



Парові та водогрійні котли. Частина 1

Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	142 Енергетичне машинобудування
Освітня програма	Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4,5 кредити, 135 годин: 45 годин лекції, 27 годин практичних занять, 63 години СРС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	екзамен/модульна контрольна робота
Розклад занять	http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н, Воробйов Микита Валерійович, vorobiov.nikv@gmail.com Практичні: к.т.н, Воробйов Микита Валерійович, vorobiov.nikv@gmail.com
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua , https://do.ipk.kpi.ua/ ,

Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни

Галузь енергетичного машинобудування пов'язана з процесами та пристроями виробництва електричної енергії на теплових та атомних електростанціях. До основного обладнання теплових електростанцій відносяться парові котли та турбіни. Саме в парових котлах відбувається перетворення хімічної енергії палива в кінетичну енергію обертання турбіни. Цей процес супроводжується складними процесами які відбуваються під час спалювання палива, процесів теплообміну та теплопередачі в поверхнях нагріву. Саме цим процесам, які відбуваються в парових котлах і присвячений даний курс.

Предмет дисципліни – основи роботи парових котлів та спалювання в них енергетичних палив, основні конструкції котельного обладнання та його використання для виробництва електричної енергії.

При вивченні курсу «Парові та водогрійні котли. Частина 1» студент має: 1) опанувати основні поняття щодо будови та принципу роботи котлів; 2) отримати навички розрахунку котельних установок; 3) аналізувати та визначати можливості використання на практиці різних типів палив при їх використанні в котельних установках; 5) вирішувати різноманітні проблеми щодо роботи котельних установок, які зустрічаються на практиці.

Метою кредитного модулю є формування у студентів здатностей (компетентностей):

- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК 8).
- Здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепції розвитку галузі енергетичного машинобудування (ФК-1).
- Здатність аналізувати інформацію з літературних джерел, здійснювати патентний пошук, а також використовувати бази даних та інші джерела інформації для здійснення професійної діяльності (ФК-3).
- Здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання (ФК-5).
- Здатність визначати режими експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання та застосовувати способи раціонального використання сировинних, енергетичних та інших видів ресурсів (ФК-8).
- Здатність виконувати роботи з розрахунку й проектування об'єктів і систем у області енергомашинобудування відповідно до технічних завдань з використанням сучасних CAD/CAM/CAE систем (ФК-13).

В процесі вивчення курсу «Парові та водогрійні котли. Частина 1» студенти набувають наступних результатів у навчанні:

- Застосовувати інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до спеціальності 142 Енергетичне машинобудування; обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень (ПРН-4).
- Розуміння застосовуваних методик проектування і дослідження, а також їх обмежень відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування (ПРН 11)
- Управляти професійною діяльністю, приймати участь у роботі над проектами відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування, беручи на себе відповідальність за прийняття рішень (ПРН-17).
- Розуміння необхідності самостійного навчання протягом життя (ПРН-20).
- 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-22).
- Визначати та аналізувати теплогідравлічні та аеродинамічні характеристики роботи енергетичного і технологічного обладнання в умовах зміни режимних та експлуатаційних параметрів (ПРН-23).
- Розуміти принципи технологічних процесів виробництва, які мають негативний вплив на довкілля та застосовувати заходи, щодо зменшення цього впливу (ПРН-24).

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

Пререквізити: Теорія теплообміну, Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні.

Постреквізити: Парові та водогрійні котли. Частина 2.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Паровий котел. Класифікація і типи парових котлів.

Тема 1.1. Паровий котел в технологічній схемі генерації пари.

Вступ. Паровий котел. Предмет і задачі курсу. Взаємозв'язок з іншими дисциплінами. Розвиток котлобудування в історичному аспекті. Сучасний паровий котел. Основні терміни і поняття. Технологічна схема котельної установки. Цикл паротурбінної установки. Визначення ККД паротурбінних установок, методи його підвищення.

Тема 1.2. Класифікація парових котлів.

Класифікація парових котлів: за призначенням, продуктивності, параметрам робочого тіла, по виду циркуляції. Основні параметри і маркування парових котлів. Властивості води як робочого тіла. Агрегатний стан, характерні значення температури і тиску.

Тема 1.3. Конструктивні схеми парових котлів.

Конструктивні схеми парових котлів з природною циркуляцією. Жаротрубні та димогарні котли. Еволюція розвитку водотрубних котлів. Конструктивні схеми прямотокових парових котлів. Схема пароводяного тракту котла системи Бенсона. Схема пароводяного тракту котла системи Зульцера. Схема пароводяного тракту котла системи Рамзіна. Конструктивні схеми парових котлів з багатократною примусовою циркуляцією. Властивості пари у докритичному та надкритичному стані. Зона великих теплоємностей.

Тема 1.4. Поверхні нагріву парових котлів.

Призначення поверхонь нагріву парового котла. Економайзери, розміщення в газоходах котла. Конструктивні рішення, організація руху робочого тіла. Випаровувальні поверхні нагріву котла. Топкові екрани, різновид теплообміну, запальний пояс. Котельні пучки, фестони. Пароперегрівники, призначення, вид теплообміну. Конструктивні особливості радіаційних, ширмових та конвективних пароперегрівників. Повітропідігрівники, призначення, вид теплообміну. Конструктивні особливості рекуперативних та регенеративних повітропідігрівників.

Розділ 2. Енергетичне паливо. Методи спалювання органічного палива.

Тема 2.1. Енергетичне паливо. Елементарний склад палива.

Органічне паливо, види палива. Тверде паливо, кам'яне вугілля, сланці. Рідке паливо, мазут і його властивості. Газоподібне паливо, природний газ, промисловий газ. Елементарний склад палива, горюча складова, баласт. Властивості горючої складової палива. Властивості золи. Вплив хімічних елементів на екологічність і надійність роботи котла.

Тема 2.2. Характеристика палива. Класифікація енергетичних палив.

Характеристика палива: робоча, аналітична, суха маса. Теплота згоряння палива, вища і низька теплота згоряння. Приведені характеристики палива. Вихід летких газів і коксу. Твердість палива та коефіцієнт розмолотості. Особливості та класифікація енергетичних палив. Властивості кам'яного, бурого вугілля, торфу. Розподіл за основними характеристиками. Мазут сірчастий та високосірчастий, його властивості.

Тема 2.3. Продукти згоряння органічного палива.

Теоретична витрата повітря на процес горіння палива. Стехіометричні рівняння процесу горіння складових горючої маси палива. Теоретичні об'єм продуктів згоряння (трьохатомних газів, азоту, водяної пари). Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Дійсні об'єми продуктів згоряння. Коефіцієнт надлишку повітря і методи його визначення. Присмоки повітря по газовому тракту парового котла. Ентальпія продуктів згоряння і сухого повітря. I–d діаграма.

Тема 2.4. Тепловий баланс і ККД парового котла.

Рівняння теплового балансу парового котла. Наявна теплота, внесена в топкову камеру. Використана теплота в паровому котлі. Теплові втрати. Втрати теплоти з відпрацьованими газами. Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння палива. Втрати теплоти від механічної неповноти згоряння палива. Втрати теплоти в оточуюче середовище. Втрати теплоти з фізичною теплотою шлаку. ККД парового котла і витрати палива.

Тема 2.5. Шарове спалювання твердого палива.

Схеми організації шарового топкового процесу. Робочі процеси у шарових топках. Конструктивні елементи шарових топков. Механічні шарові топки, стадії підготовки палива і розподіл повітря по зонах. Ступеневе згоряння на ланцюговій решітці. Шахти топки, особливості конструкції при роботі на твердих паливах з підвищеною вологістю. Основні характеристики шарових топков.

Тема 2.6. Камери спалювання органічного палива.

Особливості факельного спалювання палива, переваги і недоліки. Камерні топки і їх характеристики. Теплове напруження топкового об'єму і дзеркала горіння.

Тема 2.7. Спалювання твердого палива у киплячому шарі.

Умови виникнення псевдорозріженого шару. Переваги і недоліки котлів з псевдозрідженим шаром. Високотемпературні та низькотемпературні топки, умови роботи топкових екранів. Екологічні характеристики топков з псевдозрідженим шаром.

Тема 2.9. Камерні топки.

Камерні топки для спалювання газу. Світимість газового факелу. Стабілізація фронту запалювання. Методи суміші приготування, від гомогенного до гетерогенного. Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння та коефіцієнти надлишку повітря. Пальники для спалювання газу. Камерні топки для спалювання рідкого палива. Методи отримання необхідної якості розпалювання. Конструкція форсунок. Пальникові пристрої газомазутних парових котлів. Високотемпературна і низькотемпературна корозія. Камерні топки спалювання твердого палива. Пальникові пристрої котлів, які працюють на твердому паливі. Компонівка пальникових пристроїв. Фактори, які впливають на топковий процес. Аеродинаміка камерних топков, основні вимоги. Камерні топки з рідким шлаковидаленням. Камерні топки з твердим шлаковидаленням. Циклонні та вихрові камерні топки.

Розділ 3. Гідродинаміка парових котлів.

Тема 3.1. Гідродинаміка однорідного та двофазного робочого тіла в трубах. Гідрравлічний опір.

Рух нагріваемого робочого тіла в трубах. Характеристики рідини та рівняння руху, коефіцієнт тертя. Гідрравлічний опір. Характеристики двофазного потоку рідини. Структура пароводяної суміші. Швидкість та паровміст пароводяної суміші. Розрахунок втрат тиску при русі пароводяної суміші в трубах.

Тема 3.2. Гідродинаміка пароводяної суміші в парових котлах з природною циркуляцією.

Контур природної циркуляції. Рушійний напір циркуляції. Гідрравлічна характеристика контуру природної циркуляції. Кратність циркуляції.

Тема 3.3. Надійність роботи контурів природної циркуляції.

Умови роботи контура циркуляції. Гідродинамічна криза руху пароводяної суміші в вертикальних, нахилених і горизонтальних трубах. Причини виникнення застою та перевертання циркуляції. Надійність роботи опускних труб.

Тема 3.4. Примусовий рух води і пари в трубах котлів. Теплогідрравлічні розвірки.

Прямотоків елементи пароводяного тракту котлів з природною циркуляцією та прямотоків котлів. Гідрравлічна характеристика теплообмінної поверхні при примусовому русі робочого тіла. Вплив теплових і гідрравлічних розвірок та нерівномірностей трубних елементів на масові швидкості.

Тема 3.5. Гідрравлічні схеми пароперегрівників. Вплив теплових розвірок на роботу ПП.

Призначення пароперегрівників, умови експлуатації. Гідравлічні схеми пароперегрівачів, П-образні, Z-образні, Ш (радіальні) – образні варіанти підключення. Теплові розвірки в пароперегрівачах. Схеми парового тракту прямоотокового і котла з природною циркуляцією.

Тема 3.6. Регулювання температури перегрітої пари.

Статичні характеристики пароперегрівників. Вплив експлуатаційних факторів на температуру перегріву. Методи і пристрої для регулювання температури перегріву. Методи газового і парового регулювання.

Розділ 4. Теплова схема і компоновка парового котла та його елементів.

Тема 4.1. Теплова схема парового котла.

Загальні уявлення про теплову схему. Теплова схема прямоотокових та котлів з природною циркуляцією. Вибір теплової схеми і розміщення поверхонь нагріву в газовому тракті котла. Вплив параметрів пари, якості палива на конструкцію і теплову схему котла.

Тема 4.2. Основні типи компоновок парових котлів. Компоновка топкових пристроїв.

Типи компоновок парових котлів, переваги і недоліки. Компоновка топкової камери, вплив виду палива і параметрів робочого тіла. Вибір типу топкової камери, вимоги експлуатації. Двосвітні екрани, переваги і недоліки.

Тема 4.3. Компоновка поверхонь нагріву. Екрани, фестони, ширми, змієвикові поверхні нагріву, повітропідігрівники.

Топкові екрани і їх характеристики. Топкові екрани прямоотокових і котлів з природною циркуляцією, газоцільні і футеровані екрани. Компенсація температурних розширень. Фестони та ширми. Особливість конструкції первинного і проміжного пароперегрівника, компенсація температурних розширень. Водяний економайзер, класифікація, особливості конструкції. Рекуперативні і регенеративні повітропідігрівники. Конструктивні варіанти одержання високої температури підігріву повітря.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Степанов Д.В., Корженко Є.С., Боднар Л.А. Котельні установки промислових підприємств. Навчальний посібник. – Вінниця : Внту, 2011. – 120 с.

2. В.О. Туз, В. І. Мариненко, О. О. Васечко Розрахунок топки котельних установок [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 142 «Енергетичне машинобудування»; 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,897 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 36 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)
Розділ 1. Паровий котел. Класифікація і типи парових котлів.	
1	Тема 1.1. Паровий котел в технологічній схемі генерації пари. Лекція 1. Вступ. Паровий котел. Предмет і задачі курсу. Взаємозв'язок з іншими дисциплінами. Розвиток котлобудування в історичному аспекті. Сучасний паровий котел. Основні терміни і поняття. Технологічна схема котельної установки. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектору. Література: основна – [1] – [2] Завдання на СРС: цикл паротурбінної установки. Визначення ККД паротурбінних установок, методи його підвищення.
2	Тема 1.2. Класифікація парових котлів. Лекція 2. Класифікація парових котлів: за призначенням, продуктивності, параметрам робочого тіла, по виду циркуляції. Основні параметри і маркування парових котлів. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектору. Література: основна – [1] – [2]

	Завдання на СРС: властивості води як робочого тіла. Агрегатний стан, характерні значення температури і тиску.
3	Тема 1.3. Конструктивні схеми парових котлів. Лекція 3. Конструктивні схеми парових котлів з природною циркуляцією. Жаротрубні та димогарні котли. Еволюція розвитку водотрубних котлів. Конструктивні схеми прямотокових парових котлів. Схема пароводяного тракту котла системи Бенсона. Схема пароводяного тракту котла системи Зульцера. Схема пароводяного тракту котла системи Рамзіна. Конструктивні схеми парових котлів з багатократною примусовою циркуляцією. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків. Література: основна – [1] – [2] Завдання на СРС: властивості пари у докритичному та надкритичному стані. Зона великих теплоємностей.
4	Тема 1.4. Поверхні нагріву парових котлів. Лекція 4. Призначення поверхонь нагріву парового котла. Економайзери, розміщення в газоходах котла. Конструктивні рішення, організація руху робочого тіла. Випарувальні поверхні нагріву котла. Топкові екрани, різновид теплообміну, запальний пояс. Котельні пучки, фестони. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: вуглецеві сталі та чавуни, які використовуються в котлобудуванні. Лекція 5. Пароперегрівники, призначення, вид теплообміну. Конструктивні особливості радіційних, ширмових та конвективних пароперегрівників. Повітропідігрівники, призначення, вид теплообміну. Конструктивні особливості рекуперативних та регенеративних повітропідігрівників. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: низьколеговані та високолеговані сталі, які використовуються в котлобудуванні.
Розділ 2. Енергетичне паливо. Методи спалювання органічного палива.	
5	Тема 2.1. Енергетичне паливо. Елементарний склад палива. Лекція 6. Органічне паливо, види палива. Тверде паливо, кам'яне вугілля, сланці. Рідке паливо, мазут і його властивості. Газоподібне паливо, природний газ, промисловий газ. Елементарний склад палива, горюча складова, баласт. Властивості горючої складової палива. Властивості золи. Вплив хімічних елементів на екологічність і надійність роботи котла. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: технологія переробки нафти і газу, отримання мазуту, його властивості, технологія збагачення вугілля, флотація, напрямки використання вугілля.
6	Тема 2.3. Продукти згоряння органічного палива. Лекція 7. Теоретична витрата повітря на процес горіння палива. Стехіометричні рівняння процесу горіння складових горючої маси палива. Теоретичні об'єми продуктів згоряння (трьохатомних газів, азоту, водяної пари). Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Дійсні об'єми продуктів згоряння. Крефіцієнт надлишку повітря і методи його визначення. Присмоки повітря по газовому тракту парового котла. Ентальпія продуктів згоряння і сухого повітря. I–d діаграма. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Хімічні властивості горючої складової палива. Властивості повітря.
7	Тема 2.4. Тепловий баланс і ККД парового котла. Лекція 8. Рівняння теплового балансу парового котла. Наявна теплота, внесена в топкову камеру. Використана теплота в паровому котлі. Теплові втрати. Втрати теплоти з відпрацьованими газами. Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння палива. Втрати теплоти від механічної

	неповноти згоряння палива. Втрати теплоти в оточуюче середовище. Втрати теплоти з фізичною теплотою шлака. ККД парового котла і витрати палива. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Особливості теплообміну при вільній конвекції. Визначення кількості теплоти, яка переноситься під час руху теплоносія. Підготовка до модульної контрольної роботи.
8	Тема 2.5. Шарове спалювання твердого палива. Лекція 9. Схеми організації шарового топкового процесу. Робочі процеси у шарових топках. Конструктивні елементи шарових топків. Механічні шарові топки, стадії підготовки палива і розподіл повітря по зонах. Ступеневе згоряння на ланцюговій решітці. Шахти топки, особливості конструкції при роботі на твердих паливах з підвищеною вологістю. Основні характеристики шарових топків. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Особливості процесу горіння твердого палива при недостатній кількості кисню. Вплив кількості вологи палива на процес згоряння в шаровій топці.
9	Тема 2.6. Камери спалювання органічного палива. Лекція 10. Особливості факельного спалювання палива, переваги і недоліки. Камерні топки і їх характеристики. Теплове напруження топкового об'єму і дзеркала горіння. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Вплив розмірів частки твердого палива і краплі рідкого палива на термін підготовки до початку горіння.
10	Тема 2.7. Спалювання твердого палива у киплячому шарі. Лекція 11. Умови виникнення псевдорозріженого шару. Переваги і недоліки котлів з псевдозрідженим шаром. Високотемпературні та низкотемпературні топки, умови роботи топкових екранів. Екологічні характеристики топків з псевдозрідженим шаром. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Методи зменшення кількості шкідливих викидів парових котлів.
11	Тема 2.9. Камерні топки. Лекція 12. Камерні топки для спалювання газу. Світимість газового факелу. Стабілізація фронту запалювання. Методи сумішеприготування, від гомогенного до гетерогенного. Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння та коефіцієнти надлишку повітря. Пальники для спалювання газу. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Особливості горіння газоподібного палива. Лекція 13. Камерні топки для спалювання рідкого палива. Методи отримання необхідної якості розпалювання. Конструкція форсунок. Пальникові пристрої газомазутних парових котлів. Високотемпературна і низкотемпературна корозія. Камерні топки спалювання твердого палива. Пальникові пристрої котлів, які працюють на твердому паливі. Компоновка пальникових пристроїв. Фактори, які впливають на топковий процес Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.

	проектора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Особливості горіння краплі рідкого палива. Особливості горіння частки твердого палива в факелі. Лекція 14. Аеродинаміка камерних топок, основні вимоги. Камерні топки з рідким шлаковидаленням. Камерні топки з твердим шлаковидаленням. Циклонні та вихрові камерні топки. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Методи інтенсифікації процесів тепло- і масообміну при згорянні твердого органічного палива.
Розділ 3. Гідродинаміка парових котлів.	
12	Тема 3.1. Гідродинаміка однородного та двофазного робочого тіла в трубах. Гідрравлічний опір. Лекція 15. Рух нагріваємого робочого тіла в трубах. Характеристики рідини та рівняння руху, коефіцієнт тертя. Гідрравлічний опір. Характеристики двофазного потоку рідини. Структура пароводяної суміші. Швидкість та паровміст пароводяної суміші. Розрахунок втрат тиску при русі пароводяної суміші в трубах. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Особливості теплообміну при фазових переходах. Кризові явища в процесі генерації водяної пари.
13	Тема 3.2. Гідродинаміка пароводяної суміші в парових котлах з природньою циркуляцією. Лекція 16. Контур природньої циркуляції. Рушійний напір циркуляції. Гідрравлічна характеристика контура природньої циркуляції. Кратність циркуляції. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Гідрравлічний розрахунок трубопроводів.
14	Тема 3.3. Надійність роботи контурів природньої циркуляції. Лекція 17. Умови роботи контура циркуляції. Гідродинамічна криза руху пароводяної суміші в вертикальних, нахилених і горизонтальних трубах. Причини виникнення застою та перевертання циркуляції. Надійність роботи опускних труб. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Гідродинаміка пароводяної суміші в нахилених і горизонтальних трубах.
15	Тема 3.4. Примусовий рух води і пари в трубах котлів. Теплогідрравлічні розвірки. Лекція 18. Прямотоківі елементи пароводяного тракту котлів з природньою циркуляцією та прямотопкових котлів. Гідрравлічна характеристика теплообмінної поверхні при примусовому русі робочого тіла. Вплив теплових і гідрравлічних розвірок та нерівномірностей трубних елементів на масові швидкості. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Визначення падіння тиску в системах паралельноз'єднаних трубних елементах в залежності від їх конструкції.
16	Тема 3.5. Гідрравлічні схеми пароперегрівників. Вплив теплових розвірок на роботу ПП. Лекція 19.

	Призначення пароперегрівників, умови експлуатації. Гідравлічні схеми пароперегрівачів, П-образні, Z-образні, Ш (радіальні) – образні варіанти підключення. Теплові розвірки в пароперегрівачах. Схеми парового тракту прямотопкового і котла з природньою циркуляцією. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проєктора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Фізичні властивості наліченої та перегрітої пари, критична точка.
17	Тема 3.6. Регулювання температури перегрітої пари. Лекція 20. Статичні характеристики пароперегрівників. Вплив експлуатаційних факторів на температуру перегріву. Методи і пристрої для регулювання температури перегріву. Методи газового і парового регулювання. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проєктора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Теплообмін в шахових та коридорних пакетах, вплив режимних параметрів та конструктивних характеристик на теплообмін. Підготовка до модульної контрольної роботи.
Розділ 4. Теплова схема і компоновка парового котла та його елементів.	
18	Тема 4.1. Теплова схема парового котла. Лекція 21. Загальні уявлення про теплову схему. Теплова схема прямотопкових та котлів з природньою циркуляцією. Вибір теплової схеми і розміщення поверхонь нагріву в газовому тракті котла. Вплив параметрів пари, якості палива на конструкцію і теплову схему котла. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проєктора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Методика розрахунку теплового балансу складних термодинамічних систем.
19	Тема 4.2. Основні типи компоновок парових котлів. Компоновка топкових пристроїв. Лекція 22. Типи компоновок парових котлів, переваги і недоліки. Компоновка топкової камери, вплив виду палива і параметрів робочого тіла. Вибір типу топкової камери, вимоги експлуатації. Двосвітні екрани, переваги і недоліки. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проєктора. Література: основна – [1] Завдання на СРС: Економічні показники теплотехнічного обладнання, механізм утворення шкідливих викидів при згорянні органічного палива.
20	Тема 4.3. Компоновка поверхонь нагріву. Екрани, фестони, ширми, змієвікові поверхні нагріву, повітропідігрівники. Лекція 23. Топкові екрани і їх характеристики. Топкові екрани прямотопкових і котлів з природньою циркуляцією, газошільні і футеровані екрани. Компенсація температурних розширень. Фестони та ширми. Особливість конструкції первинного і проміжного пароперегрівника, компенсація температурних розширень. Водяний економайзер, класифікація, особливості конструкції. Рекуперативні і регенеративні повітропідігрівники. Конструктивні варіанти одержання високої температури підігріву повітря. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проєктора. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Особливості променевого теплообміну в умовах топкової камери. Інтенсифікація конвективного теплообміну в елементах пароводяного тракту котлів.

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Розділ 2. Енергетичне паливо. Методи спалювання органічного палива. Тема 2.1. Енергетичне паливо. Елементарний склад палива	
1	Види органічного палива. Якісна характеристика твердого палива. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Особливості твердого палива.
2	Горюча складова, баласт. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Склад твердого палива.
3	Якісна характеристика рідкого палива. Якісна характеристика газового палива. Горюча складова. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Особливості і склад рідкого і газового палива.
4	Якісна характеристика рідкого палива. Якісна характеристика газового палива. Горюча складова. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Особливості і склад рідкого і газового палива
Тема 2.3. Продукти згорання органічного палива	
5	Визначення складу продуктів згорання при стехіометричному співвідношенні. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Термодинамічні властивості сухого повітря.
6	Ентальпія сухого повітря. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Термодинамічні властивості сухого повітря.
7	Визначення присмоків повітря по газовому тракту парового котла. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Теплофізичні властивості продуктів згорання.
8	Ентальпія продуктів згорання в газовому тракті парового котла. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Теплофізичні властивості продуктів згорання.
Тема 2.4. Тепловий баланс і ККД парового котла.	
9	Визначення основних складових втрат при експлуатації котла. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Визначення точки роси вологого повітря.
10	Визначення втрат з відпрацьованими газами q_2 . Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Визначення точки роси вологого повітря.
11	Визначення втрат з хімічним недожогом q_3 , q_4 . Визначення втрат з зовнішнім охолодженням q_5 . Визначення втрат з теплотою шлаків q_6 . Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Теплообмін при природній конвекції вертикальних і горизонтальних поверхонь.
12	Модульна контрольна робота
13	Визначення ККД парового котла. Визначення витрати палива B і B_p . Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Розрахунок енергетичної цінності органічного палива.
14	Рівняння матеріального балансу поверхонь нагріву. Рівняння теплового балансу поверхонь нагріву. Приріст ентальпії робочого тіла в елементах пароводяного тракту котла. Розрахунок теплової схеми котла. Література: основна – [1] ÷ [2] Завдання на СРС: Розрахунок конвективного теплообміну в теплообмінних апаратах. Вплив геометричних характеристик поверхні нагріву на теплообмін.

6. Самостійна робота студента

Для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання завдань на самостійне опрацювання матеріалу по лекційній частині курсу і практичних завдань. Завдання видаються після кожної лекції і практичного заняття, строк задачі – не пізніше ніж через тиждень після видачі завдання.

Теми до самостійної роботи до лекційних занять.

1. Цикл паротурбінної установки. Визначення ККД паротурбінних установок, методи його підвищення.
2. Властивості води як робочого тіла. Агрегатний стан, характерні значення температури і тиску .
3. Властивості пари у докритичному та надкритичному стані. Зона великих теплоємностей .
4. Вуглецеві сталі та чавуни, які використовуються в котлобудуванні.
5. Низьколеговані та високолеговані сталі, які використовуються в котлобудуванні.
6. Технологія переробки нафти і газу, отримання мазуту, його властивості, технологія збагачення вугілля, флотація, напрямки використання вугілля
7. Властивості вуглеводних газів, ізомеризація. Вплив домішок на властивості органічного палива.
8. Хімічні властивості горючої складової палива. Властивості повітря.
9. Особливості теплообміну при вільній конвекції. Визначення кількості теплоти, яка переноситься під час руху теплоносія.
10. Особливості процесу горіння твердого палива при недостатній кількості кисню.
11. Вплив кількості вологи палива на процес згоряння в шаровій топці.
12. Вплив розмірів частки твердого палива і краплі рідкого палива на термін підготовки до початку горіння
13. Методи зменшення кількості шкідливих викидів парових котлів.
14. Особливості горіння газоподібного палива.
15. Особливості горіння краплі рідкого палива.
16. Особливості горіння частки твердого палива в факелі.
17. Методи інтенсифікації процесів тепло- і масообміну при згорянні твердого органічного палива.
18. Особливості теплообміну при фазових переходах. Кризові явища в процесі генерації водяної пари.
19. Гідравлічний розрахунок трубопроводів.
20. Гідродинаміка пароводяної суміші в нахилених і горизонтальних трубах.
21. Визначення падіння тиску в системах паралельноз'єднаних трубних елементах в залежності від їх конструкції .
22. Фізичні властивості насиченої та перегрітої пари, критична точка.
23. Теплообмін в шахових та коридорних пакетах, вплив режимних параметрів та конструктивних характеристик на теплообмін .
24. Методика розрахунку теплового балансу складних термодинамічних систем.
25. Економічні показники теплотехнічного обладнання, механізм утворення шкідливих викидів при згорянні органічного палива.
26. Особливості променевого теплообміну в умовах топкової камери.
27. Інтенсифікація конвективного теплообміну в елементах пароводяного тракту котлів .

На підготовку до екзамену передбачено 30 годин СРС.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Викладачі курсу очікують від студентів активного залучення та безпосередньої участі в опануванні дисципліни, зокрема:

- обов'язковим є виконання всіх завдань та контрольних заходів передбачених програмою навчальної дисципліни;
- дотримання правил поведінки на заняттях (активність, уникнення телефонних розмов під час аудиторних занять, зосередженість на матеріалі заняття, відключення телефонів, використання відповідних засобів для оперативного пошуку інформації);
- регулярний перегляд повідомлень та виконання призначених завдань; регулярний перегляд та обробка повідомлень на електронну пошту у корпоративному домені @kpi.ua;
- оперативне реагування на запити та питання викладача;
- самостійне виконання необхідних розрахунків на практичних заняттях, побудова графіків та написання висновків; отримання узгоджених з викладачем правил підготовки, та подальшого виправлення (у разі необхідності) завдань.
- вчасною здачею завдань практичних занять на протязі 1 заняття з моменту заняття згідно розкладу.

- розуміння та дотримання рейтингової системи оцінювання (PCO);
- дотримання політики дедлайнів та перескладань;
- дотримання політики щодо академічної доброчесності;
- інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам університету.

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

Види контролю знань студента з дисципліни:

- поточний контроль: опитування за темами занять, виконання модульної контрольної роботи;
- календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог PCO;
- семестровий контроль: екзамен.

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується зі 100 балів, з них 60 балів складає стартова шкала. Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за опитуваннями, виконання СРС, семестровий рейтинг більше 30 балів.

	кількість	бали	сума балів
Лекційні заняття	23	відповіді на занятті	9 x 2
		виконана СРС	9 x 2
МКР	1	1 x 8	8
Комплексне домашнє завдання по практичним заняттям, СРС	1	1 x 6	6
Сума вагових балів контрольних заходів			50

Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

1. Опитування за темами на занятті.

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 2 бали;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 1 бал;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 0,5 бали;
- незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 0 балів.

2. Модульна контрольна робота (8 балів).

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 7-8 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 5-6 балів;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 3-4 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 2-0 балів.

3. Виконання комплексного домашнього завдання по практичним заняттям, СРС (6 балів).

- повністю вірно виконана і оформлена робота – 5-6 балів;
- достатньо вірно виконана і оформлена робота (є незначні зауваження), або повна відповідь з незначними неточностями – 3-4 балів;
- в цілому вірно виконана робота (є помилки у розрахунках), є зауваження стосовно оформлення – 2 бали;
- незадовільна робота: значні помилки у розрахунках, не відповідає вимогам – 1-0 балів.

4. Заохочувальні бали

В продовж семестру студент може отримати заохочувальні та штрафні бали. Ці бали враховуються при визначенні загального рейтингу студента.

Конспект лекцій (заохочувальні бали)	1...5
Сертифікат проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни (заохочувальні бали)	1...5
Сертифікат, який підтверджує участь у науково-практичних або наукових конференціях за тематикою дисципліни (заохочувальні бали)	1...5

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр (на 8 та 14 тижнях) з метою підвищення якості навчання студентів та моніторингу виконання графіку освітнього процесу студентами

Атестація студентів проводиться за значенням поточного рейтингу студента на час атестації. Якщо значення цього рейтингу не менше 50% від максимально можливого на час атестації, студент вважається атестованим. В іншому випадку в атестаційній відомості виставляється «не атестовано».

Екзамен, рейтингова складова шкали складає 40 балів.

Екзамен проводиться у письмово-усній формі. Екзаменаційне завдання складається з трьох теоретичних питань. Перелік теоретичних питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Перші два питання оцінюються по 17 балів, а третє – 16 балів. Тобто, максимальна кількість балів за виконання завдання $17+17+16 = 50$ балів.

Критерії оцінювання:

повна відповідь, правильне раціональне рішення (не менше 90% потрібної інформації) – 16...17 (14...15) балів;

достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 14...15 (13...14) балів;

неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 11...13 (10...12) балів;

незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше 10 (9) балів.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

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

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3 + r_4.$$

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

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 18+18+8+6 = 50$ балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг не менше $0,5 \times R_c = 30$ балів, при умові зарахування всіх завдань СРС.

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

Екзаменаційна складова R_E шкали дорівнює: **$R_E = 50$ балів**

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі екзамену за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = R_c + R_E = 50 + 50 = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

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

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100-бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 50 + \frac{50 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де R – оцінка за 100-бальною шкалою;

R_i – сума балів, набраних здобувачем продовж семестру;

R_c – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

R_D – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

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://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>).

9. 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.

Додаток 1

Перелік екзаменаційних питань

1. Паровий котел в технологічній схемі генерації пари.
2. Класифікація парових котлів.
3. Загальні конструктивні схеми парових котлів.
4. Принцип роботи котла за природною циркуляцією.
5. Принцип роботи прямо токового котла.
6. Загальна характеристика призначення поверхневий нагріву парових котлів.
7. Конструкції водяних економайзерів парових котлів.
8. Конструкції пароперегрівачів парових котлів.
9. Конструкції випарних поверхневий випарних котлів.
10. Особливості будови контуру природної циркуляції парового котла.
11. Вплив тиску та параметрів пари на перерозподіл тепло сприйняття поверхонь нагріву.
12. Конструктивні схеми прямо токових котлів.
13. Енергетичне паливо. Елементарний склад палива.
14. Характеристика палива. Класифікація енергетичних палив.
15. Властивості твердих палив.
16. Властивості рідких палив.
17. Властивості газоподібних палив.
18. Продукти згоряння органічного палива.
19. Загальна характеристика шкідливих викидів парового котла.

20. Тепловий баланс і ККД парового котла.
21. Особливості газового розрахунку парового котла.
22. Розрахунок ентальпій продуктів згоряння.
23. Шарове спалювання твердого палива. Шарові та шахтні топки.
24. Камерне спалювання органічного палива.
25. Окислювальні та відновлювальні процеси в шарі палива.
26. Спалювання в киплячому шарі.
27. Камерні топки: особливості конструкцій, роботи та експлуатації.
28. Спалювання газового палива, пальникові просторої для його спалювання.
29. Спалювання рідкого палива, пальникові просторої для його спалювання.
30. Спалювання твердого палива, пальникові просторої для його спалювання.
31. Аеродинаміка камерних топок для твердого палива.
32. Гідродинаміка однофазного та двофазного робочого тіла в трубах. Гідравлічний опір.
33. Гідродинаміка пароводяної суміші в парових котлах з природньою циркуляцією.
34. Надійність роботи контурів природньої циркуляції.
35. Примусовий рух води і пари в трубах котлів.
36. Теплогідравлічні розвірки, коефіцієнти нерівномірності.
37. Гідравлічні схеми пароперегрівників. Вплив теплових розвірок на роботу ПП.
38. Регулювання температури перегретої пари.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри, к.т.н., *Воробйовим Микитою Валерійовичем*

Ухвалено: кафедрою АЕ (протокол № 26 від 23.06. 2025 р.)

Погоджено: Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 9 від 27. 06. 2025 р.)