3,4] додаткова – [8,12].</i>
14.	<b>Залік</b>

## 6. Самостійна робота студента

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання певних теоретичних і практичних завдань СРС

### Політика та контроль

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

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- готовність відповідей при опитуванні;
- активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення мобільних телефонів; відповідно до завдання викладача використання засобів зв'язку для пошуку інформації в Інтернеті;
- заохочувальні бали надаються у відповідності до «системи оцінювання результатів навчання», штрафні бали є засобом протидії плагіату та несвоєчасному виконанню завдань;
- політика дедлайнів та перескладань полягає у виконанні поточних модульних робіт, завдань практичних занять і СРС до початку сесії;
- політика щодо академічної доброчесності відповідає загальним положенням, прийнятим у «КПІ ім. Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>);
- політика навчальної дисципліни спрямована на розвиток індивідуальних здібностей в напрямку набуття компетентностей щодо створення та модернізації сучасних енергетичних систем, унікального обладнання в енергетичній галузі, а також в напрямку розширення сфер застосування отриманих знань, умінь і досвіду;
- за бажанням студентів, допускається вивчення матеріалу за допомогою онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

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

Види контролю знань студента з дисципліни:

- відповіді на лекційних та практичних заняттях;
- виконання МКР (дві частини);
- відповідь на заліку.

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

- 1) чотири відповіді в середньому на кожного студента на лекційних і практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 2 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб, двадцять дві лекції:  $2 \cdot 22 / 10 \approx 4$  відповіді);
- 2) виконання завдань СРС;
- 3) виконання МКР (дві частини);
- 4) відповідь на заліку при виконанні умов допуску і бажанні студента підвищити оцінку.

**Система рейтингових балів та критерії оцінювання**

##### 1. Робота на заняттях

##### Опитування

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

*Критерії оцінювання:*

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

Лекційні заняття

Ваговий бал — 4. Максимальна кількість балів студента за десять завдань (завдання СРС видаються після лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень):  $r_{1л}=4 \text{ бал} \times 10 = 40 \text{ балів}$ . Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту.

*Критерії оцінювання:*

*Критерії оцінювання:* **4 бали** — в повному об'ємі, вчасно але з несуттєвими недоліками виконане завдання; **3 бали** — в повному об'ємі, вчасно але з суттєвими недоліками виконане завдання; **2 бали** — в повному об'ємі, але не вчасно та з несуттєвими недоліками виконане завдання; **1 бал** — в не повному об'ємі, не вчасно та з суттєвими недоліками виконане завдання; **0 балів** — не вчасно, або не вірно виконане завдання.

**Штрафні бали:**

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

Практичні заняття

Ваговий бал — 4. Максимальна кількість балів студента:  $r_{1пр}= 4 \text{ бали} \times 7 = 28 \text{ балів}$ .

*Критерії оцінювання:*

Виконане завдання надається викладачу на перевірку у електронному вигляді ( формат xls або xlsx) , виконання практичних робіт обов'язкове.

*Критерії оцінювання:* **4 бали** — практична виконана в повному об'ємі, вчасно здана та захищена викладачу, **2 бали** — практична виконана в повному об'ємі, вчасно здана та не захищена викладачу, **1 бал** — практична виконана не в повному об'ємі або невчасно вчасно здана та не захищена викладачу.

**Штрафні бали:**

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

**Заохочувальні бали:**

– студент, котрий своєчасно і в повному обсязі виконав та захистив практичні роботи — **(+1) бал**.

Максимальна кількість балів  $r_1= r_{1л} + r_{1пр} + r_{1СРС} = 12 + 28 + 40 = 80 \text{ балів}$ .

**2. Модульна контрольна робота (МКР)**

Проводиться дві частини МКР. Ваговий бал кожної частини — 10. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює  $r_2=2 \times 10 = 20 \text{ балів}$ .

*Критерії оцінювання:*

**10 балів** — повна вірна відповідь на завдання; **8..9 бали** — відповідь має несуттєві помилки; **5..7 бали** — неповна відповідь; **3..4 бали** — неповна відповідь з несуттєвими недоліками; **0...2 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

**3. Відповіді на заліку**

Залік проводиться у письмово–усній формі. Перелік питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Перші два теоретичних питання оцінюються по 15 балів, а третє – 10 балів. Тобто, максимальна кількість балів за виконану залікову роботу:  $15+15+10 = 40 \text{ балів}$ .

*Критерії оцінювання:*

Кожне питання залікової роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

– правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – **10 (12...15) балів**;

– достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – **8...9 (11...14) балів**;

– неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – **4...7 (10...13) балів**;

– незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше **3 (9) балів**.

**Штрафні бали:**

– додаткове питання з тем лекційного курсу та практичних занять отримують студенти, які не брали участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на **3 бали**.

**Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R<sub>D</sub>):**

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

$$R_C = r_1 + r_2.$$



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

**Максимально можливий стартовий рейтинг:  $R_c = 80+20 = 100$  балів.**

Необхідною умовою допуску до заліку є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС та стартовий рейтинг не менше  $0,25 \times R_c = 25$  балів.

Якщо в продовж семестру студент отримав більше 75 балів, він має право отримати оцінку «автоматом» згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою (див. нижче). **Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.**

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 25 балів або не виконали умов допуску на залік, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Залікова складова  $R_3$  шкали дорівнює:  **$R_3 = 40$  балів** (не враховуються бали за конспект з СРС)

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі заліку (у стартовій складовій не враховуються бали за СРС по лекційному курсу) за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = R_c + R_3 = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
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

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

Студенти мають право і можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (детальніше: [https://osvita.kpi.ua/2020\\_7-170](https://osvita.kpi.ua/2020_7-170), [https://document.kpi.ua/files/2020\\_7-170.pdf](https://document.kpi.ua/files/2020_7-170.pdf)).

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

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. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

### **1. Дистанційне навчання:**

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі Zoom).

### **2. Навчання в умовах правового режиму воєнного стану:**

– передбачає проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;

– кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);

– у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

**3. Для студентів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):**

– сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;

– сертифікатів, які підтверджують участь у науково-практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;

– публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.

**Список теоретичних питань до модульної контрольної роботи**

Частина I

1. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі.
2. Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі при повздовжньому і поперечному русі теплоносія в трубчатих поверхнях нагріву.
3. Визначення коефіцієнтів забруднення, використання і теплової ефективності поверхонь нагріву.
4. Розрахунок температурного напору в поверхнях нагріву.
5. Розрахунок радіаційного пароперегрівника.
6. Розрахунок ширмового пароперегрівника, фестона і підвісних труб.

Частина II

1. Розрахунок конвективного пароперегрівника.
2. Розрахунок водяного економайзера.
3. Розрахунок рекуперативних та регенеративних повітропідігрівників. Повітропідігрівники з проміжним теплоносієм.
4. Одержання високого рівня підігріву в регенеративних повітропідігрівниках. Повне розділення конвективних газоходів як засіб регулювання температури промперегріву. Конструктивні рішення утилізаційних схем.
5. Формування теплової нерівномірності у конвективних поверхнях нагріву парового котла і розрахунок теплової розвірки.

**Список теоретичних питань до залікової роботи**

1. Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до робочого тіла, фактори, які впливають на його величину.
2. Фактори, що впливають на конструкцію конвективних ПП.
3. Фактори, що впливають на конструкцію напіврадіаційних ПП.
4. Визначення радіаційної тепловіддачі в конвективних ПП.
5. Методика розрахунку і особливості конструкції регенеративного повітропідігрівача.
6. Фактори, які впливають на теплообмін в гладкотрубних поверхнях, що поперечно омиваються.
7. Методика визначення геометричних характеристик поворотного газоходу.
8. Методика визначення геометричних характеристик конвективної шахти.
9. Методика розрахунку і особливості конструкції трубчатого повітропідігрівача.
10. Розподіл теплосприйняття між елементами пароперегрівного тракту і особливості його конструкції.
11. Вибір температури гарячого повітря і методи її отримання.
12. Теплосприйняття в вихідних ПП при протитоковому русі.
13. Теплосприйняття в вихідних ПП при змішаному русі.
14. Отримання високих температур гарячого повітря шляхом розділу газоходу.
15. Методика визначення вихідної температури робочого тіла з КПП.
16. Методика визначення параметрів робочого тіла з ВЕ.
17. Особливості конструкції повітропідігрівачів ПК, які працюють на паливах з підвищеним вмістом сірки.
18. Методика розрахунку теплообміну при поперечному русі теплоносія в орєбрених поверхнях нагріву.
19. Методика розрахунку точки роси димових газів при згоранні сірчаних палив і корозійно-небезпечний діапазон температури металу стінки.
20. Температурний напір в конвективних елементах ПК при чистому прямотоці.
21. Температурний напір в конвективних елементах ПК при чистому протитоці.
22. Методика розробка теплової і конструктивної схем конвективного ПП.
23. Тепловіддача зі сторони теплоносія в конвективних ПП.
24. Тепловіддача зі сторони теплоносія в ВЕ.
25. Тепловіддача зі сторони теплоносія в повітропідігрівачах.
26. Методика розрахунку котельного пучка.
27. Методика розрахунку фестона.

28. Методика розрахунку ШПП.
29. Коефіцієнти забруднення і теплової ефективності.
30. Визначення променистої складової в загальній тепловіддачі.
31. Методика розрахунку ВЕ. Тепловий баланс ПК
32. Характеристика температурного режиму поверхонь нагріву ПК з природною циркуляцією.
33. Характеристика температурного режиму поверхонь нагріву прямотокових ПК.
34. Рівняння теплового балансу конвективних поверхонь нагріву ПК.
35. Особливості конструктивних схем пароперегрівного тракту прямотокових котлів.
36. Особливості конструктивних схем пароперегрівного тракту котлів з з природною циркуляцією.
37. Визначення температури забрудненої стінки.
38. Особливості конструкції повітропідігрівача на теплових трубах.
39. Одно і двоступенева компоновка хвостових поверхонь нагріву. Визначальні фактори.
40. Інтенсивність променистого теплообміну в конвективних поверхнях нагріву.
41. Паралельне включення конвективних газоходів ПК.
42. Визначення конструктивної схеми пароперегрівних поверхонь нагріву.
43. Вибір компоновки і особливості розрахунку теплообміну конвективних поверхонь нагріву.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** к.т.н., доцентом, Новаківським Євгеном Валерійовичем

**Ухвалено:** кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 15/а від 30.06. 2022 р.)

**Погоджено:** Методичною комісією ТЕФ (протокол № 9 від 30. 06. 2022 р.)