



Процеси горіння в котельних установках

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, осінній</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЄКТС (120 годин): 45 години лекцій, 9 годин практичні заняття, 66 годин самостійна робота</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: к.т.н., доцентка, Лебедь Наталія Леонідівна, nata.lebeddom@gmail.com Практичні заняття: к.т.н., доцентка, Лебедь Наталія Леонідівна, nata.lebeddom@gmail.com
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua , https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1qv11D6vqvivE3j4DN5Y865CAmB49lovW , https://do.ipu.kpi.ua/

Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни *процеси, що протікають у топковій камері ПК при згоранні палива*

Основним пристроєм, де відбувається процес горіння палива в котельному агрегаті є топка. Знання конструкційних особливостей топкових пристроїв, пальників та паливоприготувального обладнання є основою для подальшого проектування котельного агрегату.

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

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

ФК 8. Здатність визначати режими експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання та застосовувати способи раціонального використання сировинних, енергетичних та інших видів ресурсів.

ФК 13. Розуміння принципів технологічних процесів виробництва, які мають негативний вплив на довкілля та здатність запропонувати заходи, щодо зменшення цього впливу.

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

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

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

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

ПРН 13. Використовувати обладнання, матеріали та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміння їх обмежень відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.

ПРН 21. Аналізувати розвиток науки і техніки.

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

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

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

Постреквізити: Парові та водогрійні котли, Виробнича практика, Дипломне проектування.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи теорії горіння.

Тема 1.1. Паливо

Тема 1.2 Хімічна рівновага реакцій горіння

Тема 1.3 Матеріальний та тепловий баланси горіння

Тема 1.4 Кінетика хімічних реакцій горіння

Розділ 2. Спалювання різних типів палива. Пристрої для спалювання палива

Тема 2.1 Основи теорії турбулентних струй

Тема 2.3 Спалювання газоподібного палива

Тема 2.4 Спалювання рідкого палива

Тема 2.5 Спалювання твердого палива

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Основи фізики горіння: навчальний посібник / С. М. Пономаренко. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 85 с. – Бібліогр.: с. 85. <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/38776/1/CombustionBook.pdf>
2. Котельні установки : навчальний посібник / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 185 с
3. В.М. Горбов Енергетичні палива/ В.М. Горбов - К., Вища школа, 2003 – 305с.

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

4. В.В.Померанцев Основы практической теории горения/ В.В.Померанцев - Л.: Энергия, 1973 – 263с.
5. Д.М. Хзмалян Теория горения и топочные устройства/ Д.М. Хзмалян, Я.А. Каган - М.: Энергия, 1976 – 487с.
6. Частухин В.И., Частухин В.В. Топливо и теория горения/ В.И.Частухин, В.В.Частухин - К.: Вищ.шк., 1989 – 233с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

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

Лекційні заняття

Назва теми лекції та перелік основних питань
Вступ Лекція 1. Предмет та задачі курсу. Рекомендована література. Сучасний стан та перспективи розвитку вогнетехнічних об'єктів України. Парогенератори, котлоагрегати,. Основні характеристики, принцип дії. Допоміжне обладнання. Робочий процес ПК. Основні типи ПК. СРС: Енергетика України.
РОЗДІЛ 1. Основи теорії горіння

Назва теми лекції та перелік основних питань

Тема 1.1. Паливо.

Лекція 2. Парогенератори, котлоагрегати,. Основні характеристики, принцип дії. Допоміжне обладнання. Робочий процес ПК. Основні типи ПК. Типи палив, що використовуються в котлоагрегатах.

СРС: Історія котлобудування.

Лекція 3. Класифікація палива. Теплотехнічні характеристики палива.

Лекція супроводжується показом слайдів „Класифікація енергетичних палив”

СРС: Походження органічного палива, технічні характеристики палива.

Лекція 4. Теплота згорання палива. Розрахунок ККД за вищою та нижчою теплотою згорання

СРС: Маркування палива в залежності від країни застосування.

Лекція 5. Методи переробки твердого палива. Гравітаційний та флотаційний методи.

Лекція супроводжується показом слайдів „Принцип переробки твердого палива”

СРС: Схеми вуглезбагачувальних підприємств.

Тема 1.2 Хімічна рівновага реакцій горіння

Лекція 6. Горіння. Класифікація реакцій окислення.

Лекція супроводжується показом слайдів „Класифікація хімічних реакцій горіння” . Хімічна рівновага та закон діючих мас. Залежність хімічних реакцій від температури.

СРС: Фактори, що впливають на рівновагу реакції.

Лекція 7. Протікання та рухливості хімічних реакцій. Принцип Ле-Шательє. Дисоціація водяної пари та вуглекислоти.

СРС: Вплив дисоціації на температуру горіння.

Лекція 8. Відновлювальні реакції та їх вплив на топку котельного агрегату

СРС: Відмінність реакцій та напрямку руху реакції.

Тема 1.3 Матеріальний та тепловий баланси горіння

Лекція 9. Витрата повітря. Продукти горіння палива.

СРС: Тепловий баланс та теплові втрати ПК.

Лекція 10. Продукти горіння палива. Ентальпія продуктів згорання.

СРС: Ентальпія та енергетичні характеристики різних за складом продуктів згорання. Топковий режим, вплив на коефіцієнт надлишку повітря.

Лекція 11. Вплив на баланс теплоти реакцій зовнішніх факторів. Зміна ентальпії при різних режимах спалювання.

СРС: Волога та вміст золи як фактори впливу на протікання реакцій.

Лекція 12. Коефіцієнт надлишку повітря.

СРС: Тепловий баланс та теплові втрати ПК.

Тема 1.4 Кінетика хімічних реакцій горіння

Лекція 13. Швидкість хімічних реакцій. Залежність швидкості хімічних реакцій від температури. Вплив тиску на швидкість хімічних реакцій.

Лекція 14. Залежність швидкості реакції від складу суміші при постійних значеннях тиску та температури. Зміна швидкості реакції у часі.

СРС: Горіння оксиду вуглецю

Лекція 15. Ланцюгові реакції. Ланцюгове займання полум'я.

СРС: Горіння водню

Лекція 16. Питомі швидкості горіння вуглецю та їх залежність від температури.

СРС: Вихід приєднаних газів при початку процесу піролізу

Лекція 17. Кінетика горіння коксозолового залишку.

СРС: Вихід CO

Лекція 18. Межі існування режимів горіння вуглецевої речовини. Кінетичний та дифузійний режими

СРС: Пограничний шар продуктів горіння

РОЗДІЛ 2 Спалювання різних типів палива. Пристрої для спалювання палива.

Тема 2.1 Основи теорії турбулентних струменів

Лекція 19. Вільна турбулентна струя. Розширення турбулентної струї. Зміна швидкості вздовж осі струї

Лекція супроводжується показом слайдів по темі „Основи теорії турбулентних струменів”

СРС: Зміна швидкості вздовж осі струї

Лекція 20. Неізотермічна турбулентний струмінь. Плоскі паралельні струї.

Лекція супроводжується показом слайдів по темі „Основи теорії турбулентних струменів”

Назва теми лекції та перелік основних питань
СРС: Розповсюдження системи струменів у обмежений об'єм.
<u>Тема 2.2 Спалювання газоподібного палива.</u>
Лекція 21. Розповсюдження полум'я у газових сумішах. Швидкість розповсюдження полум'я. Межі розповсюдження полум'я. Лекція супроводжується показом слайдів по темі „Розповсюдження полум'я у газових сумішах” СРС: Межі розповсюдження полум'я.
Лекція 22. Дифузійне ламінарне та турбулентне горіння. Інтенсифікація спалювання газоподібних палив. Лекція супроводжується показом слайдів по темі „Спалювання газоподібного палива” СРС: Схеми пальників для спалювання газів
Лекція 23. Класифікація пальників для спалювання газу. Пальники з попереднім сумішеутворенням. Інжекційні пальники. Пальники з частковим сумішоутворенням Лекція супроводжується показом слайдів по темі „Спалювання газоподібного палива” СРС: Схеми пальників для спалювання газів Підведення підсумків, обговорення рейтингу.

Практичні заняття

Назва теми заняття та перелік основних питань
РОЗДІЛ 1. Основи теорії горіння Тема 1.1. Паливо
Практичне заняття 1. Хімічний склад палива. Визначення складу палива. Перерахунок з одного складу палива на інший. Теплота згорання палива.
Тема 1.3 Матеріальний та тепловий баланси горіння
Практичне заняття 2. Визначення витрати повітря для організації процесу повного згорання палива. Визначення об'єму продуктів горіння палива. Визначення ентальпії продуктів згорання.
РОЗДІЛ 2 Спалювання різних типів палива. Пристрої для спалювання палива Тема 2.1 Спалювання газоподібного палива.
Практичне заняття 3. Вибір пальників для спалювання газоподібного палива.
Практичне заняття 4. <i>Модульна контрольна робота</i>
Залік

6. Самостійна робота студента

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання певних теоретичних завдань СРС (видається після лекцій, представлено у п.5)

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

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

- за бажанням студентів, допускається вивчення матеріалу за допомогою онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

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

Види контролю знань студента з дисципліни:

- відповіді на лекційних та практичних заняттях;
- виконання СРС;
- виконання МКР;
- 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) шість відповідей в середньому кожного студента на лекційних і практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 2 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб, двадцять три лекції і три практичних заняття: $2 \cdot 26 / 10 \approx 6$ відповідей);
- 2) виконання завдань СРС;
- 3) виконання однієї МКР;
- 4) відповідь на заліку при виконанні умов допуску і бажанні студента підвищити оцінку.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на заняттях

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_1 = 5 \text{ балів} \times 6 = 30 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

5 балів — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **4 бали** — відповідь має несуттєві помилки; **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 СРС

Лекційні заняття

Ваговий бал — 1. Максимальна кількість балів студента за десять завдань (завдання СРС видаються після лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_{2л} = 1 \text{ бал} \times 10 = 10 \text{ балів}$. 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.

Штрафні бали:

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

Практичні заняття

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів студента за чотири заняття (завдання СРС видаються після практичного заняття, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_{2п} = 5 \text{ балів} \times 4 = 20 \text{ балів}$. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

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

Штрафні бали:

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

Максимальна кількість балів $r_2 = r_{2л} + r_{2п} = 30 \text{ балів}$.

3. Модульна контрольна робота (МКР)

Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_3 = 40 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

40...36 балів — повна вірна відповідь на завдання; **35...30 бали** — відповідь має несуттєві помилки; **29..25 бали** — неповна відповідь; **24..15 бали** — неповна відповідь з несуттєвими недоліками; **14...0 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

4. Залік

Залік проводиться у письмово-усній формі. Залікова робота складається з чотирьох теоретичних питань. Тобто, максимальна кількість балів за виконану залікову роботу: $10 \cdot 4 = 40 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

Кожне питання залікової роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – **10...9 балів**;
- достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – **9...7 балів**;
- неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – **6...4 балів**;
- незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше **3 балів**.

Штрафні бали:

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

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_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: $R_C = 30+30+40 = 100$ балів.

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

Якщо в продовж семестру студент отримав більше 60 балів, він має право отримати оцінку «автоматом» згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою (див. нижче). Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

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

Залікова складова R_3 шкали складає: $R_3 = 40$.

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі заліку за рейтинговою шкалою з дисципліни (у рейтингових балах не враховуються бали за виконання завдань МКР) 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 залікової роботи

1. Теплотехнічні характеристики палива
2. Хімічна рівновага. Визначення
3. Закон діючих мас
4. Залежність хімічної рівноваги від температури
5. Диссоціація водяної пари. Визначення. Умови
6. Матеріальний баланс процесу горіння. Витрата повітря (визначення)
7. Ланцюгове займання. Визначення
8. Вільний струмень. Визначення.
9. Затоплений струмінь. Визначення
10. Спутний струмінь. Визначення
11. Ізотермічний струмінь. Визначення
12. Розвиток вільного ізотермічного струменя
13. Розвиток вільного неізотермічного струменя
14. Розвиток вільного ізотермічного струменя в поперечному потоці
15. Нормальне розповсюдження полум'я
16. Турбулентне розповсюдження полум'я
17. Швидкість розповсюдження полум'я
18. Кінетичне ламінарне горіння. Принцип
19. Кінетичне ламінарне горіння. Неоліки, переваги
20. Кінетичне турбулентне горіння. Принцип
21. Кінетичне турбулентне горіння. Неоліки, переваги
22. Ламінарне дифузійне горіння. Принцип
23. Ламінарне дифузійне горіння. Неоліки, переваги
24. Турбулентне дифузійне горіння. Принцип
25. Турбулентне дифузійне горіння. Неоліки, переваги
26. Горіння суміші газів з недостатньою кількістю повітря. Принцип
27. Горіння суміші газів з недостатньою кількістю повітря. Неоліки, переваги
28. Інтенсифікація спалювання газоподібних палив.
29. Стадії горіння рідких вуглеводневих палив
30. Горіння краплі рідкого палива у супутному потоці
31. Горіння краплі рідкого палива у турбулентному потоці
32. Умови інтенсивного горіння рідкого палива
33. Спалювання рідкого палива у факелі. Факельне спалювання рідкого палива у прямоточному потоці
34. Спалювання рідкого палива у факелі. Факельне спалювання рідкого палива у вихровому потоці
35. Леткі речовини і кокс твердого палива
36. Інтенсифікація горіння пиловидного палива

37. Корозія поверхонь нагріву
38. Шлакоутворення. Методи видалення
39. Горіння твердого палива. Горіння палива у шарі
40. Горіння твердого палива. Горіння палива у “киплячому” шарі
41. Горіння твердого палива. Горіння пиловидного палива у факелі
42. Горіння твердого палива. Типи твердопаливних котлів

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено *к.т.н., доценткою, Лебедь Наталією Леонідівною*

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

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