



ТЕПЛОБМІН В ГАЗОВОМУ ТРАКТІ ПАРОВИХ КОТЛІВ - 1

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>ОПП Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем</i> |
| Статус дисципліни | <i>Вибіркова</i> |
| Форма навчання | <i>очна (денна)</i> |
| Рік підготовки, семестр | <i>III курс, осінній семестр</i> |
| Обсяг дисципліни | <i>4 кредитів ЄКТС (120 годин), 54 години лекцій, 18 годин практичних занять, 48 годин – самостійна робота</i> |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи | <i>Письмово-усний екзамен, модульна контрольна робота</i> |
| Розклад занять | <i>3,0 години лекційних занять та 1,0 година практичних занять на тиждень згідно з розкладом http://rozklad.kpi.ua/</i> |
| Мова викладання | <i>Українська</i> |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | <i>Лектор, практичні заняття: к.т.н. Семеняко Олександр Володимирович, тел. 066-756-34-25, e-mail: in.fin.in.tum@gmail.com</i> |
| Розміщення курсу | <i>https://campus.kpi.ua/</i> |

Програма навчальної дисципліни

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

Основною задачею, яка стоїть перед теплоенергетикою в світі є розробка паливовикористовуючого вогнетехнічного обладнання, яке з одного боку має високі техніко-економічні показники, а з іншого - допустимий вплив на навколишнє середовище. Рішення цієї задачі пов'язано з розробкою певної конструкції парового котла, яка розв'язує проблеми тепломасообміну, гідро- і аеродинаміки та міцності його елементів. Для створення такого обладнання необхідно мати знання, уміння і компетентності в області теплообміну і гідродинаміки складних систем.

Предмет навчальної дисципліни особливості радіаційного теплообміну в вогнетехнічних установках і пристроях. Радіаційний, конвективний та складний теплообмін в газовому тракті парових котлів в залежності від типу органічного палива, яке спалюється в топковій камері. Методики позонного і зонального розрахунку теплообміну в газовому тракті парових котлів.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей.

Загальні:

- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК1).
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК2).

- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК4).
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК6).
- Прагнення до збереження навколишнього середовища (ЗК7).

Фахові спеціальності:

- Здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепції розвитку галузі енергетичного машинобудування (ФК1).
- Здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії (ФК2).
- Здатність аналізувати інформацію з літературних джерел, здійснювати патентний пошук, а також використовувати бази даних та інші джерела інформації для здійснення професійної діяльності (ФК3).
- Здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання (ФК5).
- Здатність визначати режими експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання та застосовувати способи раціонального використання сировинних, енергетичних та інших видів ресурсів (ФК8).
- Здатність виконувати роботи зі стандартизації, уніфікації та технічної підготовки до сертифікації технічних засобів, систем, процесів, устаткування й матеріалів, організовувати метрологічне забезпечення теплотехнологічних процесів з використанням типових методів контролю якості продукції у галузі енергетичного машинобудування (ФК9).
- Здатність забезпечувати моделювання об'єктів і процесів з використанням стандартних і спеціальних пакетів програм та засобів автоматизації інженерних розрахунків, проводити експерименти за заданими методиками з обробкою й аналізом результатів (ФК10).
- Здатність брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи методи дослідницької діяльності (ФК12).
- Здатність продемонструвати знання характеристик і властивостей матеріалів, обладнання, процесів в галузі енергетичного машинобудування (ФК13).
- Здатність застосовувати методи оцінки теплогідрравлічної надійності теплоенергетичного устаткування (ФК15).

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

Знання:

- Знання і розуміння інженерних дисциплін на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки (ЗН2).

Уміння:

- Розуміння складних інженерних технологій, процесів, систем і обладнання; уміння обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; уміння правильно інтерпретувати результати таких досліджень (УМ1).
- Уміння виявляти, формулювати і вирішувати інженерні завдання; розуміти важливість нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) обмежень (УМ2).
- Уміння здійснювати пошук необхідної інформації в технічній літературі, використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації, здійснювати моделювання з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань (УМ5).

- Уміння планувати і виконувати експериментальні дослідження за допомогою інструментальних засобів (вимірювальних приладів), оцінювати похибки проведення досліджень, робити висновки (УМ7).
- Уміння демонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепцій в галузі енергетичного машинобудування, технології виробництва, передачі, розподілу і використання енергії (УМ8).
- Уміння застосовувати методику проектування і дослідження для відомих і нових зразків теплоенергетичного обладнання (УМ9).
- Уміння вирішувати практичні завдання, що передбачають реалізацію інженерних проектів і проведення досліджень (УМ10).
- Уміння обирати та застосовувати сучасні матеріали, обладнання та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміти їх обмеження при проектуванні теплоенергетичного обладнання (УМ11).
- Уміння застосовувати норми інженерної практики при виконанні інженерної діяльності (УМ12).
- Уміння ефективно спілкуватися з питань інформації, ідей, проблем та рішень з інженерним співтовариством і суспільством загалом (УМ15)
- Уміння ефективно працювати в національному та міжнародному контексті, як особистість і як член команди, і ефективно співпрацювати з інженерами та не інженерами (УМ16).
- Уміння розпізнавати необхідність і самостійно навчатися протягом життя (УМ17).
- Уміння відстежувати розвиток науки і техніки (УМ18).

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

Пререквізити: ПО7 Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні; ПО13 Конструкційні матеріали в енергомашинобудуванні; Освітній компонент 5. К-каталог.

Постреквізити: Освітній компонент 6. К-каталог.

3. Зміст навчальної дисципліни

Частина 1. Теплообмін в газовому тракці парових котлів - 1

Вступ

Розділ 1. Теплове випромінювання газоподібних продуктів спалювання.

Тема 1.1. Спектральні радіаційні характеристики вуглекислого газу та водяної пари.

Тема 1.2. Степінь чорноти вуглекислого газу і водяної пари.

Тема 1.3. Радіаційні характеристики дисперсних систем.

Розділ 2. Теплове випромінювання факелу.

Тема 2.1. Структура факела і первинні радіаційні характеристики його твердої дисперсної фази.

Тема 2.2. Степінь чорноти топкової камери і факела при спалюванні твердого палива.

Тема 2.3. Теплове випромінювання сажистого полум'я мазуту і газу. Характеристики теплового випромінювання топкової камери для різних палив і їх комбінацій.

Розділ 3. Сумарний теплообмін в топковій камері.

Тема 3.1. Основи інженерних методів розрахунку.

Тема 3.2. Тепловий опір та радіаційні характеристики шару забруднень на екранних трубах.

Механізм утворення патрубних відкладень. Механічні властивості і хімічний склад забруднень.

Перенос теплоти в шарі відкладень. Поглинальна спроможність поверхні патрубних забруднень.

Тема 3.3. Передача енергії випромінювання в об'ємі топкової камери з випромінюючими і відбиваючими стінками.

Тема 3.4. Коефіцієнт теплової ефективності екранів. Ефективна степінь чорноти неізотермічного плоского шару.

Розділ 4. Розрахунок основних розмірів топкової камери.

Тема 4.1. Розрахунок розмірів зони активного горіння в топках з рідким і твердим шлаковидаленням.

Тема 4.2. Розрахунок вигорання пиловугільного факелу і об'єму топкової камери з урахуванням вимог процесу горіння.

Тема 4.3. Температура газів на виході з топкової камери.

Тема 4.4. Розрахунок топкової камери при згорянні газу і мазуту.

Тема 4.5. Позонний розрахунок топкової камери.

Тема 4.6. Конструкції топкових камер і пальників для спалювання вугільного пилу.

Тема 4.7. Утворення і методи зниження кількості оксидів азоту.

Частина 2. Теплообмін в газовому тракті парових котлів - 2

Розділ 5. Розрахунок теплообміну в поверхнях нагріву.

Тема 5.1. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі.

Тема 5.2. Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі при повздовжньому і поперечному русі теплоносія в трубчатих поверхнях нагріву.

Тема 5.3. Визначення коефіцієнтів забруднення, використання і теплової ефективності поверхонь нагріву.

Тема 5.4. Розрахунок температурного напору в поверхнях нагріву.

Розділ 6. Тепловий розрахунок радіаційних та напіврадіаційних поверхонь нагріву парового котла.

Тема 6.1. Розрахунок радіаційного пароперегрівника.

Тема 6.2. Розрахунок ширмового пароперегрівника, фестона і підвісних труб.

Розділ 7. Тепловий розрахунок конвективних поверхонь нагріву парового котла.

Тема 7.1. Розрахунок конвективного пароперегрівника.

Тема 7.2. Розрахунок водяного економайзера.

Тема 7.3. Розрахунок рекуперативних та регенеративних повітропідігрівників. Повітропідігрівники з проміжним теплоносієм.

Тема 7.4. Одержання високого рівня підігріву повітря в регенеративних повітропідігрівниках. Повне розділення газоходів як засіб регулювання температури пром. перегріву. Конструктивні рішення утилізаційних схем.

Тема 7.5. Формування теплової нерівномірності у конвективних поверхнях нагріву парового котла і розрахунок теплової розвірки.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література

1. Блох А.Г. Теплообмен в топках паровых котлов. Л., Энергоатомиздат, 1984, 240 с.
2. Липов Ю.М., Самойлов Ю.Ф., Модель З.Г. Компонировка и тепловой расчет парогенератора. Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1975, 176 с.
3. Методические указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов. – С-П.: АООТ “НПО ЦКТИ”, 1996, 270 с.
4. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – С-П: НПО ЦКТИ – ВТИ, 1998, 256 с.

5. Орнатский А.П., Дашкиев Ю.Г., Перков В.Г. Парогенераторы сверхкритического давления. – Киев: Вища школа, 1980, 288 с.
6. Кроть Л.Б., Розенгауз И.Н. Конвективные элементы мощных котельных агрегатов. М.: Энергия. 1976, 248 с.

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

1. 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 с.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1981, 434 с.
3. Вукалович. Техническая термодинамика.
4. Идельчик И.Е. Аэродинамика технологических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983, 351 с.
5. Оребренные поверхности нагрева паровых котлов /Г.И. Левченко, И.Д. Лисейкин, А.М. Копелиович и др. – М.: Энергоатомиздат, 1986, 168 с.
6. Ковалев А.П. и др. Парогенераторы: Учебник для вузов /А.П. Ковалев, Н.С. Лелеев, Т.В. Виленский: Под общ. ред. А.П. Ковалева. – М.: Энергоиздат, 1985, 376 с.
7. Бычковский А.Л. Утепляющие экраны парогенераторов. – М.: Машиностроение, 1976, 112 с.
8. Кузнецов Н.В. Рабочие процессы и вопросы усовершенствования конвективных поверхностей котельных агрегатов. – М.-Л: Госэнергоиздат, 1958, 172 с.
9. 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.
10. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты /А.П. Волков и др. – М.: Энергоиздат, 1989. – 272 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5.1 Лекції

| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС) |
|---|--|
| Розділ 1. Теплове випромінювання газоподібних продуктів спалювання | |
| 1. | <p><u>Тема 1.1. Спектральні радіаційні характеристики вуглекислого газу та водяної пари</u></p> <p>Лекція № 1. Світимість газів. Властивості газоподібних продуктів згорання органічного палива. Спектральна степінь чорноти газів і її залежність від товщини шару, тиску і температури. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [1, с. 17 - 30], додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон випромінювання Планка. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> <p>Лекція № 2. Інтегральні радіаційні характеристики CO_2 і H_2O. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [1, с. 17 – 30], додаткова – [8]. Завдання на СРС: Практичне використання закону випромінювання Планка. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| 2. | <p><u>Тема 1.2. Степінь чорноти вуглекислого газу і водяної пари. Радіаційні характеристики та інтегральна поглинальна спроможність CO_2, H_2O, CO і SO_2</u></p> <p>Лекція № 3. Степінь чорноти вуглекислого газу. Степінь чорноти водяної пари. Випромінювання суміші газів. Інтегральна поглинальна спроможність CO_2 і H_2O. Радіаційні характеристики SO_2 і CO. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків.</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>Література: основна – [1, с. 31 – 45], додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон випромінювання Стефана-Больцмана. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| 3. | <p><u>Тема 1.3. Радіаційні характеристики дисперсних систем</u></p> <p>Лекція 4. Параметр дифракції і комплексний показник преломлення. Розсіювання і поглинання в монодисперсній системі сферичних часток. Індикатриса розсіювання. Вплив ефекту розсіювання на поглинальну спроможність системи часток. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [1, с. 45 – 57; 73 – 76], додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон Ламберта. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| Розділ 2. Теплове випромінювання факела | |
| 4. | <p><u>Тема 2.1. Структура факела і первинні радіаційні характеристики його твердої дисперсної фази</u></p> <p>Лекція 5. Вплив випромінювання часток золи і коксу на характеристики факела. Показники переломлення і поглинання для часток коксу і вугільного пилу. Вплив елементарного складу палива на радіаційні характеристики факела. Радіаційні властивості твердої дисперсної фази факела. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [1, с. 76 – 85; 92 - 96], додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон випромінювання Віна. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| 5. | <p><u>Тема 2.2. Степінь чорноти топкової камери і факела при спалюванні твердого палива</u></p> <p>Лекція 6. Вплив дисперсної фази на теплове випромінювання пиловугільного факела. Основні характеристики топкового випромінювання. Спектральний розподіл інтенсивності випромінювання часток. Коефіцієнт теплової ефективності екранів. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [1, с. 96 – 100], додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон зміщення Віна. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| 6. | <p><u>Тема 2.3. Теплове випромінювання сажистого полум'я мазуту і газу. Характеристики теплового випромінювання топкової камери для різних палив і їх комбінацій.</u></p> <p>Лекція 7. Структура факела при згоранні рідкого та газоподібного палива. Комплексний показник переломлення для часток сажі. Спектральна поглинальна спроможність монодисперсної системи часток вуглецю. Індикатриса розсіювання. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [1, с. 114 – 122; 140 - 148], додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон Кірхгофа. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> <p>Лекція 8. Характеристики теплового випромінювання топки при згорянні мазуту. Вплив рециркуляції димових газів на температурне поле топкової камери. Характеристики теплового випромінювання топки при роботі на природному газі. Характеристики теплового випромінювання топки при спільному згорянні мазуту і природного газу. Характеристики теплового випромінювання топки при спільному згорянні газу і вугільного пилу. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [1, с. 140 – 156], додаткова – [8]. Завдання на СРС: Рівняння переносу енергії випромінювання. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| Розділ 3. Сумарний теплообмін в топковій камері | |
| 7. | <p><u>Тема 3.1. Основи інженерних методів розрахунку</u></p> <p>Лекція 9. Фактори, які впливають на теплообмін в топковій камері. Теплові характеристики</p> |

| | |
|-----|---|
| | <p>топкової камери. Розрахунок теплообміну в однокамерних топках за методом ЦКТІ. Теплофізичні властивості продуктів згоряння органічного палива.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків.</p> <p>Література: основна – [2, с. 62 - 65] [1, с. 156 - 169], [7] додаткова – [8].</p> <p>Завдання на СРС: Вплив оптичних властивостей і теплопровідності на теплообмін в газах.</p> <p>Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> <p>Лекція 10. Кутовий коефіцієнт екранів, вплив геометричних характеристик на його величину. Вплив положення факела в топці на її температурне поле. Коефіцієнт послаблення процесів топкових газів. Теплове напруження топкової камери. Особливості розрахунку напіввідкритих топкових камер.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків.</p> <p>Література: основна – [2, с. 63 - 72], [1, с. 156 - 169], додаткова – [8].</p> <p>Завдання на СРС: Середні інтегральні коефіцієнти поглинання.</p> <p>Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| 8. | <p><u>Тема 3.2. Тепловий опір та радіаційні характеристики шару забруднень на екранних трубах</u></p> <p>Лекція 11. Механізм утворення натрубних відкладень. Механічні властивості і хімічний склад забруднень. Перенос теплоти в шарі відкладень. Поглинальна спроможність поверхні натрубних забруднень.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків.</p> <p>Література: основна – [1, с. 169 - 178], додаткова – [8].</p> <p>Завдання на СРС: Теплообмін через плоску одно- і багат шарову стінку.</p> <p>Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| 9. | <p><u>Тема 3.3. Передача енергії випромінювання в об'ємі топкової камери з випромінюючими і відбиваючими стінками</u></p> <p>Лекція 12. Спектральна інтенсивність падаючого випромінювання. Умови локальної термодинамічної рівноваги.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків.</p> <p>Література: основна – [1, с. 178 - 181], [7] додаткова – [8].</p> <p>Завдання на СРС: Теплообмін через циліндричну одно- і багат шарову стінку.</p> <p>Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> <p>Лекція 13. Основні радіаційні характеристики неізотермічного випромінюючого шару з відбиваючими і випромінюючими стінками.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків.</p> <p>Література: основна – [1, с. 178 - 181], додаткова – [8].</p> <p>Завдання на СРС: Підготовка до контрольної роботи.</p> <p>Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| 10. | <p><u>Тема 3.4. Коефіцієнт теплової ефективності екранів. Ефективна степінь чорноти неізотермічного плоского шару</u></p> <p>Лекція 14. Фізичний зміст коефіцієнта теплової ефективності. Залежність коефіцієнта теплової ефективності від фізичних властивостей шару забруднень і продуктів згоряння. Характеристика температурного стрибка на кордоні факел-стінка. Ефективна степінь чорноти неізотермічного плоского шару. Вплив розсіювання випромінювання на умови теплообміну в топці.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків.</p> <p>Література: основна – [1, с. 181 - 192], додаткова – [8].</p> <p>Модульна контрольна робота, частина I</p> <p>Завдання на СРС: Теплопередача через багат шарові плоскі і циліндричні стінки. ГУ третього роду.</p> <p>Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |

Розділ 4. Розрахунок основних розмірів топкової камери.

| | |
|-----|---|
| 11. | <p><u>Тема 4.1. Розрахунок розмірів зони активного горіння в топках з рідким і твердим шлаковидаленням</u></p> <p>Лекція 15. Умови, від яких залежить відкладення шлаку на екранних поверхнях. Секціонування топкової камери за умовами процесу згоряння твердого палива. Допустиме значення теплового напруження променевої поверхні. Можливості регулювання температури в зоні активного горіння. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [3, с. 33 - 40], додаткова – [3].</p> <p>Лекція 16. Функції зони активного горіння в топкових камерах з рідким шлаковидаленням. Основні конструктивні та режимні показники роботи зони активного горіння. Конструкція шипових екранів і методика їх розрахунку. Відновлення шипових екранів. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [3, с. 40 - 43; 126 - 133], додаткова – [8]. Завдання на СРС: Інтенсифікація теплообміну в оребренних поверхнях нагріву. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| 12. | <p><u>Тема 4.2. Розрахунок вигорання пиловугільного факелу і об'єму топкової камери з урахуванням вимог процесу горіння</u></p> <p>Лекція 17. Фактори, які впливають на об'єм топкової камери парових котлів. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [3, с. 43 - 59], додаткова – [7]. Завдання на СРС: Масообмін при згорянні частки твердого палива. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> <p>Лекція 18. Методика розрахунку часу згоряння частки твердого палива. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [3, с. 43 - 59], додаткова – [7]. Завдання на СРС: Фізико-хімічні властивості твердого палива. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| 13. | <p><u>Тема 4.3. Температура газів на виході з топкової камери</u></p> <p>Лекція 19. Вимоги для запобігання шлакуванню напіврадіаційних і конвективних поверхонь нагріву. Властивості шару відкладень, умови саморозшлакоування. Зниження температури на виході з топкової камери за допомогою рециркуляції газів. Зменшення теплової розвірки. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [3, с. 59 - 70], [5] додаткова – [3]. Завдання на СРС: Властивості золених часток і шлаку в рідкому стані. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> |
| 14. | <p><u>Тема 4.4. Розрахунок топкової камери при згорянні газу і мазуту</u></p> <p>Лекція 20. Теплове напруження топкової камери газомазутних парових котлів. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [3, с. 70 - 74] додаткова – [12]. Завдання на СРС: Особливості підготовки газу до спалювання в камерних топках. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> <p>Лекція 21. Розміри факела і його розташування в топковій камері. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [3, с. 70 - 74] додаткова – [12]. Завдання на СРС: Кінетика горіння рідкого палива. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p> <p>Лекція 22. Степінь вигорання палива в зоні активного горіння. Розміри факела пальників при роботі на газу. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків.</p> |

| | |
|-----|---|
| | Література: основна – [3, с. 70 - 74] додаткова – [12]. Завдання на СРС: Кінетика горіння газоподібного палива. Література: основна – [1] додаткова – [8]. |
| 15. | <u>Тема 4.5. Позонний розрахунок топкової камери</u> Лекція 23. Теплогідрравлічні процеси в топкових екранах. Умови роботи екранних поверхонь нагріву, кризи кипіння. Методика позонного розрахунку топкової камери. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [4] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Умови виникнення криз кипіння I і II роду. Література: основна – [1] додаткова – [8]. |
| 16. | <u>Тема 4.6. Конструкції топкових камер і пальників для спалювання вугільного пилу</u> Лекція 24. Топкові пристрої з зустрічним і фронтальним розташуванням пальників. Топкові пристрої з вихровими пальниками. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [3, с.99-124] додаткова – [12]. Завдання на СРС: Принципи підготовки твердого палива до спалювання Література: основна – [1] додаткова – [8]. Лекція 25. Особливості конструкції топкових камер з рідким шлаковидаленням. Особливості конструкції зони горіння, конструкція ошипованих екранів і методика їх розрахунків. Особливості конструкції топкових камер з твердим шлаковидаленням. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [3] с.125-141 додаткова – [12]. Завдання на СРС: Фізико-хімічні властивості шлаків. Література: основна – [1] додаткова – [8]. |
| 17. | <u>Тема 4.7. Утворення і методи зниження кількості оксидів азоту</u> Лекція 26. Нормативи викидів оксидів азоту. Джерела і механізм утворення оксидів азоту при спалюванні органічних палив. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [3, с.88-99] додаткова – [7]. Завдання на СРС: Підготовка до контрольної роботи Література: основна – [1] додаткова – [8]. Лекція 27. Технологічні методи по зниженню рівню викидів оксидів азоту в камерних топках. <i>Модульна контрольна робота, частина II</i> Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків. Література: основна – [3, с.88-99] додаткова – [7]. Завдання на СРС: Кінетика утворення продуктів згорання органічного палива і їх склад. Література: основна – [1] додаткова – [8]. |

5.2 Практичні заняття

| № з/п | Назва теми |
|-------|--|
| 1. | Розрахунок основних конструкторських характеристик топкових екранів |
| 2. | Перевірочного розрахунок топкової камери котельного агрегату |
| 3. | Користування таблицями теплофізичних властивостей робочих тіл |
| 4. | Використання ЕОМ при проведенні розрахункового дослідження теплообміну у топковій камері |
| 5. | Розрахунок теплового режиму топкового екрану на підставі експериментальних даних |
| 6. | Розрахунок температурного режиму топкових екранів у стабільних та у нестабільних умовах тепловиділення |

| | |
|----|--|
| 7. | Розрахунок тривалості міжпромивального періоду потужного енергетичного котла в умовах стабільного і нестабільного тепловиділення у топковій камері |
| 8. | Розрахунок температурного режиму футерованого екрану |

6. Самостійна робота студента/аспіранта

| № з/п | Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1. | Закон випромінювання Планка. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1 |
| 2. | Практичне використання закону випромінювання Планка. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1 |
| 3. | Закон випромінювання Стефана-Больцмана. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1 |
| 4. | Закон Ламберта. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1 |
| 5. | Закон випромінювання Віна. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1 |
| 6. | Закон зміщення Віна. Література: основна – [1] додаткова – [8] | 1 |
| 7. | Закон Кірхгофа. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1 |
| 8. | Рівняння переносу енергії випромінювання. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1,5 |
| 9. | Вплив оптичних властивостей і теплопровідності на теплообмін в газах. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1,5 |
| 10. | Середні інтегральні коефіцієнти поглинання. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1,5 |
| 11. | Теплообмін через плоску одно- і багат шарову стінку. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1 |
| 12. | Теплообмін через циліндричну одно- і багат шарову стінку. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1 |
| 13. | Підготовка до І-ї частини модульної контрольної роботи | 6 |
| 14. | Теплопередача через багат шарові плоскі і циліндричні стінки. ГУ третього роду. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1 |
| 15. | Інтенсифікація теплообміну в ребрених поверхнях нагріву. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1 |
| 16. | Масообмін при згорянні частки твердого палива. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1,5 |
| 17. | Фізико-хімічні властивості твердого палива. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1,5 |
| 18. | Властивості золових часток і шлаку в рідкому стані. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1,5 |
| 19. | Особливості підготовки газу до спалювання в камерних топках. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1,5 |
| 20. | Особливості підготовки газу до спалювання в камерних топках. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1 |
| 21. | Кінетика горіння рідкого палива. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 2 |
| 22. | Кінетика горіння газоподібного палива. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 2 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 23. | Умови виникнення криз кипіння I і II роду. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 2 |
| 24. | Принципи підготовки твердого палива до спалювання. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 1,5 |
| 25. | Фізико-хімічні властивості шлаків. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 2 |
| 26. | Підготовка до II-ї частини модульної контрольної роботи | 6 |
| 27. | Кінетика утворення продуктів згорання органічного палива і їх склад. Література: основна – [1] додаткова – [8]. | 2 |
| 28. | Підготовка до екзамену | 30 |

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- *відвідування занять (лекційних та практичних) є обов'язковим;*
- *в разі пропущення лекційного або практичного заняття вони повинні бути відпрацьовані за індивідуальних графіком;*
- *готовність відповідей при опитуванні за матеріалами СРС та попередньо пройденого матеріалу;*
- *в разі виявлення академічної недобросовісності у виконанні модульної контрольної роботи – результати контрольного заходу не враховуються. Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається.*

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

Рейтинг студента з кредитного модуля складається з балів, які він отримує за:

1. *активну участь у роботі на практичних заняттях;*
2. *виконання завдань СРС по лекційному курсу;*
3. *виконання 2-х частин модульної контрольної роботи;*
4. *відповіді на екзамені –максимально 40 балів.*

Система рейтингових балів

1. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 3. Максимальна кількість балів: $r_1=3$ бали \times 5 = 15 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.

2. Виконання завдань СРС

Ваговий бал — 1. Максимальна кількість балів - 25 (завдання СРС видаються після кожної лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_2=1$ бал \times 25 = 25 балів. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове. Критерії оцінювання: 1 бал — в повному об'ємі і вчасно надана відповідь; 0 балів — не вчасно надана відповідь. **Штрафні бали** – несвоєчасне представлення виконаного завдання СРС без поважної причини (хвороба) — 1 бал.

3. Модульна контрольна робота (МКР)

Протягом семестру проводиться дві частини МКР. Ваговий бал кожної частини — 10. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_3 = 10 \times 2 = 20$ балів. Критерії оцінювання: 10 - 9 балів — повна вірна відповідь на завдання (не менше 90 % потрібної інформації); 7 - 8 балів — достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями; 3 – 6 балів — неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки; 0 – 2 балів — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

Поточний контроль

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 26 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 13 балів. За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 40 балів. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 20 балів.

4. Відповіді на екзамені

Екзамен проводиться у письмово-усній формі. Екзаменаційний білет складається з трьох теоретичних питань. 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 виконане завдання $15 + 15 + 10 = 40$ балів.

Критерії оцінювання

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 13...15 (9...10) балів;
- достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 10...12 (7...8) балів;
- неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 7...9 (5...6) балів;
- незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та значні помилки) – менше 6 (5) балів.

Штрафні бали: додаткове питання з тем лекційного курсу 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_D)

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

$$R_c = r_1 + r_2 + r_3,$$

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

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 15 + 25 + 20 = 60$ балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС та стартовий рейтинг не менше $0,5 \times R_c = 30$ балів.

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 30 балів, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Екзаменаційна складова шкали дорівнює $R_e = 40$ балів. Таким чином, максимальна кількість балів за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

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

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань до модульної контрольної роботи

| № з/п | Назва теми , яка виноситься на контрольну роботу |
|-------------------|--|
| Частина I | |
| 1. | Спектральні радіаційні характеристики вуглекислого газу та водяної пари. |
| 2. | Степінь чорноти вуглекислого газу та водяної пари. Радіаційні характеристики та інтегральна поглинальна спроможність CO_2 , H_2O , CO і SO_2 . |
| 3. | Радіаційні характеристики дисперсних систем. |
| 4. | Структура факела і первинні радіаційні характеристики його твердої дисперсної фази. |
| 5. | Степінь чорноти топкової камери і факела при спалюванні твердого палива. |
| 6. | Теплове випромінювання сажистого полум'я мазуту і газу. Характеристики теплового випромінювання топкової камери для різних палив і їх комбінацій. |
| 7. | Основи інженерних методів розрахунку. |
| 8. | Тепловий опір та радіаційні характеристики шару забруднень на екранних трубах. |
| 9. | Передача енергії випромінювання в об'ємі топкової камери з випромінюючими і відбиваючими стінками. |
| 10. | Коефіцієнт теплової ефективності екранів. Ефективна степінь чорноти неізотермічного плоского шару. |
| Частина II | |
| 1. | Розрахунок розмірів зони активного горіння в топках з твердим і рідким шлаковидаленням. Конструкція шипових екранів і їх розрахунок. |
| 2. | Розрахунок вигоряння пиловугільного факелу і об'єми топкової камери з урахуванням вимог процесу горіння. |
| 3. | Температура газів на виході з топкової камери. |
| 4. | Розрахунок топкової камери при спалюванні газу і мазуту. |

Перелік питань на екзамен

1. Вимоги до топкових пристроїв ПК, які працюють на твердому паливі
2. Вимоги до топкових пристроїв ПК, які працюють на рідкому та газоподібному паливі.
3. Порядок розрахунку топкових пристроїв ПК, що працюють на твердому паливі.
4. Порядок розрахунку топкових пристроїв ПК, що працюють на рідкому і газоподібному паливі.
5. Характерні температури топок з рідким шлаковидаленням.
6. Характерні температури топок з твердим шлаковидаленням
7. Характерні температури топок на газі і мазуті.
8. Степінь чорноти топкової камери і її теплонапряга.
9. Об'єм топкової камери і її теплонапряга.
10. Пальники для твердих палив та їх розміщення в топці.
11. Пальники для рідких і газоподібних палив та їх розміщення в топці
12. Шарове спалювання твердих палив
13. Камерні топки для спалювання твердих палив
14. Камерні топки для спалювання рідких і газоподібних палив.
15. Радіаційні характеристики CO_2 .
16. Радіаційні характеристики H_2O
17. Методика позонного розрахунку топкової камери.
18. Вплив параметрів середовища (тиску і температури) на теплообмін випромінюванням.
19. Коефіцієнт послаблення променів топкових газів для рідких і газоподібних палив.
20. Коефіцієнт ослаблення променів топкових газів для твердих палив
21. Коефіцієнт теплової ефективності ошипованих екранів
22. Коефіцієнт теплової ефективності екранів.
23. Кутовий коефіцієнт екрана.
24. Абсолютно чорне тіло.
25. Закон випромінювання Планка.
26. Закон випромінювання Ламберта.
27. Закон Кірхгофа
28. Закон випромінювання Вина.
29. Закон випромінювання Стефана-Больцмана.
30. Перенесення енергії випромінюванням.
31. Фактори, що визначають розміри зони активного горіння в топках з твердим шлаковидаленням.
32. Фактори, що визначають розміри зони активного горіння в топках з рідким шлаковидаленням.
33. Безшлаковочна робота топкових екранів.
34. Методика визначення вигорання пиловугільного факела.
35. Визначення об'єму топкової камери з урахуванням типу палива та схеми паливоприготування, особливостей палива.
36. Фактори, що визначають температуру газів на виході з топкової камери і методи її регулювання при роботі на твердому паливі.
37. Фактори, що визначають температуру газів на виході з топкової камери і методи її регулювання при роботі на рідкому і газоподібному паливі.

38. Розміри факела і його розташування в котельній камері при роботі на газі і мазуті.
39. Повітряний баланс топкового пристрою. Фактори, що визначають вибір горілчаного пристрою.
40. Корозія поверхонь нагріву і заходи її попередження.
41. Джерела і механізм утворення оксидів азоту при спалюванні органічних палив.
42. Технологічні методи зниження освіти NO_x в камерних топках пиловугільних котлів
43. Заходи з придушення освіти NO_x в камерних топках пиловугільних котлів. Двоступінчате спалювання.
44. Заходи з придушення освіти NO_x в камерних топках пиловугільних котлів. Триступеневе спалювання.
45. Заходи з придушення освіти NO_x в камерних топках газомазутних котлів. Двоступінчате спалювання.
46. Заходи з придушення освіти NO_x в камерних топках газомазутних котлів. Триступеневе спалювання.
47. Топкові пристрої з прямо струминними пальниками.
48. Топкові пристрої з тангенціальним розташуванням пальників.
49. Особливості конструкцій топків з рідким шлаковидаленням.
50. Конструкція ошипованих екранів і методика їх розрахунку.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено ст. викл. каф. АЕС і ІТФ, к.т.н. Семеняко О.В.

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № ___ від _____)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № __ від _____)