



ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА УСТАНОВКИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>144 Теплоенергетика</i>
Освітня програма	<i>ОНП Теплоенергетика та теплоенергетичні установки електростанцій</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредити, 150 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	<i>Лекційні заняття – один раз на тиждень; практичні заняття – один раз на два тижні</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектори: укр.мова - <i>к.т.н, доц. Пritула Наталя Олександрівна, npritula@ukr.net</i> Практичні: <i>к.т.н, доц. Пritула Наталя Олександрівна, npritula@ukr.net</i>
Розміщення курсу	<i>https://campus.kpi.ua/</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Предметом освітнього компонента «Високотемпературні теплотехнологічні процеси та установки» є сукупність властивостей узагальненого об'єкта навчання (високотемпературні теплотехнологічні процеси та установки). Створення теплотехнічних умов для здійснення високотемпературних процесів різних галузях виробництва: вибір палива, метод його спалювання, забезпечення високої ефективності нагрівання матеріалу, що обробляється, найбільш повне і економічне використання вторинних енергетичних ресурсів та продовження робочого циклу установок.

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

- ЗК 1 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності*
- ЗК 2 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.*
- ЗК 3 Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.*
- ФК 1 Здатність розробляти, застосовувати та удосконалювати математичні та комп'ютерні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язання складних інженерних задач в теплоенергетиці.*
- ФК 4 Здатність управляти робочими процесами та приймати ефективні*

- рішення у сфері теплоенергетики, беручи до уваги соціальні, економічні, комерційні, правові, та екологічні аспекти.*
- ФК 6** *Здатність приймати рішення щодо матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетиці з урахуванням їх властивостей та характеристик. Здатність приймати рішення щодо матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетиці з урахуванням їх властивостей та характеристик.*

*Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни «Високотемпературні теплотехнологічні процеси та установки» мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:*

- ПРН 1** *Аналізувати, застосовувати та створювати складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до обраного напрямку теплоенергетики.*
- ПРН 2** *Аналізувати і обирати ефективні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи розв'язання складних задач теплоенергетики. Розробляти і реалізовувати проекти у сфері теплоенергетики з урахуванням цілей, прогнозів, обмежень та ризиків і беручи до уваги*
- ПРН 3** *технологічні, законодавчі, соціальні, економічні, екологічні та інші аспекти.*
- ПРН 4** *Відшукувати необхідну інформацію з різних джерел, оцінювати, обробляти та аналізувати цю інформацію.*
- ПРН 5** *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.*

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

Для вивчення кредитного модуля «Високотемпературні теплотехнологічні процеси та установки» необхідні знання в області технічної термодинаміки (2/II), тепломасообміну (3/II), теплотехнологічні процеси та установки (2.1.1), паливо та обладнання для його спалювання (8/ с), використання вторинних енергоресурсів (7/ с). В свою чергу, знання в області високотемпературних теплотехнологічних процесів та установок використовуються далі при вивченні дисципліни «Математичне моделювання та оптимізація теплоенергетичних процесів і систем» (4/с) та при виконанні курсового проекту.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ

Розділ 1. Загальні відомості про високотемпературні установки.

Тема 1.1. Призначення ВТУ. Загальна схема ВТУ та призначення її окремих елементів.

Тема 1.2. Класифікація промислових печей.

Розділ 2. Особливості спалювання палива в ВТУ.

Тема 2.1. Загальні відомості. Гомогенне, ламінарне та турбулентне горіння палива.

Тема 2.2. Особливості спалення газоподібного, рідкого та твердого палива в ВТУ.

Пилевугільне спалення палива.

Тема 2.3. Вибір пальників, їх кількість та місце розташування в ВТУ.

Розділ 3. Теплообмін в ВТУ.

Тема 3.1. Організація теплопередачі в ВТУ. Зовнішній та внутрішній теплообмін.

Тема 3.2. Види теплообміну у робочому просторі ВТУ.

Розділ 4. Рух газів та матеріалів в ВТУ.

Тема 4.1. Види руху газів в ВТУ. Аеродинаміка вільного зануреного струменю.

Тема 4.2. Вибір обладнання для подавання повітря та відводу продуктів згорання в ВТУ.

Види руху матеріалів в ВТУ.

Розділ 5. Теплові та матеріальні баланси промислових печей та визначення витрат палива.

Тема 5.1. Теплові баланси ВТУ та визначення витрат палива.

Тема 5.2. Матеріальні баланси ВТУ. Питомі витрати палива та засоби їх зменшення.

Розділ 6. Регенерація теплоти відхідних газів від ВТУ.

Автономний високотемпературний підігрів повітря.

Тема 6.1. Способи підігріву компонентів горіння палива та їх ефективність.

Тема 6.2. Особливості розрахунків регенераторів та рекуператорів в ВТУ.

Тема 6.3. Особливості конструкцій та пристроїв для утилізації теплоти продуктів згорання палива.

Розділ 7. Принципові схеми промислових печей, їх конструктивні та теплові властивості.

Розділ 8. Використання ЕОМ в розрахунках промислових печей на базі персональних комп'ютерів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Щукин А.А. *Промышленные печи и газовое хозяйство заводов.* – М.: Энергия, 1973.- 224с.
2. Ткаченко О. О. *Високотемпературні процеси та установки: Підруч.* — К.: А.С.К., 2005. — 480 с.
3. Вагин А.А. *Топливо, огнеупоры и металлургические печи.*- М.: Металлургия, 1978.- 432с.
4. Кривандин В.А., Филимонов Ю.П. *Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. Том 1.- М.; Металлургия, 1978.- 360с.*
5. Мاستрюков Б.С. *Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. Том 2.- М.; Металлургия, 1978.- 212с.*

Допоміжна література

6. Кривандин В.А., Марков Б.Л. *Металлургические печи.*- М.: Металлургия, 1977.- 464с.
7. *Методические указания и контрольные задания (с программой), по курсу «Топливо, основы теории горения и огнетехнические установки». Раздел «Программа методические указания, примеры решения задач, литература».* - Киев.: КПИ, 1987. — 56с./
8. *Методические указания и контрольные задачи (с программой), по курсу «Топливо, основы теории горения и огнетехнические установки». Раздел «Контрольные задания и методические указания к их выполнению*
- Киев:КПИ, 1988.- 64с.
9. *Методические указания и контрольные задания по курсу «Топливо, основы теории горения и огнетехнические устройства». Раздел «Курсовая работа с примером проектирования нагревательной печи» для студентов специальности 10.07.-Киев.: КПИ, 1990.- 68с.*
10. *Методические указания к лабораторным работам по курсу « Огнетехнические установки и топливоснабжение».-Киев:КПИ, 1987.-54с.*

Рекомендації

Сайт наукової бібліотеки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» <http://library.kpi.ua> в розділі «Електронні ресурси», підрозділі «Загальний електронний каталог НТБ» дозволяє знайти та замовити рекомендовану літературу до навчальної дисципліни та отримати доступ до електронних ресурсів бібліотеки та роботи з ними

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	Лекція 1. Вступ. Значення, зміст дисципліни та основні шляхи підвищення ефективності використання ВТУ. Призначення ВТУ. Загальна схема ВТУ та призначення її окремих елементів. Класифікація ВТУ. Література: [1, с. 4-11]
2	Лекція 2. Загальні відомості. Гомогенне, ламінарне та турбулентне горіння палива в ВТУ. Особливості спалювання газоподібного, рідкого (мазуту) та твердого палива (кускового та пилоподібного) в ВТУ. Класифікація пальників та область їх використання (повтор). Вибір пальників, їх кількості та місця розташування в ВТУ їх призначення з точки зору теплообміну та руху продуктів згорання. Радіаційні труби. Література: [1, с. 48, 50-67, 4,с.78-97;5,с.290-295], конспект.
3	Лекція 3. Організація теплопередачі в ВТУ. Зовнішній та внутрішній теплообмін та його особливості. Література: [1, с.93-96], конспект.
4	Лекція 4. Теплопередача в печах з великим об'ємом робочого простору. Рівномірно розподілений зовнішній теплообмін в робочому просторі печі. Література: [1,с.97-104], конспект.
5	Лекція 5. Критеріальний розрахунок зовнішнього теплообміну у робочих камерах ВТУ. Направлений непрямий радіаційний теплообмін. Література: [1, с.104-108], конспект.
6	Лекція 6. Зовнішній теплообмін в щільному (фільтруючому), падаючому та киплячому шарі матеріалу. Внутрішній теплообмін. Розрахунок нагріву виробів в печі з постійною температурою.(ТП=const). Література: [1, с.108-111], конспект.
7	Лекція 7. Розрахунок нагріву матеріалу в печі зі змінною температурою. Література: [1, с.117-119], конспект.
8	Лекція 8. Рециркуляція продуктів згорання як засіб регулювання температури та підвищення теплової ефективності печей. Література: [1, с. 119-121], конспект.
9	Лекція 9. Види руху газів у робочому просторі ВТУ. Аеродинаміка вільного зануреного струменю. Вибір обладнання для подавання повітря та відводу продуктів згорання в ВТУ. Вибір повітрянагнітачів. Аеродинамічні розрахунки газового тракту ВТУ та вибір димососу.
10	Лекція 10. Складання теплового балансу ВТУ та визначення витрати палива. Приклад

	теплого балансу (розподілу теплоти). Література: [1, с. 122-131; 4, с. 146- 150; 2 с.259-264, 1, с.135-136], конспект
11	Лекція 11. Матеріальні баланси ВТУ. Питома витрата палива та засоби її зменшення. Література: [1, с.156-160], конспект.
12	Лекція 12. Регенерація теплоти відхідних газів від ВТУ. Способи підігріву компонентів горіння палива та їх ефективність (повітря та газоподібного палива). Економія палива від використання підігрітого повітря. Автономний високотемпературний підігрів повітря та його ефективність. Література: [1, с. 119-121], конспект.
13	Лекція 13. Регенератори та рекуператори для підігріву повітря та газу. Особливості розрахунку регенераторів та рекуператорів. Конструкції рекуперативних та регенеративних підігрівачів для утилізації теплоти продуктів згорання палива. Підігрівачі для часткового тепловикористання. Котли-утилізатори та їх особливості при роботі з високотемпературними газами. Література: [1,с.148-155; 4,с.106-135; 3,с.207-209], конспект.
14	Лекція 14. Принципові схеми промислових печей, їх конструктивні та теплові властивості. Тунельні та шахтні печі. Література: [1, с. 14-16], конспект.
15	Лекція 15. Принципові схеми промислових печей, їх конструктивні та теплові властивості. Обертові печі. Література: [1, с. 119-121], конспект.
16	Лекція 16. Принципові схеми промислових печей, їх конструктивні та теплові властивості. Печі для підігріву металу перед прокаткою та ковкою. Методичні підігрівальні печі. Література: [1,с.17-18], конспект.
17	Лекція 17. Принципові схеми промислових печей, їх конструктивні та теплові властивості. Камерні нагрівальні та плавильні печі. Мартеновські печі. Література: [1, с.19-20; 3, с.239-252;2, с.301- 312], конспект.
18	Лекція 18. Кафедральні програми для розрахунків високотемпературних процесів та елементів промислових печей. Особливості програм та підготовка вхідних даних. Література: [1, с. 119-121], конспект.

Практичні заняття

Основним завданням циклу проведення практичних занять є закріплення студентами лекційної частини дисципліни.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Заняття 1. Розрахунки горіння газоподібного, рідкого та твердого палива в ВТУ. Вибір пальників. Література: [1, с. 57-67, 4, с.78-97; 5, с.290-295].
2	Заняття 2. Теплопередача в печах з великим об'ємом робочого простору (зовнішній теплообмін). Література: [1,с.97-98].
3	Заняття 3. Критеріальний розрахунок зовнішнього теплообміну у робочих камерах ВТУ. Література: [1,с.104-108].

4	Заняття 4. Зовнішній теплообмін в щільному (фільтруючому), падаючому та киплячому шарі матеріалу. Література: [1,с.108-111].
5	Заняття 5. Внутрішній теплообмін. Розрахунок нагріву виробів в печі з постійною температурою.(ТП=const) Література: [1,с.111-113].
6	Заняття 6. Теплові та матеріальні баланси ВТУ. Втрати теплоти через стінки ВТУ. Література: [4,с.38-42].
7	Заняття 7. Визначення аеродинамічного опору газоходу. Література: [4,с.44-52].
8	Заняття 8. Коефіцієнт регенерації теплоти матеріалу, що пройшов термообробку. Література: [4,с.56-57].
9	Заняття 9. Степінь регенерації теплоти відхідних продуктів згорання. Коефіцієнт тепловикористання палива без попереднього і з попереднім підігрівом компонентів горіння палива. Література: [4,с.57-60].

6. Самостійна робота аспіранта

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Конструктивні елементи високотемпературних установок [1,2,4].	7
2	Енергетичне удосконалення паливних високотемпературних установок [1-3].	7
3	Парогенератори на відхідних технологічних газах [5-7].	7
4	Примусове охолодження, використання шлаків та теплоти технологічних продуктів [8-10].	7
5	Комбіноване енерготехнологічне тепловикористання [1,2, 5-9].	7
6	Регенератори та рекуператори для нагрівання повітря та газу [4-7].	7
7	Виконання ДКР	20
9	Підготовка до екзамену	34
	Всього	96

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- на заняттях дозволяється використання засобів зв'язку для пошуку інформації та виконання індивідуальних завдань;
- захист практичних завдань відбувається на практичному занятті у виділений для цього викладачем час;
- штрафні та заохочувальні бали:
 - відсутність на практичному занятті без поважної причини - мінус 5 балів;
 - несвоєчасне (пізніше ніж на тиждень) подання МКР- мінус 5 балів;
 - участь тестових завдань та задач з дисципліни, виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни надається від 5 до 10 заохочувальних балів.

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

Види контролю знань студентів з дисципліни:

- відповіді на лекційних заняттях;
- відповіді на практичних заняттях;
- виконання завдань СРС;
- виконання МКР;
- виконання ДКР;
- відповідь на екзамені – максимально 40 балів.

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

- 1) чотири відповіді в середньому кожного студента на лекційних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 2 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб і вісімнадцяти лекційних занять (36 годин) отримуємо: $2 \cdot 18 / 10 \approx 4$ відповіді);
- 2) чотири відповіді в середньому кожного студента на практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб і дев'яти практичних заняттях (18 годин) отримуємо: $3 \cdot 9 / 10 \approx 3$ відповіді);
- 3) виконання завдань СРС;
- 4) виконання однієї МКР;
- 5) виконання ДКР;
- 6) відповідь на екзамені – максимально 40 балів.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на лекційних заняттях

Ваговий бал — 3. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_1 = 3 \text{ бали} \times 4 = 12$ балів.

Критерії оцінювання:

3 бали — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **2 бали** — відповідь має несуттєві похибки; **1 бал** — неповна відповідь; **0 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

2. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 3. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_2 = 3 \text{ бали} \times 3 = 9$ балів.

Критерії оцінювання:

3 бали — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **2 бали** — відповідь має несуттєві похибки; **1 бал** — неповна відповідь; **0 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

3. Виконання завдань СРС

Ваговий бал – 4. Максимальна кількість балів студента 24 (видається шість завдань на СРС, строк задачі завдання – не пізніше ніж через два тижні після видачі): $r_3 = 4 \text{ балів} \times 6 = 24$ балів. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

4 балів – в повному об'ємі і вчасно надана відповідь; 3 бали – не в повному об'ємі і вчасно надана відповідь; 2-0 балів – не вчасно надана відповідь або ненадана відповідь.

Штрафні бали:

– несвоєчасне представлення виконаного завдання СРС без поважної причини (хвороба) – -2 бал.

Заохочувальні бали

– участь у наукових та/або науково-практичних конференціях, семінарах, симпозиумах – 5 балів.

4. Виконання ДКР

Ваговий бал – 10. Максимальна кількість балів студента 10 (видається одне завдання на ДКР, строк задачі завдання – не пізніше ніж через два тижні після видачі): $r_4=10$ балів $\times 1 = 10$ балів. Виконане завдання надається викладачу у вигляді вирішеної задачі, виконання завдання ДКР обов'язкове.

Критерії оцінювання:

10 балів – в повному об'ємі і вчасно надана відповідь; 5 бали – не в повному об'ємі і вчасно надана відповідь; 0 балів – не вчасно надана відповідь або ненадана відповідь.

5. Модульна контрольна робота (МКР)

Ваговий бал кожної частини – 5. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_5=5 \times 1 = 10$ балів.

Критерії оцінювання:

5 балів – повна вірна відповідь на завдання; 4 бали – відповідь має несуттєві похибки; 3 бали – неповна відповідь; 0...2 бали – наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

5. Відповіді на екзамені

Екзамен проводиться у письмово-усній формі. Екзаменаційний білет складається з двох теоретичних питань і задачі. Перелік питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Два теоретичних питання оцінюються по 10 балів, а задача – 20 балів. Тобто, максимальна кількість балів за виконане завдання $10+10+20 = 40$ балів.

Критерії оцінювання:

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 9...10 (18...20) балів;

достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 7...8 (14...17) балів;

неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки) – 5...6 (11...13) балів;

незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 50% потрібної інформації та помилки) – менше 5 (10) балів.

Штрафні бали:

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

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_D):

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

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5.$$

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

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 12+9+24+10+5 = 60$ балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист ДКР та стартовий рейтинг не менше $0,4 \times R_c = 24$ балів.

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 24 бали, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Екзаменаційна складова R_E шкали дорівнює: $R_E = 40$ балів.

Таким чином, максимальна кількість балів за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

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

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
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

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100-бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Студентам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого (тобто $R_c \geq 54$), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 60 + \frac{40 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де R – оцінка за 100-бальною шкалою;

R_i – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

R_c – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

R_D – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н., доц. Притулою Наталею Олександрівною

Ухвалено кафедрою теоретичної і промислової теплотехніки (протокол № 14 від 24.06.2020 р.)

Погоджено Методичною комісією теплоенергетичного факультету (протокол № 10 від 25.06.2020р.)