



Спеціальні питання сучасних енергетичних та парогенеруючих установок.

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	G Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G4 Енерговиробництво
Спеціалізація	G4.02 Теплоенергетика
Освітня програма	Інженерія енергогенеруючого обладнання та системи термостабілізації
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів/150 годин (лекції 46, практичні 14, СРС 90)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/розрахункова робота, МКР</i>
Розклад занять	http://roz.kpi.ua
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор/практичні: <i>к.т.н., с.н.с., доц. Рогачов Валерій Андрійович, 098 405 17 51 (telegram, viber), valeriy_rogachov@ukr.net</i>
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=7932

Програма навчальної дисципліни

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

В рамках дисципліни майбутні фахівці будуть вивчати концептуальні підходи та проблемні питання в галузі діагностування та надійності, які виникають під час проєктування, виготовлення та експлуатації енергогенеруючого обладнання та систем термостабілізації, даючи можливість студентам отримати основні навички у вирішенні проблем надійної експлуатації енергогенеруючого теплового обладнання.

Предметом навчальної дисципліни є математичні та практичні методи діагностування та методи розрахунків надійності і прогнозування міцності елементів

енергогенеруючого обладнання та систем термостабілізації, а також проведення аналізу теплогідравлічних процесів при їх функціонуванні в умовах високих температур та теплових навантажень з метою створення їх ефективних та надійних конструкцій.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей:

- **ФК04.** Здатність аналізувати, оцінювати та застосовувати науково-технічну інформацію в галузі енергетичного машинобудування;
- **ФК07.** Здатність приймати ефективні рішення з виробництва і експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання з урахуванням вимог щодо якості, екологічності, надійності, конкурентноздатності та охорони праці;
- **ФК10.** Здатність застосовувати системний підхід, знання сучасних технологій та методів при дослідженні, проектуванні, модернізації та експлуатації теплоенергетичного обладнання.

Програмними результатами навчання є:

- **ПРН01.** Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у галузі енергетичного машинобудування для розв'язування складних задач професійної діяльності;
- **ПРН07.** Приймати ефективні рішення з інженерних та управлінських питань у галузі енергетичного машинобудування в складних і непередбачуваних умовах, у тому числі із застосуванням сучасних методів та засобів оптимізації, прогнозування та прийняття рішень;9
- **ПРН08.** Розробляти, обирати та застосовувати ефективні розрахункові методи розв'язання складних задач енергетичного машинобудування.

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

Пререквізити дисципліни: Теплообмін і гідродинаміка в енергетичному устаткуванні.

Постреквізити дисципліни: дипломне проектування.

3. Зміст навчальної дисципліни.

Перелік розділів і тем всієї дисципліни:

Розділ 1. Теоретичні та практичні основи технічної діагностики парових котлів, її методи і засоби.

Тема 1.1. Роль і місце парових котлів у народному господарстві України.

Тема 1.2. Теоретичні методи технічної діагностики та діагностування методами розділення у просторі ознак.

Тема 1.3. Методи Булевої алгебри в діагностуванні поверхонь нагрівання котлів.

Тема 1.4. Статистичні методи розпізнавання. Метод Байеса в задачах діагностування поверхонь нагрівання котла.

Тема 1.5. Методи практичного діагностування енергетичного обладнання. Основні системи діагностичного забезпечення котлів.

Тема 1.6. Оперативна діяльність машиністів парових котлів.

Розділ 2. Тепловий баланс – методична основа економічності парового котла (ПК).

Тема 2.1. Тепловий баланс парового котла. Визначення теплових втрат в котлі методом проф. Равича М.Б.

Тема 2.2. Методи підтримування економічних характеристик в процесі роботи котла.

Розділ 3. Загальна характеристика основних понять в теорії надійності і проблеми надійності в котлах та ядерних реакторах.

Тема 3.1. Термінологія та характеристики надійності металу поверхонь нагрівання парового котла.

Тема 3.2. Закони розподілів випадкових величини та їх характеристики. Функція надійності.

Тема 3.3. Основні закони та характеристики надійності котла.

Тема 3.4. Кількісні показники надійності основного теплоенергетичного устаткування. Відмови і пошкодження в роботі основного устаткування теплових і атомних електростанцій.

Тема 3.5. Аналіз пошкоджень поверхонь нагрівання ПК. Метод Ларсена-Міллера при визначенні надійної роботи труб котла.

Тема 3.6. Методи прогнозного діагностування ресурсу труб котла.

Розділ 4. Процеси корозії поверхонь нагріву котла.

Тема 4.1. Високотемпературна і низькотемпературна корозія.

Тема 4.2. Корозійна втомленість - специфічна форма пошкодження котельного металу.

Тема 4.3. Методи розрахунку корозійних втрат металу в котлі.

Розділ 5. Парові котли з циркулюючим киплячим шаром.

Тема 5.1. Парові котли з киплячим шаром. Котли з розширеним киплячим шаром.

Тема 5.2. Особливості конструкції котлів Lyrgey.

Тема 5.3. Особливості конструкції котлів Foster Willer, Babkok&Wilkoks. Особливості конструкції енергетичного котла аарочного типу.

Розділ 6. Котлоагрегати, що працюють на вторинних енергоносіях.

Тема 6.1. Котли-утилізатори в енергетичних і технологічних схемах. Енерготехнологічні агрегати в металургійній промисловості.

Розділ 7. Огляд зарубіжних сучасних конструкцій потужних котлів.

Тема 7.1. Котлобудування у Франції, Великобританії, ФРН та Італії.

Тема 7.2. Котлобудування в США та Японії.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Губаревич О.В. Надійність і діагностика електрообладнання: Підручник. Сєвєродонецьк, Вид-во СХУ ім. В. Даля. -2016. – 247с.
2. Канарчук, В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин: Підручник. –К.: Либідь, 2003. – 424 с.
3. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способи зміцнення металів: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2021. - 89 с.
4. Технічна діагностика: Навчальний посібник /О.В. Козаченко, С.П. Сорокін, О.М. Шкренгаль та ін.; За ред. проф.О.В. Козаченка. — Х.: Факт, 2013. — 456 с.

Допоміжна література:

5. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність теплоенергетичного обладнання» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 144 – Теплоенергетика / Укл. Клімов Р.О., – Кам'янське: ДДТУ, 2021. – 65с
6. Надійність і довговічність устаткування: практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. А. Андреев. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,49 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 50 с.
7. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність і діагностика електрообладнання» для студентів за напрямом 6.050702 “ Електромеханіка”/ Укл.: к.т.н., доцент Ключев О.В. - Дніпродзержинськ: ДДТУ,2013, 143 стор.
8. Надійність електроенергетичних систем: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.В. Казанський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 67 с.
9. ДСТУ 2389-94 «Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення».
10. Єсаулов С. М. Діагностичні комплекси: Конспект лекцій для студентів денної та заочної форми навчання освітнього рівня «магістр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / С. М. Єсаулов, О. Ф. Бабічева; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 87 с.
11. Діагностика теплоенергетичного устаткування теплових та атомних електричних станцій: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. А. Пешко, О. Ю. Черноусенко, Д. В. Риндюк. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,6 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 81 с.

Інформаційні ресурси:Кампус НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського <http://login.kpi.ua/>;Бібліотека НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського <http://library.kpi.ua/>;**Навчальний контент****5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

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

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено лекційні та практичні заняття (див. таб.).

Лекційні заняття (деталізований опис):

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Розділ 1. Теоретичні та практичні основи технічної діагностики парових котлів, її методи і засоби	
1.	Тема 1.1. Роль і місце парових котлів у народному господарстві України. Лекція 1. Предмет дисципліни, його актуальність і причини виникнення. Аспекти розвитку енергетики України. Концепція енергозбереження в Україні і її принципові напрямки. Шляхи підвищення надійності та економічності парових котлів. СРС: КУ та ПК, як об'єкти діагностування.
2.	Тема 1.2. Теоретичні методи технічної діагностики та діагностування методами розділення у просторі ознак. Лекція 2. Терміни і визначення. Основні задачі ТД. Структурна схема ТД. Математична постановка задачі ТД. Основні поняття і терміни. Методи розділення у просторі ознак. Функції дискримінантів і розділювальних. Лінійні розділювальні функції. СРС: Підходи до задач розпізнавання.
3.	Тема 1.3. Методи Булевої алгебри в діагностуванні поверхонь нагрівання котлів. Лекція 3. Основні поняття алгебри логіки. Булеві функції та способи їх складання. Базис булевої функції і числа, що зображають. Застосування методів логічної діагностики в ПК. СРС: Використання булевих функцій для побудови діагностичних пристроїв.
4.	Тема 1.4. Статистичні методи розпізнавання. Метод Байеса в задачах діагностування поверхонь нагрівання котла. Лекція 4. Основні поняття теорії імовірності. Логічні сума і добуток подій. Умовна імовірність. Види подій та їх властивості. Формула Байеса та її застосування. Діагностична матриця. Вирішальне правило. СРС: Узагальнююча формула Байеса.
5.	Тема 1.5. Методи практичного діагностування енергетичного обладнання. Основні системи діагностичного забезпечення котлів. Лекція 5. Функціональне, тестове та комбіноване діагностування. Автоматизація процесів діагностування. Комплексна система діагностування металу котла. Автоматизована система температурного контролю. СРС: Система діагностування технологічного стану поверхні нагріву котла.

6.	Тема 1.6. Оперативна діяльність машиністів парових котлів. Лекція 6. Фази оперативної діяльності при роботі на котлі. Формування оперативних знань. Прийняття діагностичних рішень. Дерева оцінки ситуації, карти спостережень, основні види планів дій та методи їх побудов. СРС: Підготовка до прийняття оперативних рішень.
Розділ 2. Тепловий баланс – методична основа економічності папрового котла (ПК).	
7.	Тема 2.1. Тепловий баланс парового котла. Визначення теплових втрат в котлі методом проф. Равича М.Б. Лекція 7. Методи визначення коефіцієнта корисної дії ПК. Наявна теплота котлоагрегата. Складові теплоти, що надходить у котел. Корисна теплота ПК. Схема оперативного контролю ККД котла при спалюванні газу. Теплова економічність котла. Вплив теплових втрат на економічну роботу котла. Сутність спрощеної методики проф. Равича М.Б. у розрахунках теплових втрат. СРС: Об'єкти оперативного технічного контролю котельної установки. Модульна контрольна робота, частина 1.
8.	Тема 2.2. Методи підтримування економічних характеристик в процесі роботи котла. Лекція 8. Вплив навантаження, температури живильної води, повітряного режиму топки, якості палива на економічну роботу котла. Побудова Q_u-діаграм. Підтримування економічної температури живильної води. Ненакипний режим експлуатації котла. Вплив золових відкладень на економічну роботу ПК. Визначення нормативних показників роботи ПК. Режимна карта котла. СРС: Вплив рециркуляції газів на теплові характеристики котлоагрегату
Розділ 3. Загальна характеристика основних понять в теорії надійності і проблеми надійності в котлах та ядерних реакторах.	
9.	Тема 3.1. Термінологія та характеристики надійності металу поверхонь нагрівання парового котла. Лекція 9. Задачі забезпечення надійності котлів. Етапи «життєвого» циклу ПК. Загальні поняття, терміни теорії надійності. Структурна схема ПК. СРС: Особливості методики оцінки показників надійності ПК.
10.	Теми 3.2. Закони розподілів випадкових величини та їх характеристики. Функція надійності. Лекція 10. Дискретні та безперервні випадкові величини. Закони розподілів імовірності дискретної випадкової величини. Числові характеристики дискретної величини. Функція розподілу безперервної випадкової величини. Властивості функції розподілу. Щільність розподілу. Числові характеристики безперервної величини. Нормальний та показниковий розподіли, їх числові характеристики. Функція надійності. Співвідношення між числовими характеристиками розподілів випадкових величин. Коефіцієнт варіації, медіана, мода, гамма-відсоткове значення, умовна щільність. СРС: Закон Пуассона (закон рідких подій), закон Вейбулла.

11.	Тема 3.3. Основні закони та характеристики надійності котла Лекція 11. Закони безвідмовності, відновлювання, довговічності об'єктів та їх характеристики. Крива інтенсивності відмов. Параметр потоку відмов. Середнє напрацювання на відмову. Середній час відновлювання. Середній ресурс. Простий та складний режими роботи об'єкту. Коефіцієнт оперативної готовності. Основні нормовані показники надійності енергетичних об'єктів. СРС: Емпірична оцінка характеристик надійності за укороченими спостереженнями, показники неготовності об'єкту.
12.	Теми 3.4. Кількісні показники надійності основного теплоенергетичного устаткування. Відмови і пошкодження в роботі основного устаткування теплових і атомних електростанцій. Лекція 12. Коефіцієнти готовності, аварійності, планових та непланових простоїв енергоблоків. Середні значення наробки на відмову та часу на відновлювання сучасних енергоблоків. Причини відмов та їх класифікація. Пошкодження котельного обладнання енергоблоків. Відмови в роботі котлів, турбіни, реакторів АЕС, допоміжного обладнання, систем автоматичного регулювання. СРС: Відмови в роботі обладнання енергоблоку ТЕС та АЕС.
13.	Теми 3.5. Аналіз пошкоджень поверхонь нагрівання ПК. Метод Ларсена-Міллера при визначенні надійної роботи труб котла. Лекція 13. Методи прогнозного діагностування ресурсу труб котла. Основні фактори, що впливають на руйнування котельних труб. Корозія поверхонь нагрівання. Контроль за зміною геометричних розмірів елементів котла. Зменшення товщини стінки внаслідок окалиноутворення або ерозійного зносу. Формула Ларсена-Міллера. СРС: Зменшення товщини труби пароперегрівача під дією корозії.
14.	Тема 3.6. Методи прогнозного діагностування ресурсу металу труб котла. Лекція 14. Класифікація методів діагностування довговічності та залишкового ресурсу труб пароперегрівача. Відмінність методів Донбасенерго та КПІ. СРС: Методи підвищення експлуатаційної надійності пароперегрівачів.
Розділ 4. Процеси корозії поверхонь нагріву котла.	
15.	Тема 4.1. Високотемпературна і низькотемпературна корозії. Лекція 15. Корозія топкових екранів котла і пароперегрівачів. Корозія водяних економайзерів та повтропідігрівників. Стоянкова, виразкова, підшламова, лужна, сульфідна, ванадієва корозія і її вплив на надійність роботи котла.. СРС: Причини виникнення корозії металу в елементах котла.
16.	Тема 4.2. Корозійна втомиленість - специфічна форма пошкодження котельного металу. Лекція 16. Процеси, які відбуваються при корозійній втомі. Структура металу при втомних тріщинах. Приклади корозійної втоми. Пітингова корозія. Дослідження пошкоджень, викликаних корозійною втомою. СРС: Небезпечність пітингової корозії для котельного металу.
17.	Тема 4.3. Методи розрахунку корозійних втрат металу. Лекція 17. Математичний опис кінетики корозії металу. Аналітичні залежності для підрахунку корозійних втрат. Визначення сумарного зтоншення стінки труби через окалиноутворення. Діаграми для визначення корозійних втрат. СРС: Поняття еквівалентного часу роботи металу.

Розділ 5. Парові котли з циркулюючим киплячим шаром.	
18	Теми 5.1. Парові котли з киплячим шаром. Котли з розширеним киплячим шаром. Лекція 18. Умови виникнення псевдорозрідженого бульбашкового киплячоо шару. Переваги і недоліки котлів з псевдорозрідженим шаром. Високотемпературні та низькотемпературні топки. Екологічні характеристики топок з псевдорозрідженим шаром. Схема парового котла з низькотемпературним киплячим шаром. СРС: Особливості роботи топкових екранів високотемпературних топок.
19	Теми 5.2. Особливості конструкції котлів Lyrpy. Лекція 19. Котел атмосферного циркулюючого киплячого шару за технологією Lyrpy потужністю 210 МВт. Основні параметри котла. Переваги і недоліки конструкції. СРС: Екологічні характеристики топок котла Lyrpy.
20	Теми 5.3. Особливості конструкції котлів Foster Willer, Babkok&Wilkoks. Особливості конструкції енергетичного котла арочного типу. Лекція 20. Основні розрахункові показники котлів: тепла потужність, паропродуктивність, тиск і температура пари. Конструктивні рішення топки і теплообмінних відсіків котлів. Види палив, що спалюються в топках з киплячим шаром. Технологія арочного спалювання низькорекційних палив. Вплив якості палива на техніко - економічні характеристики котла. Переваги та недоліки конструкції. СРС: Екологічні характеристики котлів Foster Willer, Babkok&Wilkoks. Кінетика неконтрольованих процесів горіння низькорекційних палив.
Розділ 6. Котлоагрегати, що працюють на вторинних енергоносіях.	
21	Теми 6.1. Котли-утилізатори в енергетичних і технологічних схемах. Енерготехнологічні агрегати в металургійній промисловості. Лекція 21. Методика розрахунку теплових та витратних параметрів теплоутилізаційних установок. Схема енерготехнологічного циклонного агрегату. Комбінований енерготехнологічний агрегат ЕТА-ЦФ-7 для гідротермічної переробки фосфоритів. Приклади утилізаційних водо-та газотрубчастих агрегатів. Парогенератор ОКГБд-250М для використання теплоти конверторних гаїв. Схема комплексного використання теплоти випарного охолодження газів, що відходять з мартеновської печі. Розрахунок витрати палива на перегрів пари в автономному пароперегрівнику. Парогенератор типу КСТК-25/39 для використання теплоти коксу. СРС: Основні характеристики вторинних теплоносіїв. Призначення автономного пароперегрівника в котлі-утилізаторі.
Розділ 7. Огляд зарубіжних сучасних конструкцій потужних котлів.	
22.	Теми 7.1. Котлобудування у Франції. Великобританії, ФРН та Італії. Лекція 22. Загальні дані і характерні технічні рішення по котлам. Переваги та недоліки компоновки поверхонь нагрівання в котлі. Конфігурації газоходів. СРС: Співставлення техніко-економічних характеристик котлів Франції, Великобританії, ФРН та Італії.
23.	Тема 7.2. Котлобудування в США та Японії. Лекція 23. Загальні дані і характерні технічні рішення по котлам. Переваги та недоліки компоновки поверхонь нагрівання в котлі. Конфігурації газоходів. СРС: Співставлення техніко-економічних характеристик котлів США та Японії. Модульна контрольна робота, частина2.

Практичні заняття (деталізований опис):

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	Основні математичні методи діагностики парового котла. (Розділ 1, Теми 1.2, 1.3, 1.5). Методи розділення у просторі ознак, методи Булевої алгебри, статистичні методи в задачах діагностування котла. [4], с.46-66. СРС: Підходи до задач розпізнавання. Метод Байеса. [4], с. 11-15, 18-20, 46-50.
2.	Методи побудови дерев оцінки ситуації (ДОС). (Розділ 1, Тема 1.6). Фази діяльності оператора енергоблоку. Спостереження процесів, діагностування, план дій, виконання плану з усунення причин ушкодження котла. [7], с.10-18; СРС: Принципи побудови ДОС [7], с. 32-47.
3.	Теплові втрати, їх вплив на ефективну роботу ПК. Спрощений метод розрахунків теплових втрат, розроблений проф. Равичем М.Б. (Розділ 2, Теми 2.1, 2.2). Методи розрахунку різних видів теплових втрат в котлі (нормативні та спрощені методи). Методи підвищення ККД котла та вплив його на витрати палива.[2], с.44-72, [5], с.163-196. Обліки витрати палива та вироблення теплоти, нормування витрат палива та розрахунки економії палива. Методи розрахунку теплових втрат в котлі. Оцінка ефективності заходів для підвищення економічності котла.[2], с.44-72, 120-135, [5], с.163-196, [14], с.4-47. СРС: Об'єкти оперативного технічного контролю котельної установки, [2], с. 15-39.
4.	Закони розподілу імовірностей пошкоджень групи котлів. (Розділ 3, Тема 3.2). Статистичні дані напрацювання на відмову котлів. Визначення оцінки імовірності пошкоджень котла в інтервалі його роботи до відмови. Основні числові характеристики напрацювання на відмову. Аналіз результатів. Побудова графіків імовірності напрацювання на відмову котлів. [3], с.123-136; [6], с.42-60; [12], с.4-12. СРС: Основні числові характеристики дискретних та безперервних випадкових величин. [10], с. 15-39.
5.	Розрахунок кількісних показників надійності парових котлів. (Розділ 3, Тема 3.3). Елементи теорії імовірності при аналізі надійності енергоустаткування. Визначення критеріїв та функції надійності. Загальні принципи розрахунку надійності структурних схем. Методи розрахунків основних показників надійності. [2], с.18-40. СРС: Емпірична оцінка характеристик надійності за укороченими спостереженнями, показники неготовності об'єкту. [5], с. 75-89.
6.	Діагностування і прогнозування технічного ресурсу металу котла. (Розділ 3, Тема 3.5). Методи прогнозного діагностування ресурсу металу труб поверхонь нагрівання. Вибір металу. Розрахунок малоциклової втомленості металу. Розрахунок еквівалентного часу. Метод Ларсена-Міллера. [8], с.21-55, [9], с.23-58. СРС: Зменшення товщини труби пароперегрівача під дією корозії, [9], с. 24-27.
7.	Захист РР

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Під час вивчення навчальної дисципліни видами самостійної роботи є підготовка до аудиторних занять (лекційних і практичних занять). Полягає в опануванні питань, що винесені на самостійне опрацювання та підготовки конспектів. Перелік питань наведений у таблиці п.5, що визначають зміст лекційних і практичних занять. Час на їх підготовку подано нижче.

Назва	СРС, год
1. КУ та ПК, як об'єкти діагностування	2
2. Підходи до задач розпізнавання.	2
3. Використання булевих функцій для побудови діагностичних пристроїв	2
4. Узагальнююча формула Байеса	2
5. Система діагностування технологічного стану поверхні нагріву котла.	2
6. Підготовка до прийняття оперативних рішень.	2
7. Об'єкти оперативного технічного контролю котельної установки.	2
8. Вплив рециркуляції газів на теплові характеристики котлоагрегату	2
9. Особливості методики оцінки показників надійності ПК.	2
10. Закон Пуассона (закон рідких подій), закон Вейбулла.	2
11. Емпірична оцінка характеристик надійності за укороченими спостереженнями, показники неготовності об'єкту.	4
12. Відмови в роботі обладнання енергоблоку ТЕС та АЕС	4
13. Зменшення товщини труби пароперегрівача під дією корозії.	2
14. Методи підвищення експлуатаційної надійності пароперегрівачів	2
15. Причини виникнення корозії металу в елементах котла	4
16. Небезпечність пітингової корозії для котельного металу	2
17. Поняття еквівалентного часу роботи металу.	2
18. Особливості роботи топкових екранів високотемпературних топок.	2
19. Екологічні характеристики топок котла Lyrgy.	4
20. Екологічні характеристики котлів Foster Willer, Babkok&Wilkoks. Кінетика неконтрольованих процесів горіння низькорекційних палив.	5
21. Основні характеристики вторинних теплоносіїв. Призначення автономного пароперегрівника в котлі-утилізаторі.	4
22. Співставлення техніко-економічних характеристик котлів Франції, Великобританії, ФРН та Італії.	2
23. Співставлення техніко-економічних характеристик котлів США та Японії.	2
МКР	8
Розрахункова робота	15
Залік	8
ВСЬОГО	90

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог до студентів:

- правила відвідування занять – відвідувати навчальні заняття та контрольні заходи передбачені графіком освітнього процесу (п. 9.4 <https://kpi.ua/admin-rule>), як при навчанні в

аудиторіях, так і при використанні дистанційного режиму навчання. В останньому випадку заняття проводяться в режимі онлайн-конференцій і студенти їх «відвідують» під'єднуючись за наданими викладачем посиланням;

- правила поведінки на заняттях – не заважати зайвою діяльністю, розмовами (в тому числі телефоном) іншим студентам слухати лекцію чи працювати під час виконання практичних занять. В аудиторіях/лабораторіях та при дистанційному навчанні вдома дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з обладнанням;
- правила призначення заохочувальних балів передбачають заохочувальні бали за академічну активність на лекційних заняттях, штрафні бали нараховуються при виявленні фактів порушення правил доброчесності при виконанні контрольних і можуть накладатися у розмірі оцінки передбаченої за конкретну роботу, заохочувальні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума складає 10% стартової шкали;
- при здобуванні студентом освіти застосовуються активні форми та методи проведення занять (експрес-опитування, взаємодія та діалог між студентом та викладачем, вироблення правильного розуміння змісту теми, що вивчається);
- заохочувальні бали надаються у відповідності до «системи оцінювання результатів навчання».
- політика дедлайнів та перескладань полягає у виконанні поточної модульної контрольної і розрахункової роботи за тиждень до початку сесії за розкладом;
 - перескладання студентами заборгованостей здійснюється протягом семестру (але не пізніше за тиждень до початку сесії) за індивідуальним графіком консультацій викладача у відповідності з його педнавантаженням;
- поведінка на заняттях спокійна та доброзичлива, при викладанні підтримується діловий стиль, рівень спілкування ґрунтується на взаємній повазі один до одного, недопустимі конфліктні ситуації, політика щодо академічної доброчесності відповідає загальним положенням, прийнятим у «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>);
- політика навчальної дисципліни спрямована на розвиток індивідуальних здібностей в напрямку набуття компетентностей щодо створення та модернізації сучасних тепло-парогенеруючих установок, а також в напрямку розширення сфер застосування отриманих знань, умінь і досвіду.

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

Види контролю дисципліни складаються з:

- відповіді на практичних заняттях;
- виконання СРС з лекційних та практичних занять;
- виконання МКР;
- виконання РР;
- відповіді на заліку;
- календарний контроль.

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

- 1) дві відповіді в середньому кожного студента на практичних заняттях;
- 2) виконання завдань СРС з лекційної частини курсу;
- 3) виконання завдань СРС з практичної частини курсу;

- 4) виконання однієї МКР;
- 5) виконання РР;
- 6) відповідь на заліку при виконанні умов допуску.

Поточний контроль: захист МКР, захист РР.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр на 7-8 та 14-15 тижнях, як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу – студент отримує «атестовано» під час першого та другого календарного контролю, якщо його поточний рейтинг складає не менше за 60% від максимальної кількості балів, можливої на момент контролю (див. п.5).

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: виконаний та зарахований цикл завдань до індивідуальних занять, зарахована РР, за всі види робіт не менше 25 балів. Отримання оцінки з кредитного модуля «автоматом» не передбачено окрім надзвичайних випадків, наприклад, пандемії або дії військового положення. В останніх випадках для складання заліку з кредитного модуля «автоматом» потрібно мати рейтинг не менше 60 балів.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання.

1. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал кожного практичного заняття – 3 бали. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях $r_{\text{пр}} = 3 \text{ бали} \times 6 = 18 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

3 бали – повна вірна відповідь на поставлене запитання; 2 бали – неповна відповідь; 1 бал – наявність суттєвих помилок в неповній відповіді; 0 балів – відсутність відповіді.

2. Модульна контрольна робота (МКР)

Під час семестру виконується модульна контрольна робота, яка складається з двох частин по 20 балів, всього $r_{\text{МКР}} = 40 \text{ балів}$ за дві частини.

Критерії оцінювання кожної частини МКР (20 балів):

- правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) – 13...15 (18...20) балів;
- достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 10...12 (14...17) балів;
- неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 7...9 (11...13) балів;
- незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – менше 6 (10) балів.

3. Розрахункова робота (РР)

Ваговий бал РР: $r_{\text{РР}} = 30 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

26...30 балів – повна вірна відповідь, творче виконання РР; 21...25 балів – РР має несуттєві неточності; 16 ... 20 балів - наявність суттєвих помилок у РР; 11 - 15 балів – РР виконана частково; 0...10 - відсутність всіх чи деяких завдань, РР не зараховано.

4. Завдання, що винесені на самостійну роботу

Максимальна кількість балів студента за 23 завдання на лекційних заняттях (завдання СРС видаються після лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_{CPC} = 12$ балів.

Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове. Критерії оцінювання:

11...12 балів — повно, вірно і вчасно виконані всі завдання; **8...10 балів** — неповна відповідь на завдання, з несуттєвими недоліками; **5...7 балів** - неповна відповідь на завдання з суттєвими недоліками; **0...4 балів** - наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність виконаного завдання чи завдань, не зараховано.

Також завдання на самостійну роботу студентів пов'язані з підготовкою завдань у відповідності до виконання практичних робіт, підготовкою до МКР та заліку. Рівень знань студента, що стосується його виконання практичних робіт, МКР та заліку безпосередньо оцінюється під час здачі у відповідності до критерієві їх оцінювання.

Залікова робота

Залікова робота складається з двох теоретичних питань (по 12 балів) та одному теоретичного питання (16 балів). Тобто, максимальна кількість балів за виконану залікову роботу становить $R_3 = 40$ балів.

(1) Критерії оцінювання першого та другого теоретичного питання залікової роботи:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 12 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 9...11 балів;
- неповна відповідь, з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 4...8 балів;
- незадовільна відповідь, або її відсутність (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше 3 балів.

(2) Критерії оцінювання третього теоретичного питання залікової роботи:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 16 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 14...16 балів;
- неповна відповідь, з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 7...13 балів;
- незадовільна відповідь, або її відсутність (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше 7 балів.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_D):

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

$$R_C = r_{ПР} + r_{МКР} + r_{РР} + r_{CPC}$$

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

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_C = 18+40+30+12 = 100$ балів.

Необхідною умовою допуску до заліку є зарахування практичних завдань, самостійних робіт, захист всіх лабораторних робіт і семестровий рейтинг не менше 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).

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів, а також ті, хто хочуть підвищити оцінку в системі ECTS, виконують залікову контрольну роботу. При цьому застосовується «м'яка» РСО: до балів за практичні завдання ($r_{ПЗ}$) додаються бали за залікову роботу і ця рейтингова оцінка є остаточною.

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_z шкали дорівнює: **$R_z = 40$ балів** (не враховуються бали за МКР).

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі заліку (не враховуються бали за МКР) за рейтинговою шкалою з дисципліни складає:

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

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 результаті 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).

Список питань для підготовки до МКР (частина 1):

1. КУ та ПК, як об'єкти діагностування.
2. Підходи до задач розпізнавання.
3. Простір простих дворозрядних ознак.
4. Використання булевих функцій для побудови діагностичних пристроїв.
5. Узагальнююча формула Байеса.
6. Система діагностування технологічного стану поверхні нагріву котла.
7. Електромагнітний метод діагностування труб котлоагрегатів.
8. Підготовка до прийняття оперативних рішень.

Список питань для підготовки до МКР (частина 2):

1. Об'єкти оперативного технічного контролю котельної установки.
2. Визначення оптимального надлишку повітря у топці за мінімумом теплових втрат.
3. Вплив рециркуляції газів на теплові характеристики котлоагрегату.
4. Особливості методики оцінки показників надійності ПК.
5. Закон Пуассона (закон рідких подій), закон Вейбулла.
6. Емпірична оцінка характеристик надійності за укороченими спостереженнями, показники неготовності об'єкту.
7. Зменшення товщини труби пароперегрівача під дією корозії.
8. Методи підвищення експлуатаційної надійності пароперегрівачів, неконтактний тепловий контроль.

Список питань для підготовки до заліку.

Теоретичні та практичні основи технічної діагностики парових котлів, її методи та засоби.		
1.	Основні шляхи підвищення надійності парових котлів.	12
2.	Основні задачі технічної діагностики, її структурна схема.	12
3.	Лінійні методи розділення ознак в просторі.	12
4.	Булеві функції та засоби їх складання. Застосування методів логічної діагностики при діагностуванні парових котлів.	12
5.	Основні поняття теорії імовірності. Операції з ймовірними величинами.	12
6.	Формула Баєса та її застосування при діагностуванні парових котлів.	12
7.	Засоби технічної діагностики. Функціональне діагностування.	12
8.	Засоби технічної діагностики. Комбіноване та тестове діагностування.	12
9.	Комплексна система діагностування парового котла. Структурна схема.	12
10.	Комплексна система діагностування парового котла. Призначення та методична основа.	12
11.	Рівні автоматизації діагностичних систем енергетичного обладнання.	12
12.	Комплексна система технічної діагностики парового котла. Технічні та апаратні засоби.	12
13.	Фази оперативної діяльності при роботі на котлі.	12
14.	Механізм прийняття оперативних рішень.	12
15.	Дерева оцінки ситуацій та карти спостережень	12
Тепловий баланс - методична основа економічності парового котла.		
16.	Методи визначення коефіцієнту корисної дії парового котла.	12
17.	Корисна теплота парового котла та його теплова економічність.	12
18.	Вплив окремих теплових втрат на економічну роботу котла.	12
19.	Методика професора Равича М.Б. при розрахунках теплових втрат.	12
20.	Вплив навантаження на економічність роботи парового котла.	12
21.	Вплив температури живильної води на економічність роботи парового котла.	12
22.	Вплив повітряного режиму на економічність роботи парового котла.	12
23.	Вплив якості палива на економічність роботи парового котла.	12
24.	Вплив зольних відкладень на економічність роботи парового котла.	12
25.	Визначення нормативних показників роботи парового котла.	16
26.	Вплив внутрішніх відкладень на економічність роботи парового котла.	16
Загальна характеристика основних понять теорії надійності і проблеми надійності котельних установок.		
27.	Загальні поняття та терміни теорії надійності.	16
28.	Задачі забезпечення надійності парових котлів.	16
29.	Основні причини виникнення відмов при експлуатації парових котлів.	16
30.	Методи неруйнівного контролю за станом метала поверхонь нагріву парових котлів.	16

31.	Непрямі методи контролю за станом метала поверхонь нагріву парових котлів. Еквівалентний час. Формула Ларсена-Мілера.	16
32.	Методика розрахунків корозійних втрат металу екранних труб.	16

Завдання для виконання РР

Завдання №1 *на тему «Метод логічної діагностики в парових котлах. Булева функція».*

Необхідно удосконалити діагностичну Булеву функцію **F** доповненням до **пп. 1 та 2** аудиторної задачі (див. матеріали практичних занять – бінарну таблицю) наступними новими технічними відомостями:

п.3. При відсутності ознаки **k₂** відсутній, як стан **D₁**, так і стан **D₂**.

Визначити: Функцію діагнозів **f** відповідно для функцій ознак $G = k_1 \wedge \overline{k_2}$ і $\overline{G} = \overline{k_1} \wedge k_2$.

Завдання №2 *на тему «Статистичні (імовірнісні) методи діагностики парових котлів. Метод Байєса».*

Завдання №2.1. Визначити імовірність того, що ТЕС буде виробляти електричну енергію в мережу (тобто працювати безвідмовно)?

Якщо імовірність безвідмовної роботи: паралельно працюючих двох котлів відповідно **P(A) = 0,99**, **P(B) = 0,99**; турбіни **P(C) = 0,97**; електрогенератора **P(D) = 0,99**; конденсатора **P(E) = 0,98**; деаератора **P(F) = 0,97**; паралельно працюючих двох живильних насосів відповідно **P(G) = 0,98**, **P(K) = 0,98**. Накреслити функціональну схему ТЕС.

Завдання №2.2. Статистичні дані аналізу добових графіків навантаження енергоблоку показує, що тривалість максимального навантаження протягом доби $\tau_{\text{MAX}}=6$ год. Визначити імовірність виникнення максимального навантаження протягом доби.

Завдання №2.3. Імовірності потухання факелу при пошкодженні пилососів першого пальника – $P(X_1)=0,020$, другого - $P(X_2)=0,015$. Визначити імовірність потухання факелу в топці котла, працюючого з двома пальниками.

Завдання №2.4. На ТЕС протягом року проводиться ремонт турбогенератора при відмовах обладнання з імовірністю $P(X_1)=0,030$ та поточний ремонт (за графіком ремонту), імовірність якого $P(X_2)=0,025$. Визначити імовірність ремонту турбогенератора.

Завдання №2.5. Теплова схема енергоблоку більшу частину часу знаходиться в нормальних умовах експлуатації, при цьому все обладнання справно. Стан схеми в цьому випадку є робочим, а її імовірність дорівнює $P(X)$. Випадок непрацездатного стану (відмови, плановий ремонт) має імовірність $P(\overline{X})$. Визначити імовірність працездатного стану, якщо імовірність відмови схеми $P(\overline{X}) = 0,002$.

Завдання №2.6. Обстежено 100 однотипних котлів при цьому виявлені їх діагнози (стани): **D₁** – забруднення поверхонь нагріву в 10 котлах; **D₂** – порушення здатності до роботи в 20 котлах; **D₃** – нормальне функціонування (відсутність діагнозів **D₁** і **D₂**) в 70 котлах. При обстеженні приймається до уваги одна ознака **k** – підвищення питомої витрати палива. При діагнозі **D₁** він спостерігається 8 разів, при **D₂** - 10 разів, при **D₃** – ознака **k** не спостерігається.

Визначити імовірність появи діагноза парового котла при зазначеній ознаці **k**. У висновках застосувати вирішальне правило.

Завдання №3 *на тему «Методика побудови дерев оцінки ситуації (ДОС)»*

Побудувати детальне ДОС за умови, що відбулося зниження ККД котла. Пояснити структуру ДОС. Прийняти кінцеве рішення по усуненню причин відхилень від нормальної роботи котла.

Завдання №4 на тему «Баланс парового котла. Метод проф. Равича М.Б.»

Визначити ККД котлоагрегата бруто і витрату палива, використовуючи зпрошену методику проф. Равича М. Б., при спалюванні топкового мазуту $Q_{н}^p = 39,8$ МДж/кг, навантаження котлоагрегату $D = 10$ т/г, тиск в барабані $p = 1,3$ МПа, ентальпія пари $i_{п} = 2,79$ МДж/кг; ентальпія котлової води $i_{к.в.} = 826,7$ кДж/кг; ентальпія живильної води $i_{п.в} = 0,36$ МДж/кг; продувка котла — 2,5 %; температура відхідних газів $t_{yx} = 200^{\circ}\text{C}$; температура повітря $t_{в} = 30^{\circ}\text{C}$; в результаті аналізу продуктів згорання отримані наступні дані: $RO_2 = 11,6\%$. Врахувати втрати теплоти в навколишнє середовище.

Завдання №5 на тему «Нормативні показники роботи котельних установок». В котельні 2 котла ДКВР-10. Залежність ККД від навантаження представлена в таблиці.

D	т/г	6	8	10 (ном.)	12
D	%	60	80	100	120
$\eta_{кбр}$	%	94	93	92	90

Котел № 1 оснащений теплоутилізатором, відпрацював 12 років. Котел № 2 не оснащений теплоутилізатором і відпрацював 8 років. Планується, що середнє навантаження котла № 1 буде відповідати номінальному, а котла № 2 - 80 % від номінального. Планується, що в наступному місяці котел № 1 виробить 16760 ГДж, а котел № 2 - 13408 ГДж. Заходів зі зниження витрати палива не планується ($\Delta B = 0$).

Визначити: нормативну питому витрату умовного палива в котельній на наступний місяць з урахуванням власних потреб котельні.

Завдання №6 на тему «Дискретні та безперервні випадкові величини»

Дано: Є статистика пошкодженості 4-х котлів. За 50 тис. год. безперервної роботи спостерігаються напрацювання на відмову у котлі №1 – 9 пошкоджень, у котлі №2 – 8 пошкоджень, у котлі №3 – 10 пошкоджень, у котлі №4 – 10 пошкоджень. Весь період роботи котлів розбити на 5-ть рівномірних часових інтервалів по 10 тис. год. Вважати напрацювання на відмову дискретними випадковими величинами.

1. Побудувати для кожного котла в табличному і графічному видах закони розподілу імовірностей напрацювання на відмову T .

2. Визначити їх основні числові характеристики $M(T)$, $D(T)$, $\delta(T)$. У якого котла характеристики краще?

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом, к.т.н., с.н.с., Рогачовим В.А.

Ухвалено кафедрою атомної енергетики (протокол № 26 від 23.06.2025р.).

Погоджено Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 9 від 27.06.2025).