



Методологічні основи проектування радіаційних поверхонь нагріву топкових пристроїв енергетичних 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>III курс, весняний</i>
Об'єм дисципліни	<i>4 кредити ЕКТС (120 годин), 54 години лекцій, 18 годин практичні заняття, 48 годин самостійної роботи</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., професор, Туз Валерій Омелянович, valeriituz56@gmail.com Практичні заняття: д.т.н., професор, Туз Валерій Омелянович, valeriituz56@gmail.com
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua , https://do.ipk.kpi.ua/ , https://drive.google.com/drive/

Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни процес радіаційного теплообміну в газовому тракті парових котлів

Основною задачею, яка стоїть перед теплоенергетикою в світі є розробка обладнання паротурбінних установок, які працюють на ульракритичних параметрах, що дозволить підвищити ККД обладнання ТЕС майже у півтори рази. 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.

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

- | | |
|--|-------|
| Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні деталей і вузлів енергетичного і технологічного обладнання. | ФК 4 |
| Здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання. | ФК 5 |
| Здатність вибирати основні й допоміжні матеріали та способи реалізації основних тепло-технологічних процесів при створенні нового обладнання в галузі енергомашинобудування і застосовувати прогресивні методи експлуатації теплотехнологічного обладнання для об'єктів енергетики, промисловості і транспорту, комунально-побутового та аграрного секторів економіки. | ФК 6 |
| Здатність визначати режими експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання та застосовувати способи раціонального використання сировинних, енергетичних та інших видів ресурсів. | ФК 8 |
| Здатність продемонструвати знання характеристик і властивостей обладнання, процесів і матеріалів в галузі енергетичного машинобудування. | ФК 15 |

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

Розуміння застосовуваних методик проектування і дослідження, а також їх обмежень відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування	ПРН 11
Використовувати обладнання, матеріали та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміння їх обмежень відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.	ПРН 13
Застосовувати норми інженерної практики відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.	ПРН 14
Класифікувати теплообмінне обладнання за різними ознаками і відповідно до заданих умов роботи теплообмінного обладнання, вибирати паливо і теплоносії, використовувати стандартні методи 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

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

Пререквізити: Теорія теплообміну, Гідрогазодинаміка Технічна термодинаміка, Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні, Парові та водогрійні котли, Процеси горіння

Постреквізити: дипломне проектування, дисципліни, які пов'язані з розробкою обладнання паротурбінних установок.

3. Зміст навчальної дисципліни

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. Радіаційні характеристики та інтегральна поглинальна спроможність CO₂, H₂O, CO і SO₂

Тема 1.3. Радіаційні характеристики дисперсних систем.

Розділ 2. Теплове вимірювання 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.

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 неізотермічно-го плоского шару.

Розділ 4. Розрахунок основних розмірів топкової камери.

Тема 4.1. Розрахунок розмірів зони активного горіння в топках з рідким і твердим шлаковида-ленням.

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.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Сучасні розробки Інституту вугільних енерготехнологій НАН України для теплової енергетики/ Майс-тренко О.Ю., Корчевой Ю.П., Топал О.І., Чернявський М.В. та інш. – К.:ГНОЗІС, 2014. – 224с.
2. Степанов Д.В., Корженко Є.С., Боднар Л.А. Котельні установки промислових підприємств: Навчальний посібник. – Вінниця : Внту, 2011. – 120 с.
3. 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.

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

4. Заміщення природного газу альтернативними паливами/Карп І.М., Нікітін Є.Є., П'яних К.Є., П'яних К.К. – К.: Наукова думка, 2019. – 230с.
5. Чепурний М. М. Теплові розрахунки парогенераторів. [Навчальний посібник] / М. М. Чепурний, Д. В. Степанов, Є. С. Корженко. – Вінниця: ВНТУ, 2006. - 155 с.
6. Степанов Д.В., Корженко Є.С., Боднар Л.А. Котельні установки промислових підприємств: Навчальний посібник. – Вінниця : Внту, 2011. – 120 с.
7. Константинов С.М. Теплообмін: Підручник. - К.: ВПІ ВПК "Політехніка": Інрес, 2005. - 304 с. http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2015/Konstantinov_2005_304.pdf
8. Шевель, Є. В. Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра енергетичних спеціальностей / Шевель Євген Вікторович, Воробйов Микита Валерійович ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,94 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 134 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48257>

Інформаційні ресурси

1. Кампус <http://login.kpi.ua>.
2. Бібліотека <ftp://77.47.180.135>.
3. Науково-технічна бібліотека КПІ ім. Ігоря Сікорського <http://library.kpi.ua>.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

При вивченні дисципліни використовуються евристичний та дослідницький методи навчання та метод проблемного викладення.

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено лекційні та практичні заняття

Лекційні заняття

№ 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.	<u>Тема 1.1. Спектральні радіаційні характеристики вуглекислого газу та водяної пари.</u> Лекція № 1. Світлість газів. Властивості газоподібних продуктів згоряння органічного палива. Спектральна степінь чорноти газів і її залежність від товщини шару, тиску і температури. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Закон випромінювання Планка.
2.	Лекція № 2. Інтегральні радіаційні характеристики CO_2 і H_2O . Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Практичне використання закону випромінювання Планка.
3.	<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> 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 .

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Закон випромінювання Стефана-Больцмана.
4.	<u>Тема 1.3. Радіаційні характеристики дисперсних систем.</u> 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 за допомогою проектора. Завдання на СРС: Закон Ламберта.
Розділ 2. Теплове вимірювання факелу.	
5.	<u>Тема 2.1. Структура факела і первинні радіаційні характеристики його твердої дисперсної фази</u> 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 за допомогою проектора. Завдання на СРС: Закон випромінювання Віна.
6.	<u>Тема 2.2. Степінь чорноти топкової камери і факела при спалюванні твердого палива.</u> 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 за допомогою проектора. Завдання на СРС: Закон зміщення Віна.
7.	<u>Тема 2.3. Теплове випромінювання сажистого полум'я мазуту і газу. Характеристики теплового випромінювання топкової камери для різних палив і їх комбінацій.</u> Лекція 7. Структура факела при згоранні рідкого газоподібного палива. Комплексний показник переломлення для часток сажі. Спектральна поглинальна спроможність монодисперсної системи часток вуглецю. Індикатриса розсіювання. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Закон Кірхгофа.
8.	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 за допомогою проектора. Завдання на СРС: Рівняння переносу енергії випромінювання.
Розділ 3. Сумарний теплообмін в топковій камері.	
9.	<u>Тема 3.1. Основи інженерних методів розрахунку.</u> Лекція 9. Фактори, які впливають на теплообмін в топковій камері. Теплові характеристики топкової камери. Розрахунок теплообміну в однокамерних топках за методом ЦКТІ. Теплофізичні властивості продуктів згорання органічного палива. Вплив оптичних властивостей і теплопровідності на теплообмін в газах. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора.
10.	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. Середні інтегральні коефіцієнти поглинання. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
11.	<u>Тема 3.2. Тепловий опір та радіаційні характеристики шару забруднень на екранних трубах</u> Лекція 11. Механізм утворення натрубних відкладень. Механічні властивості і хімічний склад забруднень. Перенос теплоти в шарі відкладень. Поглинальна спроможність поверхні натрубних забруднень. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Теплообмін через плоску одно- і багатшарову стінку.
12.	<u>Тема 3.3. Передача енергії випромінювання в об'ємі топкової камери з випромінюючими і відбиваючими стінками.</u> Лекція 12. Спектральна інтенсивність падаючого випромінювання. Умови локальної термодинамічної рівноваги. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Теплообмін через циліндричну одно- і багатшарову стінку.
13.	Лекція 13. Основні радіаційні характеристики неізотермічного випромінюючого шару з відбиваючими і випромінюючими стінками. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Підготовка до модульної контрольної роботи.
14.	<u>Тема 3.4. Коефіцієнт теплової ефективності екранів. Ефективна степінь чорноти неізотермічного плоского шару.</u> Лекція 14. Фізичний зміст коефіцієнта теплової ефективності. Залежність коефіцієнта теплової ефективності від фізичних властивостей шару забруднень і продуктів згорання. Характеристика температурного стрибка на кордоні факел-стінка. Ефективна степінь чорноти неізотермічного плоского шару. Вплив розсіювання випромінювання на умови теплообміну в топці. Модульна контрольна робота, частина I Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Теплопередача через багатшарові плоскі і циліндричні стінки. ГУ третього роду.
Розділ 4. Розрахунок основних розмірів топкової камери.	
15.	<u>Тема 4.1. Розрахунок розмірів зони активного горіння в топках з рідким і твердим шлаковидаленням.</u> Лекція 15. Умови, від яких залежить відкладення шлаку на екранних поверхнях. Секціонування топкової камери за умовами процесу згорання твердого палива. Допустиме значення теплового напруження променевої поверхні. Можливості регулювання температури в зоні активного горіння. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора.
16.	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 за допомогою проектора. Завдання на СРС: Інтенсифікація теплообміну в оребренних поверхнях нагріву.
17.	<u>Тема 4.2. Розрахунок вигорання пиловугільного факелу і об'єму топкової камери з урахуванням вимог процесу горіння.</u> Лекція 17. Фактори, які впливають на об'єм топкової камери парових котлів. Масообмін при згорянні частки твердого палива. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора.
18.	Лекція 18. Методика розрахунку часу згорання частки твердого палива. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Фізико-хімічні властивості твердого палива.
19.	<u>Тема 4.3. Температура газів на виході з топкової камери.</u>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Лекція 19. Вимоги для запобігання шлакуванню напіврадіаційних і конвективних поверхонь нагріву. Властивості шару відкладень, умови саморозшлакування. Зниження температури на виході з топкової камери за допомогою рециркуляції газів. Зменшення теплової розвірки. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Властивості золових часток і шлаку в рідкому стані.
20.	<u>Тема 4.4. Розрахунок топкової камери при згорянні газу і мазуту.</u> Лекція 20. Теплове напруження топкової камери газомазутних парових котлів. Особливості підготовки газу до спалювання в камерних топках. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора.
21.	Лекція 21. Розміри факела і його розташування в топковій камері. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Кінетика горіння рідкого палива.
22.	Лекція 22. Степінь вигорання палива в зоні активного горіння. Розміри факела при роботі на газу. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Кінетика горіння газоподібного палива.
23.	<u>Тема 4.5. Позонний розрахунок топкової камери.</u> Лекція 23. Теплогідравлічні процеси в топкових екранах. Умови роботи екранних поверхонь нагріву, кризи кипіння. Методика позонного розрахунку топкової камери. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Завдання на СРС: Умови виникнення криз кипіння I і II роду.
24.	<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 за допомогою проектора. Завдання на СРС: Принципи підготовки твердого палива до спалювання
25.	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 за допомогою проектора. Завдання на СРС: Фізико-хімічні властивості шлаків.
26.	<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 за допомогою проектора. Завдання на СРС: Підготовка до контрольної роботи
27.	Лекція 27. Технологічні методи по зниженню рівню викидів оксидів азоту в камерних топках. Кінетика утворення продуктів згорання органічного палива і їх склад. Модульна контрольна робота, частина II Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора.

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Розділ 1. Теплове випромінювання газоподібних продуктів спалювання Тема 1.2. Степінь чорноти вуглекислого газу і водяної пари. Радіаційні характеристики та інтеграль-	

на поглинальна спроможність CO_2 , H_2O , CO і SO_2	
1.	Визначення радіаційних характеристик складових продуктів згоряння органічного палива.
Розділ 2. Теплове вимірювання факелу	
<i>Тема 2.1.</i> Структура факела і первинні радіаційні характеристики його твердої дисперсної фази.	
<i>Тема 2.2.</i> Степінь чорноти топкової камери і факела при спалюванні твердого палива	
	Визначення складових продуктів згоряння твердого палива і їх значення оптичних констант і товщину шару поглинання. Визначення степінь чорноти факела при згоранні твердого палива.
<i>Тема 2.3.</i> Теплове випромінювання сажистого полум'я мазуту і газу.	
Характеристики теплового випромінювання топкової камери для різних палив і їх комбінацій.	
2.	Визначення оптичних характеристик продуктів згоряння рідкого (мазуту). Визначення оптичні характеристики продуктів згоряння газоподібного (природного газу) палива.
Розділ 3. Сумарний теплообмін в топковій камері	
<i>Тема 3.1.</i> Основи інженерних методів розрахунку	
3.	Інженерні методи розрахунку.
<i>Тема 3.2.</i> Тепловий опір та радіаційні характеристики шару забруднень на екранних трубах	
	Визначення теплового опору та радіаційних характеристик шару забруднень на екранних трубах.
<i>Тема 3.3.</i> Передача енергії випромінювання в об'ємі топкової камери з випромінюючими і відбиваючими стінками	
4.	Визначення спектральної інтенсивності ефективного випромінювання стінки.
<i>Тема 3.4.</i> Коефіцієнт теплової ефективності екранів. Ефективна степінь чорноти неізотермічного плоского шару	
	Визначення коефіцієнту теплової ефективності екранів.
Розділ 4. Розрахунок основних розмірів топкової камери	
<i>Тема 4.1.</i> Розрахунок розмірів зони активного горіння в топках з рідким і твердим шлаковидаленням	
5.	Визначення теплонапруження теплового об'єму і перерізу топкової камери. Визначення площі стін та екранів топкової камери.
6.	Визначення характерної температури продуктів згорання в топковій камері ($T_a, T_\phi; t_a, t_c, v_T''$).
7.	Визначення впливу геометричних характеристик екрану ($d; S/d; x$) на теплообмін в топковій камері. Розрахунок температури продуктів згорання на виході з топкової камери.
<i>Тема 4.2.</i> Розрахунок вигорання пиловугільного факелу і об'єми топкової камери з урахуванням вимог процесу горіння	
8.	Визначення впливу газів рециркуляції на температурне поле TO .
<i>Тема 4.5.</i> Позонний розрахунок топкової камери	
9.	Виконання позонного розрахунку топкової камери.

6. Самостійна робота студента

Для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання завдань на самостійне опрацювання матеріалу. Завдання СРС видаються після кожної лекції (див.п.5), строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- готовність відповідей при опитуванні;
- необхідне виконання таких вимог: 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.

8. 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);
- календарний контроль (проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог PCO);
- відповідь на заліку.

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

- 1) чотири відповіді в середньому кожного студента на лекційних і практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 1 студент; при середній чисельності групи 15 осіб і шістдесят три заняття: $1 \cdot 63 / 15 \approx 4$ відповіді);
- 2) виконання завдань СРС;
- 3) виконання однієї МКР;
- 4) відповідь на заліку при виконанні умов допуску і бажанні студента підвищити оцінку.

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 27 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 13 балів.

За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 48 балів. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 24.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на заняттях (відповіді)

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_1 = 5 \text{ балів} \times 4 = 20 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

5 балів — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **4 бали** — відповідь має несуттєві неточності; **3 бали** — неповна відповідь; **2 бали** — наявність несуттєвих помилок в неповній відповіді, **1 бал** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді, **0 балів** — відсутність відповіді.

2. Виконання завдань СРС

Лекційні заняття

Ваговий бал — 1. Максимальна кількість балів студента за виконання завдань (завдання СРС видаються після лекції, строк задачі завдання — не пізніше ніж через тиждень після видачі завдання): $r_2 = 1 \text{ бал} \times 20 = 20 \text{ балів}$. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

1 бал — в повному об'ємі і вчасно надане завдання; **0 балів** — не вчасно надане завдання.

Практичні заняття

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів студента за вісім завдань (завдання СРС видаються після практичного заняття, строк задачі завдання — не пізніше ніж через тиждень після видачі завдання): $r_3 = 5 \text{ балів} \times 8 = 40 \text{ балів}$. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

5 балів — в повному об'ємі і вірно виконане завдання; **4 бали** — виконане завдання має несуттєві помилки; **3 бали** — з суттєвими недоліками виконане завдання; **1...2 бали** — в не повному об'ємі, з недоліками виконане завдання; **0 балів** — не вірно виконане завдання.

3. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться дві частини МКР по тематиці лекційної частини курсу. Ваговий бал кожної частини — 10. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_4 = 10 \times 2 = 20$ балів.

Критерії оцінювання:

10 балів — повна вірна відповідь на завдання; **8...9 балів** — відповідь має несуттєві помилки; **5...7 балів** — неповна відповідь; **1...4 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді; **0 балів** — відсутність відповіді, МКР не зараховано.

4. Відповіді на заліку

Залік проводиться у письмово-усній формі. Залікове завдання складається з двох теоретичних питань. Перелік теоретичних питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Максимальна кількість балів за виконане завдання залікової роботи **20+20= 40 балів**.

Критерії оцінювання:

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) — **18...20**;
- достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) — **14...17 балів**;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) — **11...13 балів**;
- незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) — менше **10 балів**.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_D):

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

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

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

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_C = 20+20+40+20 = 100$ 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 у продовж семестру студент отримав більше 60 балів, він має право отримати оцінку «автоматом» згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою (див. нижче).

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

Застосовується «жорстка» PCO: залікова складова R_3 шкали дорівнює: $R_3 = 40$ балів, не враховуються бали за відповіді на заняттях і виконання завдань МКР.

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі заліку 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

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

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

Список теоретичних питань до модульної контрольної роботи

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 вигорання 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.

Список теоретичних питань до залікової роботи

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 теплонапруга.
9. Об'єм топкової камери і її теплонапруга.
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. Двоступінчатє спалювання.
44. Заходи з придушення освіти NO_x в камерних топках пиловугільних котлів. Триступенеєє спалювання.
45. Заходи з придушення освіти NO_x в камерних топках газомазутних котлів. Двоступінчатє 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 *д.т.н., професором, Тузом Валерієм Омеляновичем*

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

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