



## НАЗВА КУРСУ

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Фізико-хімічні основи процесів горіння

#### 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>Нормативна</i>   |
| Форма навчання                                    | <i>очна(денна)</i>  |
| Рік підготовки, семестр                           | <i>3 курс, осінній семестр</i>  |
| Обсяг дисципліни                                  | <i>4 кредитів, 120 годин</i>  |
| Семестровий контроль/<br>контрольні заходи        | <i>Залік/МКР</i>  |
| Розклад занять                                    |   |
| Мова викладання                                   | <i>Українська</i>   |
| Інформація про<br>керівника курсу /<br>викладачів | Лектор: <i>к.т.н, Косячков Олексій В'ячеславович, AlexKosoy@ukr.net</i><br>Практичні: <i>к.т.н, Косячков Олексій В'ячеславович, AlexKosoy@ukr.net</i>                     |
| Розміщення курсу                                  | Посилання на дистанційний ресурс: <a href="https://www.youtube.com/channel/UCARcVdw66UfGYIzHamuKpzw">https://www.youtube.com/channel/UCARcVdw66UfGYIzHamuKpzw</a> /videos |

#### Програма навчальної дисципліни

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

*При вивченні курсу «Фізико-хімічні основи процесів горіння» студент має:*

*1) обирати і застосовувати типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи, розуміти складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання, правильно інтерпретувати результати таких досліджень; 2) виявляти, формулювати і вирішувати інженерні завдання; розуміти важливість нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) обмежень; 3) розробляти і проектувати складні 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 застосовування адекватної методології проектування; 4) використовувати передові досягнення при проектуванні об'єктів в галузі енергетичного машинобудування; 5) 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; 6) демонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепцій в галузі енергетичного машинобудування, технології виробництва, передачі, розподілу і використання енергії 7) вирішувати практичні завдання, що передбачають реалізацію інженерних проектів і проведення досліджень 8) обирати та застосовувати сучасні матеріали, обладнання та інструменти, інженерні технологій і процеси, а також розуміти їх обмеження при проектуванні теплоенергетичного обладнання 9) ефективно спілкуватися з питань інформації, ідей, проблем та рішень з інженерним*

співтовариством і суспільством загалом 10) ефективно працювати в національному та міжнародному контексті, як особистість і як член команди, і ефективно співпрацювати з інженерами та не інженерами 11) розпізнавати необхідність і самостійно навчатися протягом життя 12) відстежувати розвиток науки і техніки 13) класифікувати теплообмінне обладнання за різними ознаками і відповідно до заданих умов роботи теплообмінного обладнання, вибирати паливо і теплоносії, використовувати стандартні методика для виконання конструкторських і повіркових розрахунків тепло- і парогенеруючих установок і теплоенергетичного обладнання

В наслідок вивчення курсу «Фізико-хімічні основи процесів горіння» студенти набувають наступних результатів у навчанні:

- продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепції розвитку галузі енергетичного машинобудування (ФК 1);
- застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії (ФК 2);
- аналізувати інформацію з літературних джерел, здійснювати патентний пошук, а також використовувати бази даних та інші джерела інформації для здійснення професійної діяльності (ФК 3);
- розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання (ФК 5);
- вибирати основні й допоміжні матеріали та способи реалізації основних теплотехнологічних 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);
- брати участь у роботах з розробки і впровадження теплотехнологічних процесів у ході підготовки виробництва нової продукції, перевіряти якість монтажу й налагодження при випробуваннях і здачі в експлуатацію нових енергетичних об'єктів та систем (ФК7);
- визначати режими експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання та застосовувати способи раціонального використання сировинних, енергетичних та інших видів ресурсів (ФК8);
- 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);
- використовувати стандартні методика планування експериментальних досліджень, здійснювати обробку та узагальнення результатів експерименту (ФК11);
- брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи методи дослідницької діяльності (ФК12);
- застосовувати методи оцінки теплогідравлічної надійності теплоенергетичного устаткування (ФК15).
- продемонструвати знання і розуміння інженерних наук на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях (ЗН2);
- застосовувати знання і розуміння схем, конструкцій і принципів проектування і роботи тепло-і парогенеруючих установок, теплообмінного обладнання, вимог щодо безпечної експлуатації енергетичного обладнання (ЗН5);
- показати знання і розуміння технології виготовлення і експлуатації тепло-і парогенеруючих установок і теплообмінного обладнання (ЗН6);
- використовувати знання комп'ютерних програм для створення дво- і тривимірних моделей енергетичних об'єктів, систем і їх елементів та моделювання процесів у енергетичному обладнанні (ЗН9).

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

Вивчення дисципліни базується на знанні студентами «Парові котли» «Технічна термодинаміка» «Тепломасообмін» Курс є базовим для вивчення студентами освітньої «Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем» програми таких дисциплін, як «Теплообмін в газовому тракті парових котлів» «Водопідготовка та водний режим котельних установок».

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

*Розділ 1. Основи теорії горіння.*

*Тема 1.1. Паливо*

*Класифікація палива. Теплотехнічні характеристики палива. Походження органічного палива, технічні характеристики палива. Хімічний склад, теплотехнічні характеристики (баласт, мінеральні домішки, зола, вологість, вихід летючих, теплота згорання) органічного палива. Теплота згорання палива. Маркіровка палива.*

*Тема 1.2 Хімічна рівновага реакцій горіння*

*Горіння. Класифікація реакцій окислення. Хімічна рівновага та закон діючих мас. Залежність хімічних реакцій від температури. Класифікація реакцій окислення. Протікання та рухливість хімічних реакцій. Принцип Ле-Шательє. Дисоціація водяної пари та вуглекислоти. Вплив дисоціації на температуру горіння.*

*Тема 1.3 Матеріальний та тепловий баланси горіння*

*Витрата повітря. Продукти горіння палива. Продукти горіння палива. Ентальпія продуктів згорання. Основне рівняння горіння.. Рівняння неповного горіння. Коефіцієнт надлишку повітря. Тепловий баланс та теплові втрати ПК.*

*Тема 1.4 Кінетика хімічних реакцій горіння*

*Швидкість хімічних реакцій. Залежність швидкості хімічних реакцій від температури. Вплив тиску на швидкість хімічних реакцій. Залежність швидкості реакції від складу суміші при постійних значеннях тиску та температури. Зміна швидкості реакції з часом. Горіння оксиду вуглецю. Ланцюгові реакції. Ланцюгове займання полум'я. Горіння водню*

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

*Тема 2.1 Основи теорії турбулентних струй*

*Вільна турбулентна струя. Розширення турбулентної струї. Зміна швидкості вздовж осі струї. Зміна швидкості вздовж осі струї. Неізотермічна турбулентна струя. Плоскі паралельні струї. Розповсюдження системи струй у обмежений об'єм.*

*Тема 2.3 Спалювання газоподібного палива*

*Розповсюдження полум'я у газових сумішах. Швидкість розповсюдження полум'я. Межі розповсюдження полум'я. Межі розповсюдження полум'я. Кінетичне ламінарне та турбулентне горіння. Дифузійне ламінарне та турбулентне горіння. Горіння суміші газів при недостатній кількості повітря. Дифузійне ламінарне та турбулентне горіння. Інтенсифікація спалювання газоподібних палив. Класифікація пальників для спалювання газу. Пальники з попереднім сумішоутворенням. Інжекційні пальники. Пальники з частковим сумішоутворенням. Схеми пальників для спалювання газів.*

*Тема 2.4 Спалювання рідкого палива*

*Основні властивості та стадії горіння вуглеводних палив. Горіння краплі рідкого палива. Спалювання рідкого палива у факелі. Розпилювання рідких палив. Факельне спалювання рідкого палива у прямоточному потоці. Факельне спалювання рідкого палива у вихровому потоці. Корозія поверхонь нагріву. Умови інтенсивного спалювання рідкого палива. Класифікація пристроїв для спалювання рідкого палива. Пристрої для спалювання рідкого палива. Мазутні форсунки. Пальникові пристрої для спалювання газів та мазута. Особливості конструкцій газомазутних топків.*

## Тема 2.5 Спалювання твердого палива

Летки речовини та кокс твердого палива. Кінетичне рівняння гетерогенного горіння. Горіння твердого палива. Горіння твердого палива у шарі. Схеми організації горіння твердого палива у шарі. Топка з киплячим шаром. Горіння твердого палива у факелі. Інтенсифікація процесу спалювання твердого палива. Шлакоутворення. Методи запобігання шлакоутворенню. Методи запобігання шлакоутворенню. Пальники для спалювання пилу твердого палива. Вихрові пальники. Прямоточні пальники. Пальники для спалювання рідкого та твердого палива.

## Навчальні матеріали та ресурси

1. В.В.Померанцев *Основы практической теории горения*/ В.В.Померанцев - Л.: Энергия, 1973 – 263с.
2. Д.М. Хзмалян *Теория горения и топочные устройства*/ Д.М. Хзмалян, Я.А. Каган - М.: Энергия, 1976 – 487с.
3. В.М. Горбов *Енергетичні палива*/ В.М. Горбов - К., Вища школа, 2003 – 305с.
4. Частухин В.И., Частухин В.В. *Топливо и теория горения*/ В.И.Частухин, В.В.Частухин - К.: Виц.шк., 1989 – 233с.
5. Кнорре Г.Ф. *Что такое горение?*/ Кнорре Г.Ф. - М.: Энергия, 1959 – 124с.
6. Виленский Т.В., Хзмалян Д.М. *Динамика горения пылевидного топлива*/ Т.В.Виленский, Д.М. Хзмалян - М.: Энергия, 1977 – 248с.
7. Глушенко И.М. *Теоретические основы технологии горючих ископаемых*/ Глушенко И.М. - М.: Металлургия, 1990 – 296с.
8. *Тепловой расчет котлов (Нормативный метод)*. – СПб.: НПО ЦКТИ, 1998 – 250с.
9. *Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив: Справочник*/ Дубовкин Н.Ф. и др. - М.: Химия, 1985 – 240с.

## Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Лекція 1. Предмет та задачі курсу. Рекомендована література. Сучасний стан та перспективи розвитку вогнетехнічних об'єктів в Україні. Парогенератори, котлоагрегати,. Основні характеристики, принцип дії. Допоміжне обладнання. Робочий процес ПК. Основні типи ПК.

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

Лекція 3 Класифікація палива. Теплотехнічні характеристики палива.

Лекція 4. Хімічний склад, теплотехнічні характеристики (баласт, мінеральні домішки, зола, вологість, вихід летючих, теплота згорання) органічного палива.

Лекція 5. Теплота згорання палива. Розрахунок ККД за вищою та нижчою теплотою згорання.

Лекція 6. Методи переробки твердого палива. Гравітаційний та флотаційний методи.

Лекція 7. Горіння. Класифікація реакцій окислення.

Лекція 8. Хімічна рівновага та закон діючих мас. Залежність хімічних реакцій від температури.

Лекція 9. Протікання та рухливість хімічних реакцій. Принцип Ле-Шательє. Дисоціація водяної пари та вуглекислоти.

Лекція 10. Відновлювальні реакції та їх вплив на топку котельного агрегату.

Лекція 11. Радикали. Процеси, що сприяють утворенню радикалів.

Лекція 12. Витрата повітря. Продукти горіння палива.

Лекція 13. Продукти горіння палива. Ентальпія продуктів згорання.

Лекція 14. Основне рівняння горіння. Рівняння неповного горіння.

Лекція 15. Вплив на баланс теплоти реакцій зовнішніх факторів. Зміна ентальпії при різних режимах спалювання.

Лекція 16. Коефіцієнт надлишку повітря.

Лекція 17. Швидкість хімічних реакцій. Залежність швидкості хімічних реакцій від температури. Вплив тиску на швидкість хімічних реакцій.

Лекція 18. Залежність швидкості реакції від складу суміші при постійних значеннях тиску та температури. Зміна швидкості реакції з часом.

Лекція 19. Ланцюгові реакції. Ланцюгове займання полум'я.

Лекція 20. Динаміка горіння твердого палива.

Лекція 21. Питомі швидкості горіння вуглецю та їх залежність від температури.

Лекція 22. Кінетика горіння коксозолового залишку.

Лекція 23. Межі існування режимів горіння вуглецевої речовини. Кінетичний та дифузійний режими.

Лекція 24. Вільна турбулентна струя. Розширення турбулентної струї. Зміна швидкості вздовж осі струї.

Лекція 25. Неізотермічна турбулентна струя. Плоскі паралельні струї.

Лекція 26. Розповсюдження полум'я у газових сумішах. Швидкість розповсюдження полум'я. Межі розповсюдження полум'я.

Лекція 27. Кінетичне ламінарне та турбулентне горіння. Дифузійне ламінарне та турбулентне горіння.

Практичні заняття

Практика 1. Хімічний склад палива. Визначення складу палива. Перерахунок з одного складу палива на інший. Теплота згорання палива.

Практика 2. Визначення витрати повітря для організації процесу повного згорання палива. Визначення об'єму продуктів горіння палива. Визначення ентальпії продуктів згорання.

Практика 3. Модульна контрольна робота, частина I. Визначення і перерахунок складу палива, теплоти згорання, вмісту і об'ємів продуктів згорання.

Практика 4. Модульна контрольна. Частина II. Визначення пальника по заданим характеристикам горіння

Практика 5. Залік.

#### **4. Самостійна робота студента**

Теми до самостійної роботи до лекційних занять:

1. Походження органічного палива, технічні характеристики палива (1 год.).
2. Походження органічного палива, технічні характеристики палива. Маркіровка палива (1 год.).
3. Класифікація реакцій окислення (1 год.).
4. Вплив дисоціації на температуру горіння (1 год.).
5. Тепловий баланс та теплові втрати ПК (1 год.).
6. Горіння оксиду вуглецю (1 год.).
7. Горіння водню (1 год.).
8. Зміна швидкості середі вздовж осі струї (1 год.).
9. Розповсюдження системи струй у обмежений об'єм (1 год.).
10. Межі розповсюдження полум'я (1 год.).
11. Горіння суміші газів при недостатній кількості повітря (1 год.).
12. Горіння суміші газів при недостатній кількості повітря (1 год.).
13. Розпилювання рідких палив (1 год.).
14. Умови інтенсивного спалювання рідкого палива (1 год.).
15. Пальникові пристрої для спалювання газів та мазута (1 год.).
16. Схеми організації горіння твердого палива у шарі (1 год.).
17. Методи запобігання шлакоутворенню (1 год.).

18. Промислове отримання пилу твердого палива даного ступеню помола (1 год.).

На підготовку до екзамену передбачено 18 годин СРС.

## Політика та контроль

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

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

- відвідування занять (лекцій, практичних та лабораторних);
- дотримання правил поведінки на заняттях (активність, уникнення телефонних розмов під час аудиторних занять, зосередженість на матеріалі заняття, відключення телефонів, використання відповідних засобів для оперативного пошуку інформації);
- регулярний перегляд повідомлень та виконання призначених завдань; регулярний перегляд та обробка повідомлень на електронну пошту у корпоративному домені @kpi.ua;
- оперативне реагування на запити та питання викладача;
- самостійне виконання необхідних розрахунків на практичних заняттях, побудова графіків та написання висновків; отримання узгоджених з викладачем правил підготовки, та подальшого виправлення (у разі необхідності) завдань.
- розуміння та дотримання рейтингової системи оцінювання (PCO);
- дотримання політики дедлайнів та перескладань;
- дотримання політики щодо академічної доброчесності;
- інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам університету.

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

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується зі 100 балів, з них 60 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

роботу на практичних заняттях (14 занять);

виконання СРС щодо лекційних занять (6 робіт);

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Робота на практичних заняттях:

активна творча робота – 2 бали;

плідна робота – 1 бал;

відсутність на занятті без поважних причин – штрафний –1 бал.

2.2. Виконання СРС щодо лекційних занять

бездоганна робота – 2 бали;

є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – 1 бал;

відсутність на занятті без поважних причин – штрафний –1 бал.

За кожний тиждень запізнення з поданням СРС на перевірку нараховується штрафний –1 бал (усього не менше –5 балів).

2.3. Виконання МКР:

творча робота –10 балів;

роботу виконано з незначними недоліками –8 балів;

роботу виконано з певними помилками –4...5 балів;

роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – 0 балів.

3. Умовою першої атестації є отримання не менше 8 балів та виконання всіх СРС (на час атестації). Умовою другої атестації – отримання не менше 22 балів, виконання всіх СРС (на час атестації) та зарахування МКР.

4. Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх СРС, МКР та стартовий рейтинг не менше 30 балів.

5. На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить три теоретичних запитання (завдання). Перелік запитань наведений у Рекомендаціях до засвоєння кредитного модуля. Кожне запитання (завдання) оцінюється у 13...14 балів з загальною сумою у 40 балів за такими критеріями:

«відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 13-14 балів;

«добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 8-10 балів;

«задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 7-9 балів;

«незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

6. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

| Бали:<br>практичні заняття + МКР +<br>+ екзаменаційна контрольна робота | Оцінка       |
|---|--------------|
| 100...95  | Відмінно     |
| 94...85   | Дуже добре   |
| 84...75   | Добре        |
| 74...65   | Задовільно   |
| 64...60   | Достатньо    |
| Менше 60  | Незадовільно |
| Не зарахована СРС або<br>стартовий рейтинг менше 30 балів               | Не допущено  |

## 7. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік екзаменаційних питань

1. Паливо.
2. Хімічна рівновага реакцій горіння.
3. Матеріальний та тепловий баланси горіння.
4. Кінетика хімічних реакцій горіння.
5. Основи теорії турбулентних струменів.
6. Спалювання газоподібного палива.
7. Спалювання рідкого палива.
8. Спалювання твердого палива.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено асистентом каф. АЕС і ІТФ, к.т.н., Косячковим Олексієм Вячеславовичем

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 19 від 09.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету I (протокол № \_\_ від \_\_\_\_\_)

<sup>1</sup> Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.