



Горіння палива та обладнання для його спалювання

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія¹</i>
Спеціальність	<i>144 Теплоенергетика</i>
Освітня програма	<i>«Теплові електричні станції та установки»</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна та вечірня)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ECTS. 150 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/практика, м.к.р., д.к.р.</i>
Розклад занять	<i>Згідно rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доц. Бутовський Леонід Сергійович, 096-633-07-21, homet129@gmail.com Практичні : Шелешей Тетяна Вікторівна, 098-902-64-66, sheleshey_tanya@ukr.net
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс ? Zoom</i>

Програма навчальної дисципліни

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

В енергетиці та промисловості України в значній мірі використовуються пальникові пристрої, в яких відбуваються процеси горіння різних видів палива – твердого, рідкого та газового. Розробка та експлуатація сучасних методів та топкових пристроїв не можлива без глибоких знань основ процесів, які відбуваються при горінні палива. Підвищення економічності і надійності роботи топкових пристроїв і обладнання в цілому в значній мірі залежить від раціонального використання палива. Сьогодні йде безперервний процес удосконалення дослідних і дослідно-промислових агрегатів, покращуються їх техніко- економічні і екологічні показники. Останнім часом в якості палив все ширше використовуються так звані альтернативні палива – біогаз, різні види деревинних палив, супутні гази доменного виробництва тощо. Це потребує проведення додаткових робіт з точки зору розробки раціональної організації процесів їх спалювання і конструкцій відповідних пальникових пристроїв.

Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета навчальної дисципліни.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей (компетентностей):

¹ В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:

Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану.

Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК1. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ЗК4. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).

Фахові компетентності спеціальності (ФК)

ФК2. Здатність аналізувати та комплексно інтегрувати сучасні знання з природничих, інженерних, суспільно-економічних та інших наук для розв'язання складних задач і проблем теплоенергетики.

ФК3. Здатність застосовувати релевантні математичні методи для розв'язання складних задач в теплоенергетиці.

ФК4. Здатність управляти робочими процесами та приймати ефективні рішення у сфері теплоенергетики, беручи до уваги соціальні, економічні, комерційні, правові, та екологічні аспекти.

ФК6. Здатність приймати рішення щодо матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетиці з урахуванням їх властивостей та характеристик.

ФК7. Здатність здійснювати інноваційну діяльність в теплоенергетиці.

ФК8. Здатність здійснювати наукові та прикладні дослідження в теплоенергетиці.

ФК9. Здатність здійснювати науково-педагогічну діяльність у закладах вищої освіти.

ФК10. Здатність оцінити місце сонячної енергетики в Україні при виробництві теплоти і електроенергії.

ФК11. Здатність виконувати математичний опис процесів теплообміну в складних системах з урахуванням фізичної сутності процесу та методу моделювання, використовувати в професійній діяльності основні поняття і твердження теорії ймовірності, виконувати математичний опис термодинамічних, теплових і гідродинамічних характеристик систем, в яких відбуваються комплексні процеси тепло- і масопереносу з урахуванням їх внутрішньої структури.

ФК12. Здатність до проведення дослідно-конструкторських робіт в енергетиці.

ФК18. Здатність виконувати розрахунки горіння палива, підбирати пальники та інші пристрої для спалювання.

ФК19. Здатність оцінювати ефективність і загальну економічність використання різних видів ВЕР.

ФК22. Здатність на підставі аналізу числових розрахунків розподілу температур, швидкостей і тиску розробляти оптимальні конструкції та експлуатаційні режими теплообмінного обладнання на ТЕС.

Програмні результати навчання

РН4. Відшуковувати необхідну інформацію з різних джерел, оцінювати, обробляти та аналізувати цю інформацію

РН5. Розробляти і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів теплоенергетики, перевіряти адекватність моделей, порівнювати результати моделювання з іншими даними та оцінювати їх точність і надійність.

РН6. Приймати ефективні рішення, використовуючи сучасні методи та інструменти порівняння альтернатив, оцінювання ризиків та прогнозування.

РН7. Знати, розуміти і застосовувати у практичній діяльності ключові концепції, сучасні знання та кращі практики в теплоенергетичній галузі, технології виробництва, передачі, розподілу і використання енергії

РН8. Обґрунтовувати вибір та застосовування матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів з урахуванням їх характеристик і властивостей, вимог до кінцевого продукту, а також нетехнічних аспектів.

РН9. Вільно спілкуватися державною мовою з професійних питань, обговорювати результати виробничої, наукової та інноваційної діяльності з фахівцями та нефахівцями.

РН10. Розуміти стратегію і цілі підприємства (установи) з урахуванням забезпечення позитивного внеску до розвитку суспільства і держави, створення і впровадження інноваційних технологій, розвитку персоналу.

РН11. Оцінювати і забезпечувати якість об'єктів і процесів теплоенергетики.

РН12. Доносити зрозуміло і недвозначно власні висновки з проблем теплоенергетики, а також знання та пояснення, що їх обґрунтовують, до фахівців і нефахівців.

РН14. Планувати і реалізовувати заходи з підвищення енергоефективності теплоенергетичних об'єктів і систем з урахуванням наявних обмежень, включаючи ті, що пов'язані з проблемами охорони природи, сталого розвитку, здоров'я і безпеки та оцінками ризиків в теплоенергетиці, оцінювати ефективність таких заходів.

РН17. Ефективно співпрацювати з колегами, беручи відповідальність за певний напрям і свій внесок до спільних результатів діяльності, а також власний розвиток і розвиток колективу.

РН18. Виконувати наукові дослідження, аналізувати, обробляти, оцінювати та презентувати результати досліджень, аргументувати висновки.

РН19. Брати участь у викладанні навчальних дисциплін, які стосуються теплоенергетики, у закладах вищої освіти.

РН21. Досконало розуміти енерготехнологію потужного промислового устаткування електростанцій та вміти проводити його техніко-економічний аналіз з ціллю підвищення ефективності його використання.

Основні завдання навчальної дисципліни.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

ЗНАННЯ:

ЗН2. Знання і розуміння інженерних дисциплін, що лежать в основі спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки.

ЗН5. Знання і розуміння технології виготовлення і експлуатації теплоенергетичного обладнання.

ЗН6. Знання і розуміння застосовуваних методик проектування і дослідження.

ЗН7. Знання і розуміння застосовуваних матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів.

ЗН10. Знання і розуміння режимів роботи обладнання, характеристик теплоносіїв, схем їх руху та відповідних матеріалів, що застосовуються при аналізі процесів і проектуванні теплоенергетичних установок і тепло-масообмінних апаратів ТЕС.

ЗН12. Знання і розуміння принципів схем, технологій, конструкцій систем тепlopостачання з установками, які використовують традиційні і нетрадиційні джерела енергії.

ЗН15. Знання і розуміння схемоб'єктів з нетрадиційними системами тепlopостачання

УМІННЯ:

УМ1. Уміння розуміти складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до спеціальності «Теплоенергетика»; обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень.

УМ4. Уміння використовувати певне розуміння передових досягнень при проектуванні об'єктів в теплоенергетичній галузі.

УМ5. 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 спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації

УМ8. Уміння продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепцій в теплоенергетичній галузі, технології виробництва, передачі, розподілу і використання енергії.

УМ10. Уміння застосовувати норми інженерної практики відповідно до спеціалізації спеціальності «Теплоенергетика».

УМ12. Уміння керувати професійною діяльністю, приймати участь у роботі над проектами відповідно до спеціалізації спеціальності «Теплоенергетика», беручи на себе відповідальність за прийняття рішень.

УМ13. Уміння ефективно спілкуватися з питань інформації, ідей, проблем та рішень з інженерним співтовариством і суспільством загалом.

УМ17. Уміння класифікувати теплообмінне обладнання за різними ознаками і відповідно до заданих умов роботи теплообмінного обладнання, вибирати паливо і теплоносії, використовувати стандартні методики для виконання конструкторських і перевірочних розрахунків теплоенергетичного обладнання.

УМ18. Уміння обирати і розраховувати технологічні схеми теплопостачання.

УМ19. Уміння обирати і розраховувати апарати і пристрої для використання бросової теплоти теплотехнологічних та теплоенергетичних установок; використовуючи методики оцінки ефективності і загальної економічності використання різних видів ВЕР.

УМ22. Уміння розробляти математичні моделі для розрахунку енергетичного та матеріального балансів складних технологічних схем, пошуку оптимальних технологічних режимів роботи промислових та інших об'єктів.

УМ25. Уміння обирати і здійснювати заходи для знешкодження промислових викидів, використовуючи найбільш ефективні системи і установки.

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

Вимоги до початку навчання – знання з курсів фізика, гідрогазодинаміка, хімія.

Забезпечується: котельні установки ТЕС, парові та газові турбіни, тепло та масообмінні апарати ТЕС та промисловості.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1.

Енергетичне паливо. Матеріальний баланс процесів горіння

Тема 1.1. Енергетичне паливо та термохімія реакцій горіння

Загальна класифікація та види енергетичних та технологічних палив. Паливний баланс України та перспективи його розвитку. Історія розвитку та стан енергетики України. Походження та фізичні властивості викопних газоподібних, рідких та твердих палив. Природний газ, нафта та її походження, торф, буре, кам'яне вугілля, антрацит. Енергетичні характеристики палив. Склад та теплотехнічні характеристики палив. Поняття про хімічний та елементарний склад палива. Робоча, суха, горюча та органічна маса палива, волога, домішки. Формули взаємного перерахунку складу палив.

Тема 1.2. Матеріальний баланс процесів горіння

Теплота спалювання палива. Розрахункові та експериментальні методи визначення теплоти спалювання. Основні термохімічні рівняння горіння палив. Коефіцієнт надлишку повітря. Тепловий баланс адіабатичного процесу горіння. Жаропродуктивність палива. Калориметрична, теоретична, дійсна температури горіння.

Розділ 2.

Основні положення теорії горіння

Тема 2.1. Хімічна рівновага реакцій горіння

Хімічна рівновага і закон діючих мас. Порядок реакції. Кінетичне рівняння реакцій 1 та 11 порядків. Залежність швидкості хімічної реакції від температури, тиску, складу суміші. Ланцюгові реакції горіння, їхній механізм та кінетика.

Тема 2.2. Процеси запалювання та розповсюдження полум'я

Стаціонарна теорія самозапалювання сумішей. Індукційний період самозапалювання. Примусове запалювання, методи та засоби. Концентраційні межі запалювання та горіння. Розповсюдження полум'я в газових сумішах. Нормальна, масова швидкості розповсюдження полум'я, вплив різних факторів. Дифузія і масообмін. Турбулентність, характеристики турбулентності. Процеси сумішоутворення, ламінарна та турбулентна дифузія.

Тема 2.3. Аеродинаміка струменевої течії в пальникових пристроях

Елементи теорії турбулентних струменів. Ізотермічний турбулентний, вільний струмінь, характеристики течії та сумішоутворення. Закручені турбулентні струмені. Відносний рух часток в потоці. Засоби організації закручування повітряного потоку

Розділ 3.

Теоретичні основи та особливості горіння газоподібних палив

Тема 3.1. Основні положення теорії ламінарного горіння

Спалювання однорідної газової суміші. Ламінарний режим горіння. Особливості кінетичного горіння попередньо-перемішаних газових сумішей. Розповсюдження полум'я в турбулентному потоці. Турбулентне горіння однорідної газової суміші.

Тема 3.2. Кінетичне горіння попередньо перемішаних газових сумішей

Сталість горінні газових сумішей, явища проскоку та відриву полум'я. Технічні засоби запобігання проскоку полум'я в пальникових пристроях. Штучна стабілізація горіння полум'я – теплова, аеродинамічна. Основні теорії стабілізації горіння. Особливості утворення зони зворотніх потоків за погано обтічними тілами та в закручених потоках. Засоби інтенсифікації процесів горіння. Основні методи впливу на інтенсивність сумішоутворення і горіння палив.

Тема 3.3. Дифузійне горіння газів

Сутність дифузійного горіння палив. Основні відмінності дифузійного факелу. Основні фактори впливу на інтенсивність та довжину дифузійного факелу. Основні методи спалювання газоподібного палива та класифікація пальникових пристроїв. Вимоги до пальників. Пальникові пристрої промислових та енергетичних котлів.

Розділ 4.

Спалювання рідкого палива в промисловості та енергетиці

Тема 4.1. Особливості процесу горіння рідкого палива

Запалювання та механізм горіння рідкого палива. Випаровування та горіння рідкого палива на відкритій поверхні. Основні схеми горіння рідкого палива. Розпилювання рідкого палива. Основні положення механічного та аеродинамічного розпилювання. Основні схеми механічних та аеродинамічних форсунок. Енергетичні та промислові пальника для спалювання рідкого палива. Газомазутні топки енергетичних котлів.

Розділ 5. Особливості спалювання твердих палив в промислових та енергетичних установках

Тема 5.1. Теорії горіння часток твердого палива.

Теорія гетерогенного горіння та хімічного реагування вуглецю, швидкість горіння. Теорія горіння приведеної плівки.

Тема 5.2. Особливості горіння пиловугільних палив.

Загальні характеристики процесу горіння пиловугільних палив. Горіння монодисперсного пилу в факелі. Топки енергетичних котлів для спалювання пиловугільного палива. Метод організації горіння та топкові пристрої для спалювання палив в киплячому шарі. Особливості конструкцій топков для спалювання палив в киплячому шарі.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Хзмалян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройств / Под ред. Д.М.Хзмаляна. - М.: Энергия. - 1976. – 488 с.
2. Спейшер В.А. Сжигание газа на электростанциях и в промышленности. - М.: Энергия. - 1967. – 251 с.
3. Основы практической теории горения / Под ред. В.В. Померанцева. - Л.: Энергия - 1973. – 264 с.
4. Лушпа А.И. Основы химической термодинамики и кинетики химических реакций. - М.: Машиностроение - 1981. – 240 с.
5. Раушенбах Б.В., Белый С.А., Беспалов И.В. и др. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей. – М.: Машиностроение. - 1964. – 526 с.

Допоміжна

6. Хзмалян Д.М. Теория топочных процессов. – М.: Энергоатомиздат. - 1990. – 352 с.
7. Кнорре Г.Ф., Арефьев К.М., Блох А.Г. и др. Теория топочных процессов. – М., Л.: Энергия. - 1966. – 491 с.
8. Равич М.Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. Теплотехнические расчеты по упрощенным константам продуктов сгорания. – М.: Наука. - 1966. – 415 с.
9. Шагалова С.Л., Шницер И.Н. Сжигание твердого топлива в топках парогенераторов. – Л.: Энергия. - 1976. – 176 с.
10. Щетинков Е.С. Физика горения газов. – М.: Наука, 1965. – 739 с.
11. Вулис Л.А., Ершин Ш.А., Ярин Л.П. Основы теории газового факела. Л.: Энергия, 1968. – 204 с.
12. Сборник задач по теории горения. Под ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 152 с
13. Теория турбулентных струй / Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А., Крашенинников С.Ю. и др. – М.: Наука, 1984. – 588 с.
14. Иссерлин А.С. Основы сжигания газового топлива. – Л.: Недра. - 1987. – 336 с.
15. Чепель В.М., Щур И.А. Сжигание газов в топках котлов и печей и обслуживание газового хозяйства предприятий. – Л.: Недра. - 1980. – 591 с.
16. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. – М.: Физматлит. - 2003. – 352 с.
17. Кузнецов Н.М., Блинов Е.А. Основы теории топочных процессов. – Л.: СЗПИ. - 1990. – 70 с.

13. Інформаційні ресурси

1. Сайт МПЕ України – www/mpe.gov.ua.
2. Сайт Бібліотека електронних книг – <http://book-gu.ru/2013/03/turbiny-2/>.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	2
Розділ 1. Енергетичне паливо. Матеріальний баланс процесів горіння	
Тема 1.1. Енергетичне паливо та термохімія реакцій горіння	
1	<i>Лекція 1.</i> Загальна класифікація та види енергетичних та технологічних палив. Паливний баланс України та перспективи його розвитку. Історія розвитку та стан енергетики України. Походження та фізичні властивості викопних газоподібних, рідких та твердих палив. Природний газ, нафта та її походження, торф, буре, кам'яне вугілля, антрацит. Енергетичні характеристики палив. Осн. літ-ра: 1 - с.7 - 8; 3 - с. 7 – 9; 1 - с. 8 – 12; Дод. літ-ра: 3 - с.7-17. 3 - с.17-20, 33-36.
2	<i>Лекція 2.</i> Склад та теплотехнічні характеристики палив. Поняття про хімічний та елементарний склад палива. Робоча, суха, горюча та органічна маса палива, волога, домішки. Формули взаємного перерахунку складу палив. Осн. літ-ра: 1 - с. 12 - 21; 3 - с. 10 - 13. Дод. літ-ра: 3 - с.20-25.
Тема 1.2. Матеріальний баланс процесів горіння	
3	<i>Лекція 3.</i> Теплота спалювання палива. Розрахункові та експериментальні методи визначення теплоти спалювання. Основні термохімічні рівняння горіння палив. Коефіцієнт надлишку повітря. Осн. літ-ра: 1 - с. 21 - 26; 3 - с. 13 – 21; 4 – с. 45 – 50; 136 – 149; 6 – с. 45 – 55; . Дод. літ-ра: 3 - с.20-25.
4	<i>Лекція 4.</i> Тепловий баланс адіабатичного процесу горіння. Жаропродуктивність палива. Калориметрична, теоретична, дійсна температури горіння. Осн. літ-ра: 1 - с. 26 - 40; 7 - с. 64 – 69. Дод. літ-ра: 3 - с.20-25.
Розділ 2. Основні положення теорії горіння	
Тема 2.1. Хімічна рівновага реакцій горіння	
5	<i>Лекція 5.</i> Хімічна рівновага і закон діючих мас. Порядок реакції. Кінетичне рівняння реакцій 1 та 11 порядків. Залежність швидкості хімічної реакції від температури, тиску, складу суміші. Осн. літ-ра: 1 - с. 47 - 58; 3 - с. 87 - 101; 4 – с. 111 - 117; 164 - 191; 6 – с. 6 – 7 1 - с. 58 - 67; 2 - с. 8 - 9; 4 – с. 50 - 56; 194 - 199; 7 – с. 132 - 137. Дод. літ-ра: 3 - с.20-25. 3 - с.20-25.
6	<i>Лекція 6.</i> Ланцюгові реакції горіння, їхній механізм та кінетика. Осн. літ-ра: 1 - с. 64 - 72; 2 - с. 9 - 11; 3 – с. 103 - 108; 4 – с. 210 – 222; 6 – с. 21 – 24; 7 – с. 138 – 147. Дод. літ-ра: 3 - с.20-25.
Тема 2.2. Процеси запалювання та розповсюдження полум'я	
7	<i>Лекція 7.</i> Стаціонарна теорія самозапалювання сумішей. Індукційний період самозапалювання. Примусове запалювання, методи та засоби. Концентраційні межі запалювання та горіння. Розповсюдження полум'я в газових сумішах. Нормальна, масова швидкості розповсюдження полум'я, вплив різних факторів. Осн. літ-ра: 1 - с. 72 - 83; 2 - с. 11 - 24; 3 – с. 108 - 109; 5 – с. 175 - 208; 6 – с. 24 - 45; 7 – с. 185 - 199. 1 - с. 122 - 140; 2 - с. 24 - 37; 3 – с. 108 - 120; 123 - 134; 6 – с. 73 - 82; 7 – с. 159 -

	177. Дод. літ-ра: 3 - с.20-25.
8	<i>Лекція 8.</i> Дифузія і масообмін. Турбулентність, характеристики турбулентності. Процеси сумішоутворення, ламінарна та турбулентна дифузія. Явища турбулентного переносу в потоці. Основні рівняння дифузії. Осн. літ-ра: 1 - с. 83 - 98; 2 - с. 37 - 46; 3 – с. 63 - 87; 134 - 139; 5 – с. 210 – 227. 1 - с. 91 – 98; 3 – С. 78 – 87. Дод. літ-ра: 3 - с.20-25.
	Розділ 3. Теоретичні основи та особливості горіння газоподібних палив
	Тема 3.1. Основні положення теорії ламінарного горіння
9	<i>Лекція 9.</i> Спалювання однорідної газової суміші. Ламінарний режим горіння Осн. літ-ра: 1 - с. 147 - 154; 2 - с. 47 - 51; 5 – с. 255 - 290; 6 – с. 83 - 97. Дод. літ-ра: 3 - с.20-25.
10	<i>Лекція 10.</i> . Розповсюдження полум'я в турбулентному потоці. Турбулентне горіння однорідної газової суміші. Осн. літ-ра: 1 - с. 147 - 158 ; 3 – С. 134 – 139; 2 –С. 37 – 51.
	Тема 3.2. Кінетичне горіння попередньо перемішаних газових сумішей
11	<i>Лекція 11.</i> Сталість горінні газових сумішей, явища проскоку та відриву полум'я. Осн. літ-ра: 1 - с. 163 - 165; 2 – С. 64 – 68.
12	<i>Лекція 18.</i> Штучна стабілізація горіння полум'я – тепла, аеродинамічна. Основні теорії стабілізації горіння. Засоби інтенсифікації процесів горіння Осн. літ-ра: 1 - с. 165 - 168; 2 – С. 64 – 68; 3 – С. 391 – 397. 1 - с. 168 - 172; 2 - с. 106 - 11; 7 – с. 183 - 185.
	Тема 3.3. Дифузійне горіння газів
13	<i>Лекція 13.</i> Сутність дифузійного горіння палив. Основні відмінності дифузійного факелу. Осн. літ-ра: 1 - с. 155 - 158; 2 – С. 69 – 96.
14	<i>Лекція 14.</i> Основні методи спалювання газоподібного палива та класифікація пальникових пристроїв. Вимоги до пальників. Осн. літ-ра: 1 - с. 168 – 176; 2 – С.106 – 182.
	Розділ 4. Спалювання рідкого палива в промисловості та енергетиці
	Тема 4.1. Особливості процесу горіння рідкого палива
15	<i>Лекція 15.</i> Запалювання та механізм горіння рідкого палива. Розпилювання рідкого палива. Основні положення механічного та аеродинамічного розпилювання. 1 - с. 176 - 206; 3 - с. 246 - 254; 5 – с. 53 - 66; 6 – с. 109 – 130; 7 – с. 218 - 248. 1 - с. 187 – 189. Дод. літ-ра: 3 - с.20-25.
16	<i>Лекція 16.</i> Енергетичні та промислові пальника для спалювання рідкого палива. Осн. літ-ра: 1 - с. 202 – 219; 6 – С. 119 – 130. Дод. літ-ра: 3 - с.20-25.
	Розділ 5. Особливості спалювання твердих палив в промислових та енергетичних установках
	Тема 5.1. Теорії горіння часток твердого палива.
17	<i>Лекція 17.</i> Теорія гетерогенного горіння та хімічного реагування вуглецю, швидкість горіння. Осн. літ-ра: 1 - с. 328 – 347; 3 – С. 139 – 174; 6 – С. 131 – 173.
	Тема 5.2. Особливості горіння пиловугільних палив.
18	<i>Лекція 18.</i> Загальні характеристики процесу горіння пиловугільних палив. Горіння монодисперсного пилу в факелі. Метод організації горіння та топкові пристрої для спалювання палив в киплячому шарі. Осн. літ-ра: 1 - С. 347 – 353; 360 – 368; 3 – С. 200 – 221; 6 – С. 172 – 179. 6 – С. 191 – 194.

Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять: Засвоїти на практиці теоретичні знання, вміти розраховувати процеси горіння палива та основні характеристики пальникових пристроїв

№ з/п	Назва теми заняття
	Розділ 2. Основні положення теорії горіння
	Тема 2.2. Процеси запалювання та розповсюдження полум'я
1	(5.4) Визначити основні характеристики запалювання в проточній камері циліндричної форми діаметром $\delta = 1 \cdot 10^{-2}$ м при наявності тепловідведення в оточуюче середовище тільки через стінки камери, якщо коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки $\alpha = 30$ Вт/ (м ² •К). Газова суміш має такі характеристики: енергія активації $E = 125,6$ МДж/кмоль; $k_0 = 5 \cdot 10^7$ с ⁻¹ ; густина суміші $\rho_0 = 0,75$ кг/м ³ ; питома теплоємність суміші $c_p = 1,9$ кДж/ (кг•К). Температура стінок і суміші $T_0 = 750$ К; адиабатна температура горіння $T_a = 2500$ К.
	Розділ 3 Теоретичні основи та особливості горіння газоподібного палива
2	(6.1) Визначити нормальну швидкість розповсюдження полум'я, якщо в експерименті на циліндричному пальнику радіусом $k = 10$ мм отримано конусне полум'я з висотою конуса $h = 20$ мм. В пальник подавався водень з витратою $V_{H_2} = 3 \cdot 10^{-4}$ м ³ /с, який перед пальником зміщувався з повітрям. Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,1$.
3	(6.3) Визначити діаметр дірочок сітки, яка не пропускає полум'я, для суміші, кінетичні константи якої складають: $E = 129800$ Дж/моль; $k_0 = 2,14 \cdot 10^{14}$ 1/с. Теоретична температура горіння $T_a = 2183$ К; температура сітки 300 К; а коефіцієнт тепловіддачі $\alpha = 11,0$ Вт / (м ² •К); $c_p = 1,04$ кДж/(кг•К); $\rho_0 = 1,17$ кг/м ³ .
	Розділ 4. Спалювання рідкого палива в промисловості та енергетиці
4	(11.1) Визначити радіус зони горіння та поправочний множник χ при дифузійному горінні краплі рідкого палива
5	(11.2) Визначити температуру поверхні краплі рідкого палива, яке горить.
6	(8.1) Визначити час прогріву сухої частки кам'яного вугілля діаметром $\delta = 10^{-4}$ м в потоці димових газів з температурою $T_r = 1600$ К, якщо початкова температура частки $T_{c0} = 400$ К. Густина частки $\rho_c = 1500$ кг/м ³ .
7	(8.2) Розрахувати зміну температури сухої частки бурого вугілля, яка попала в потік димових газів з температурою $T_r = 1600$ К. Розмір частки $\delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м, початкова температура $T_{c0} = 400$ К, густина частки $\rho_c = 1200$ кг/м ³ .
8	(8.3) Визначити температуру часток бурого вугілля, які внесені в потік димових газів з температурою $T_r = 1600$ К, при таких умовах: початкова температура часток $T_{c0} = 400$ К; час прогріву $\tau_{Q/Q_{max}} = 0,02$ с; розмір часток (δ) $0,5 \cdot 10^{-4}$ м; 10^{-4} м; $5 \cdot 10^{-4}$ м; 10^{-3} м. $\rho_c = 1200$ кг/м ³ .
9	(8.4) Розрахувати зміну температури деревинної частки в часі з інтервалом $0,4$ с при таких умовах: суха частка з $\delta = 0,85 \cdot 10^{-3}$ м при $T_{c0} = 373$ К попадає в середовище з температурою 1353 К; час прогріву $2,4$ с; $\rho_c = 280$ кг/м ³ .
10	(8.5) Суха тирса нагрівається в сушарні гарячими інертними газами до температури 543 К. Визначити вихід летючих із тирси по однокомпонентній схемі.
11	(8.6) Суха тирса нагрівається в сушарні гарячими інертними газами до температури 543 К. Визначити вихід летючих із тирси по однокомпонентній схемі.
12	(9.1) Розрахувати механічний недопал при спалюванні антрациту марки А Донецького басейну в топці з рідким шлаковидаленням при тепловій напрузі топкового об'єму $B \cdot Q_n^p / V_\tau = 139,6$ кВт/м ³ ; характеристики помелу $R_{200} = 0,7\%$; $R_{90} = 7\%$; коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,25$; теоретична температура горіння $T_a = 2250$ К; температура на виході з топки $T'' = 1400$ К; $Q_n^p = 22,6$ МДж/кг; $W^p = 8,5\%$; $A^p = 22,9\%$; $V^r = 3,5\%$; $V^0 = 6,04$ м ³ /кг; $V_r^0 = 6,32$ м ³ /кг. Середній склад топкових газів (в молярних долях): $x_{O_2} = 0,1$; $x_{CO_2} = 0,11$; $x_{N_2} = 0,79$.

13	(9.2) Оцінити зміну часу вигорання пилу антрациту Донецького басейну до кінцевого недопалу $q_4 = 3\%$ при зміні тонини помелу. Показник 10олі фракційного 10 , а також всі остальні умови аналогічні умовам приклада 9.1. Оцінити також час вигорання пилу і розмір δ_{01} , при якому горіння 10олі фракційного факелу буде відбуватись в проміжній області, тобто при $Nu_D \cdot D / (k_1 \cdot \delta_{01}) = 1$. Зміну Nu_D при зміні δ_{01} не враховувати.
14	(9.3) Як зміниться час вигорання і теплова напруга топкового об'єму при спалюванні пилу антрациту, якщо кінцевий механічний недопал збільшити до 4% ? Інші умови див. приклад 9.1.
15	(10.1) Визначити область і схему вигорання часток вуглецю в шарі, якщо температурний рівень процесу складає в середньому 2000 K , а середній розмір часток палива $\delta = 0,05\text{ м}$. Форсування процесу горіння характеризується швидкістю фільтрації повітря $2,5\text{ м/с}$. Паливо – антрацит.
16	(10.2) Оцінити концентрацію O_2 і CO_2 на висоті $h = 0,5 h_{\text{сл}}$ при горінні вуглецю коксу в умовах прямооточного шару. Повна висота шару $h_{\text{сл}} = 200\text{ мм}$; початкова порозність шару прийняти $m_0 = 0,5$, а початковий розмір найбільшої частки $\delta_{01} = 0,05\text{ м}$; $n \cdot \delta_{01} = 1$. Дисоціацію продуктів згоряння не враховувати.
17	(7.1) Визначити область горіння часток антрациту при температурі 1400 K , якщо відомо, що розміри часток $\delta = 5 \cdot 10^{-5}\text{ м}$; 10^{-4} м ; 10^{-3} м .
18	(7.3) Оцінити приблизно час вигорання частинки антрацитового коксу при температурі 1400 K . Відомо, що горіння відбувається в топковому середовищі і середній парціальний тиск газових компонентів $p_{1\Delta} = p_{2\Delta} = 10\text{ кПа}$. Початковий розмір частинки $\delta_0 = 10^{-4}\text{ м}$.

Індивідуальні завдання²

Організація виконання індивідуальних завдань організується опросом на місцях з курсу за такими темами:

- принципи класифікації енергетичних та технологічних палив;
- розрахунки матеріального балансу процесу горіння газоподібного палива;
- розрахунки матеріального балансу процесу горіння твердого палива;
- визначення теплоти згоряння палив;
- процеси сумішоутворення при ламінарному та дифузійному режимах;
- основи дифузійного та кінетичного факелів;
- засоби інтенсифікації спалювання газоподібного та твердого палив.

Контрольні роботи³

Основними цілями контрольних робіт є перевірка знань студентів з викладеного курсу «Експлуатація енергетичного обладнання виявлення недоліків у засвоєнні студентами основного та допоміжного матеріалу.

Основне місце контрольних робіт: Проведення на робочих місцях.

Методика проведення контрольних робіт: Задаються варіанти запитань.

За курсом проводиться одна розрахункова робота. На розрахункову роботу виділяється 4 учбових години. Розрахункова робота «Енергетичне паливо. Матеріальний баланс процесів горіння», «Основні положення теорії горіння». Мета розрахункової роботи полягає в перевірці засвоєння матеріалу енергетичних характеристик палива та розрахунку їх характеристик.

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	ль го СІ
1.	Ознайомитись з сучасним станом басейнів корисних копалин України [1, с. 7-	4

³ За наявності

	11]	
2.	Ознайомитись з основними методами класифікації твердих палив [1, с. 15-21]	4
3.	Ознайомитись з впливом складу палива на основні енергетичні характеристики палив [1, с. 21-26]	4
4.	Ознайомитись з розрахунковими методами визначення теплотехнічних характеристик палив [8, с. 80-100]	4
5.	Ознайомитись з визначенням температури горіння палив [8, с. 11-18]	5
6.	Ознайомитись з рівнянням горіння основних складових викопних палив [3, с. 10-18]	4
7.	Ознайомитись з впливом інертних домішок на швидкість протікання хімічних реакцій [2, с. 20-37, 1, с. 63-67]	4
8.	Ознайомитись з закономірностями протікання ланцюгових реакцій горіння водню, оксиду вуглецю, метану [3, с. 103-110, 1, с. 67-72]	5
9.	Ознайомитись з технічними засобами організації примусового запалювання газових сумішей [5, с. 175-200]	4
10.	Ознайомитись з методами визначення нормальної швидкості розповсюдження полум'я [2, с. 24-37]	4
11.	Ознайомитись з основними теоріями турбулентної дифузії та масообміну в газах [3, с. 63-83, 5, с. 210-230]	5
12.	Основні положення перенесення тепла і домішок в турбулентному потоці [1, с. 95-98]	5
13.	Ознайомитись з розвитком газового струменя в затопленому просторі та в супутному потоці [3, с. 21-32]	4
14.	Засоби організації закручування повітряного потоку [3, с. 40-46]	5
15.	Ознайомитись з особливостями кінетичного горіння попередньо-перемішаних газових сумішей [2, с. 37-51]	5
16.	Особливості турбулентного горіння дифузійного факелу [2, с. 53-55]	4
17.	Технічні засоби запобігання проскоку полум'я в паликових пристроях [1, с. 165-168]	4
18	Особливості утворення зони зворотніх токів за погано обтічними тілами та в закручених потоках [2, с. 64-68, 3, с. 371-402]	4

Політика і контроль

7. Політика навчальної дисципліни

Вимоги викладача до студентів:

- Відвідувати лекційні і практичні заняття;
- Виконувати завдання, поставлені на практичних роботах, і вчасно їх здавати;
- Максимальна кількість балів при невчасному складанні модульних контрольних зменшується вдвічі;
- Максимальна кількість балів при невчасній здачі результатів розрахунків за практичними роботами зменшується вдвічі.
-

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

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

- 1) модульну контрольну роботу;
- 2) виконання та захист 8 завдань на практичних заняттях;
- 3) екзаменаційне завдання.

Система рейтингових балів

Система оцінки успішності за видами занять і завдань з кредитного модуля згідно з робочою навчальною програмою:

	кількість	бали	сума балів
Практичні заняття	8	відповіді на занятті 10	80
МКР	1	20	20
Сума вагових балів контрольних заходів			100

Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.

1. МКР: Модульна контрольна робота. (20 балів)

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 18-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 14-17 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 7-13 балів;

2. Практичне заняття (з розрахунку 4х питань всього 10 балів):

- «відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 9-10 балів;
- «добре», глибоке розкриття питань – 7-8 балів;
- «задовільно», не достатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 6 балів.

Заохочувальні і штрафні бали:

	бали
1. Несвоєчасне виконання завдання СРС	-1...-5
2. Ведення конспекту лекцій	1...5
Сума заохочувальних і штрафних балів R_S	10

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 12 балів. За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 31 бал. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 15.

Максимальна сума балів стартової складової складає 60. Необхідною умовою допуску до заліку є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист практичних занять та стартовий рейтинг не менше 30 балів. Якщо студенти набрали протягом семестру кількість балів більше 60 балів, вони мають можливість отримати іспит „автомат” відповідно до набраного рейтингу. Якщо студенти набрали протягом семестру кількість балів менш ніж 60 балів, студенти виконують екзаменаційну контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних питання (10 балів) і одну задачу. (20 балів).

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 18-20 (9-10) балів;
- достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 14-17 (7-8) балів;
- неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 13 (6) балів;
- незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше 12 (5) балів.

Сума стартових балів і балів за залікову роботу переводиться до оцінки згідно з таблицею

$R_D = R_C + R_E$	Оцінка ECTS	Традиційна оцінка
$95 \leq R_D \leq 100$	A - відмінно	відмінно
$85 \leq R_D \leq 94$	B – дуже добре	добре
$75 \leq R_D \leq 84$	C - добре	

$65 \leq R_D \leq 74$	D - задовільно	задовільно
$60 \leq R_D \leq 64$	E - достатньо	
$R_D \leq 59$	F _x - незадовільно	незадовільно
Не зараховано завдання на СРС, або є не зараховані лабораторні роботи, або $R_C \leq 30$	F – незадовільно (потрібна додаткова робота)	не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Можливе зарахування сертифікатів за окремими темами при виступі на науково-технічній конференції кафедри чи факультету, написання реферату або участь у науковій роботі кафедри.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н., доц. Бутовським Л.С.

Ухвалено кафедрою ТЕУТ та АЕС (протокол № 19 від 18.06.2021)

Погоджено Методичною радою факультету (протокол № 11__ від 24.06.2021 р.)