



Парогенератори та теплообмінники АЕС

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	142 Енергетичне машинобудування
Освітня програма	"Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем"
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	7,5 кредитів/ 225 годин / 54 год лекцій, 18 год практичних занять, 153 СРС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен / МКР/
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к. т. н., доц., Шевель Євген Вікторович, Eugeneshevel@i.ua Практичні: Викладачі кафедри АЕ
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс Moodle https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4151

Програма навчальної дисципліни

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

Атомна енергетика є флагманом промисловості України, на атомних електростанціях виробляється половина всієї електроенергії в нашій країні. Одним з основних апаратів АЕС є парогенератор, надійна ефективна робота якого обумовлена правильними розрахунками при його конструюванні, що в свою чергу неможливо без досконалого розуміння закономірностей протікання процесів в ньому, вміння проводити розрахунки та створювати відповідні конструкції.

Предмет дисципліни – конструкція парогенератора та теплообмінників АЕС, процеси теплообміну та гідравліки в них, методи розрахунків цих апаратів.

Метою вивчення дисципліни є набуття студентами комплексу знань та навиків, що дозволяють проводити розрахунки теплообмінного обладнання АЕС, передбачати заходи щодо підвищення надійності його роботи та техніко-економічних показників.

Курс має на меті сформувати та розвинути такі фахові компетентності студентів.

Фахові компетентності:

ФК 1 Здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепцій розвитку галузі енергетичного машинобудування.

ФК 3 Здатність аналізувати інформацію з літературних джерел, здійснювати патентний пошук, а також використовувати бази даних та інші джерела інформації для здійснення професійної діяльності.

Програмними результатами навчання є:

ПРН 4. Застосовувати інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до спеціальності 142 Енергетичне машинобудування; обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень.

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

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

Пререквізити: дисципліна базується на вивченні дисциплін «Парові та водогрійні котли», «Енергетичні ядерні реактори».

Постреквізити: знання, набуті студентами при засвоєнні цієї дисципліни, використовуються в подальшому при виконанні курсового проєкта «Парогенератор АЕС».

3. Зміст навчальної дисципліни

4. Навчальні матеріали та ресурси

Розділ 1 Вступ. Парогенератори та теплообмінники АЕС, теплоносії.

Тема 1.1. Принципові схеми ТЕС і АЕС. Парогенератори та теплообмінники АЕС, їх класифікація

Тема 1.2. Теплоносії, що застосовуються на АЕС

Тема 1.3. Конструкційні схеми парогенераторів

Розділ 2 Конструкції парогенераторів та характеристики процесів, що в них відбуваються

Тема 2.1. Конструкції парогенераторів

Тема 2.2. Процеси, теплообміну в ПГ та ТО АЕС

Тема 2.3. Гідравлічні процеси в ПГ та ТО АЕС

Розділ 3 Розрахунок теплообмінних апаратів, компоновання теплообмінних пучків парогенераторів

Тема 3.1. Основи розрахунку теплообмінних апаратів

Тема 3.2. Методика розрахунку ТОА

Тема 3.3. Конструкція теплообмінної поверхні в горизонтальному і вертикальному ПГ для ВВЕР

Тема 3.4. Основи розрахунку на міцність елементів ПГ і ТОА

Розділ 4. Конструкції інших теплообмінних апаратів, що використовуються на АЕС

Тема 4.1. Сепарація пари на АЕС

Тема 4.2. Теплообмінники АЕС

Тема 4.3. Інші конструкції ПГ

Базова література

1. Реактори і парогенератори енергоблоків АЕС: схеми, процеси, РЗІ матеріали, конструкції, моделі / О. В. Єфімов, М. М. Пилипенко, Т. В. Потаніна та ін. ; за ред. О.В. Єфімова. – Харків : ТОВ «В справі», 2017. – 420 с.
2. Парогенератори та теплообмінники АЕС [Електронний ресурс] : методичні вказівки до практичних занять для студентів напрямів підготовки 6.050603 «Атомна енергетика» та 6.050604 «Енергомашинобудування» / НТУУ «КПІ» ; уклад. Є. В. Шевель. – Електронні

текстові дані (1 файл: 3,79 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 74 с.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/21728>

3. Парогенератори АЕС [Електронний ресурс] : методичні вказівки до курсового проекту «Парогенератори та теплообмінники АЕС» для студентів спеціальності 143 «Атомна енергетика», спеціалізації «Атомні електричні станції» та 142 «Енергетичне машинобудування» спеціалізації «Тепло- і парогенеруючі установки / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. Є. В. Шевель, М. В. Воробйов. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,23 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 25 с.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19672>
4. Парогенератори та теплообмінники АЕС: Розрахунок на міцність елементів парогенераторів АЕС [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 143 «Атомна енергетика», спеціалізації «Атомні електричні станції» / О. В. Семеняко, Є. В. Шевель; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,58 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 26 с

Додаткова література

1. Теплообмінні апарати та теплоносії [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Моделювання та комп'ютерні технології в теплофізиці» спеціальності 144 Теплоенергетика / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. Є. В. Шевель. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,42 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 164 с.
2. Шевель, Є. В. Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра енергетичних спеціальностей / Шевель Євген Вікторович, Воробйов Микита Валерійович ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,94 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 134 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Під час вивчення навчального матеріалу застосовуються словесний та наочний методи.

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	
РОЗДІЛ 1 Вступ. Парогенератори та теплообмінники АЕС, теплоносії	
2.	Тема 1.1. Принципові схеми ТЕС і АЕС. Парогенератори та теплообмінники АЕС, їх класифікація (4г). <i>Лекція 1. Вступ. Принципові схеми ТЕС і АЕС. Парогенератори АЕС.</i> Розглядаються одно- дво- і триконтурні схеми АЕС. Парогенератори – циркуляційні контури з багатократною циркуляцією, прямоточні парогенератори. Лекція супроводжується показом відповідних схем та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.

3.	<u>Лекція 2. Теплообмінники, їх класифікація.</u> Наведено розподіл теплообмінників за функціональні признаками, розглянуто регенеративні, рекуперативні, змішувальні, ТОА з внутрішніми джерелами теплоти. Надано класифікацію за конструктивними признаками. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Додаткова 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
4.	Тема 1.2. Теплоносії, що застосовуються на АЕС (2г). <u>Лекція 3. Теплоносії, що застосовуються на АЕС</u> Розглянуто вимоги, що ставляться до теплоносіїв. Вода, важка вода, рідкі метали, газоподібні теплоносії, органічні теплоносії їх властивості, переваги, недоліки. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Додаткова 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
5.	Тема 1.3. Конструкційні схеми парогенераторів (6г). <u>Лекція 4. Схеми ПГ, що обігріваються водою.</u> Приведено конструкційні схеми ПГ, параметри теплоносія та робочого тіла, T-Q діаграми. Розглянуто циркуляційні контури, компенсація температурних подовжень. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
6.	<u>Лекція 5. Схеми ПГ, що обігріваються газовими теплоносіями.</u> Розглянуто особливості конструкційних схем, які обумовлені застосуванням газових теплоносіїв та вплив на конструкційні рішення теплофізичних властивостей. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: принципи вибору оптимального тиску газового теплоносія.
7.	<u>Лекція 6. Схеми ПГ, що обігріваються органічними та рідкометалевими теплоносіями.</u> Розглянуто особливості конструкційних схем, які обумовлені застосуванням рідкометалевих та органічних теплоносіїв та вплив на конструкційні рішення теплофізичних властивостей. Параметри теплоносіїв, T-Q діаграми. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
8.	РОЗДІЛ 2. Конструкції парогенераторів та характеристики процесів, що в них відбуваються.

9.	<u>Лекція 7. Горизонтальний ПГ для ВВЕР.</u> Розглянуто конструкцію однокорпусного горизонтального парогенератора з U – подібними трубами. Теплообмінний пучок, колектори теплоносія, циркуляційний контур, сепараційний пристрій. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
10.	<u>Лекція 8. Вертикальний та прямоточний ПГ для ВВЕР.</u> Розглянуто вертикальний для ВВЕР, особливості такої конструкції ПГ з витю поверхнею нагріву. Теплообмінний пучок, колектори теплоносія, циркуляційний контур, сепараційний пристрій. Прямоточний ПГ для ВВЕР. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
11.	<u>Лекція 9. Конструкція прямоточного парогенератора для реактора БН-600.</u> Пояснюється конструкція прямоточного парогенератора для реактора БН-600. Принцип побудови ПГ – секційність та модульність. Розглядається будова окремих модулів. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
12.	Тема 2.2. Процеси, теплообміну в ПГ та ТО АЕС (4г). <u>Лекція 10. Конвекція, кипіння.</u> Розглядаються процеси теплообміну в ПГ та ТО АЕС наводяться формули для визначення інтенсивності теплообміну при вимушеній конвекції, кипінні та конденсації. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Додаткова 2 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
13.	<u>Лекція 11. Режим погіршеного теплообміну.</u> Пояснюються причини настання режиму з погіршеним теплообміном Наводиться значення граничного масового паровмісту. Розглянуто формули, що визначають інтенсивність теплообміну в умовах погіршеного теплообміну. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Додаткова 2 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
14.	Тема 2.3. Гідравлічні процеси в ПГ та ТО АЕС (5г). <u>Лекція 12. Гідравлічний опір при протіканні однофазного потоку.</u> Пояснюються причини виникнення втрат тиску, опір тертя, коефіцієнт тертя, формули для визначення коефіцієнту тертя за різних умов течії. Місцевий гідравлічний опір, опір в результаті прискорення потоку Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою

	комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Додаткова 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять..
15.	<u>Лекція 13. Гідравлічний опір при протіканні двофазного потоку.(3год)</u> Надається методика визначення коефіцієнта тертя для двофазного потоку. Коефіцієнт впливу структури потоку, урахування зміни паровмісту по довжині каналу. Розглянуто місцевий та нівелірний опір, втрати тиску за рахунок прискорення потоку. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Додаткова 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
16.	0, 5 МКР
17.	РОЗДІЛ 3. Розрахунок теплообмінних апаратів, компоновання теплообмінних пучків парогенераторів.
18.	Тема 3.1. Основи розрахунку теплообмінних апаратів (6г). <u>Лекція 14. Конструктивний і повірочний розрахунок. Рівняння теплового балансу.</u> Визначаються завдання конструктивного і повірочного розрахунку. Розглядається рівняння теплового балансу в диференціальній та інтегральній формі, водяний еквівалент. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Додаткова 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
19.	<u>Лекція 15. Рівняння теплопередачі.</u> Наводиться диференціальна та інтегральна форма запису рівняння теплопередачі, середній коефіцієнт теплопередачі, середній температурний напір. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Додаткова 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
20.	<u>Лекція 16. Температурний напір.</u> Наводиться аналітичне визначення середнього температурного напору при прямотечії. Середній температурний напір при протитечії. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Додаткова 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
21.	Тема 3.2. Методика розрахунку ТОА (2г). <u>Лекція 17. Методика розрахунку ТОА.</u> Розглядається загальна послідовність операцій при конструкторському розрахунку. Послідовність операцій при повірочному розрахунку. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки.

	Література: Основна: 1 Додаткова 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
22.	Тема 3.3. Конструкція теплообмінної поверхні в горизонтальному і вертикальному ПГ для ВВЕР (4г). <u>Лекція 18. Конструкція теплообмінної поверхні в горизонтальному ПГ.</u> Наводиться детальна конструкція трубного пучка. Розглядаються особливості компонування заглибленого U – подібного пучка труб, введеного в корпус ПГ за допомогою 2 – х внутрішніх колекторів. визначаються геометричні характеристики теплообмінного пучка. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
23.	<u>Лекція 19. Конструкція теплообмінної поверхні в вертикальному ПГ</u> Наводиться детальна конструкція трубного пучка, розподіл труб теплообмінної поверхні на групи шарів навивки, діаметри шарів навивки. Визначається висота першого шару навивки, кут навивки труб у різних шарах, геометричні розміри пучка труб. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
24.	Тема 3.4. Основи розрахунку на міцність елементів ПГ і ТОА (4г). <u>Лекція 20. Розрахунок на міцність циліндричних посудин.</u> Наводиться методика розрахунку товщини стінки циліндричної посудини. Розглядаються формули з визначення коефіцієнта міцності, обумовленого послабленням поодиноким отвором, послабленим рядом отворів, зміцнення штуцерами та накладками. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1,4 Додаткова 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
25.	<u>Лекція 21. Розрахунок на міцність днищ, кришок фланцевих з'єднань, трубних дощок.</u> Розглядаються конструкції плоских, еліптичних, конічних днищ (кришок), трубних дощок. Наводяться формули з розрахунку коефіцієнта міцності. Розглядається методика розрахунку геометричних параметрів фланцевих з'єднань. Надаються формули для розрахунку товщини трубних дощок. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1,4 Додаткова 1 Завдання на самостійну роботу: розрахунок засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
26.	РОЗДІЛ 4. Конструкції інших теплообмінних апаратів, що використовуються на АЕС.

27.	Тема 4.1. Сепарація пари на АЕС (4г). <u>Лекція 22. Сепарація пари в горизонтальних ПГ.</u> Розглядається призначення та принцип дії дірчатого листа. Пояснюється принцип дії 1-го ступеня - гравітаційно-осаджувальної сепарації, визначається необхідна висота парового об'єму. Розглядається 2-га ступінь – жалюзійні сепаратори. Пояснюється принцип дії жалюзійних сепараторів, наводяться конструкції. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
28.	Лекція 23. Сепарація пари в вертикальних ПГ та на АЕС з реакторами РБМК. Розглянуто вертикальні жалюзійні сепаратори, їх конструкція, осьові відцентрові сепаратори, їх конструкція та принцип дії, конструкція та принцип дії барабан-сепаратора. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
29.	Тема 4.2. Теплообмінники АЕС (4г). <u>Лекція 24. Підігрівачі низького тиску, підігрівачі високого тиску.</u> Пояснюється призначення підігрівачів, розглядаються схеми включення, особливості конструкції, вимоги до матеріалів, що використовуються при конструюванні. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Додаткова 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
30.	<u>Лекція 25. Деаератори, проміжні теплообмінники, конденсатні установки.</u> Пояснюється призначення та схема включення деаератора, конструкція та принцип дії. Розглядаються конструкції проміжних теплообмінників для реакторів БН-350 і БН-600, теплообмінники системи конденсації – градирні та конденсатори, визначаються параметри пари та конденсату. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
31.	Тема 4.3. Інші конструкції ПГ (3г). <u>Лекція 26. Інші конструкції ПГ (3г).</u> Розглядаються конструкції парогенераторів фірми «Вестінгауз» - перші та сучасні моделі, їх принцип роботи, переваги та недоліки. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою комп'ютерної техніки. Література: Основна: 1 Завдання на самостійну роботу: засвоєння матеріалу лекції, підготовка до практичних занять.
32	0,5 МКР

Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять: допомогти студентам засвоїти теоретичний матеріал,

який викладається у лекційному курсі та набути досвіду у теплових, гідравлічних та механічних розрахунках.

1.	Заняття 1. Схема алгоритму теплового розрахунку водо-водяного парогенератора АЕС. Тепловий баланс і побудова теплової діаграми. Література: [1,2,3]
2.	Заняття 2. Розрахунок поверхні нагріву випарної ділянки водо-водяного парогенератора АЕС з природною циркуляцією робочого тіла. Література: [1,2,3]
3.	Заняття 3. Розрахунок поверхні нагріву випарної ділянки водо-водяного прямоточного парогенератора АЕС. Література: [1,2,3]
4.	Заняття 4. Розрахунок поверхні нагріву економайзерної та пароперегрівальної ділянок водо-водяного парогенератора АЕС. Література: [1,2,3]
5.	Заняття 5. Гідравлічний розрахунок водо-водяного парогенератора АЕС. Визначення потужності головного циркуляційного насоса і живильного насоса. Література: [1,2,3]
6.	Заняття 6. Основні конструктивні характеристики пучка теплообмінних труб парогенераторів АЕС. Література: [1,2,3]
7.	Заняття 7. Розрахунок товщини стінки циліндричних елементів парогенераторів і теплообмінників АЕС. Література: [1,2,3,4]
8.	Заняття 8. Розрахунок на міцність еліптичних і конічних кришок корпусу і колектора. Література: [1,2,3,4]
9.	Заняття 9. Гідравлічний розрахунок водо-водяного парогенератора АЕС. Визначення потужності головного циркуляційного насоса і живильного насоса. Література: [1,2]

1. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів полягає в засвоєнні лекційного матеріалу, закріпленні його шляхом вирішення задач, підготовці до модульної контрольної роботи та до екзамену. Розподіл годин самостійної роботи за темами наведено в таблиці.

Тема 1.1. Принципові схеми ТЕС і АЕС. Парогенератори та теплообмінники АЕС, їх класифікація	8
Тема 1.2. Теплоносії, що застосовуються на АЕС	5
Тема 1.3. Конструкційні схеми парогенераторів	10
Тема 2.1. Конструкції парогенераторів	6
Тема 2.2. Процеси, теплообміну в ПГ та ТО АЕС	12
Практичні заняття	7
Тема 2.3. Гідравлічні процеси в ПГ та ТО АЕС	7
Практичні заняття	7
Модульна контрольна робота, частина 1	2
Тема 3.1. Основи розрахунку теплообмінних апаратів	7

Тема 3.2. Методика розрахунку ТОА	6
Тема 3.3. Конструкція теплообмінної поверхні в горизонтальному і вертикальному ПГ для ВВЕР	5
Тема 3.4. Основи розрахунку на міцність елементів ПГ і ТОА	12
Практичні заняття	7
Тема 4.1. Сепарація пари на АЕС	8
Практичні заняття	1
Тема 4.2. Теплообмінники АЕС	6
Тема 4.3. Інші конструкції ПГ	5
Модульна контрольна робота, частина 2	2
Екзамен	30

Політика та контроль

2. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчання проводиться у вигляді потокових лекцій з використанням комп'ютерної техніки, практичних занять з експрес-опитуванням.

- Заняття проводяться відповідно до розкладу, запізнення не допускаються. Відвідування занять є обов'язковим.
- На практичних заняттях студенти працюють самостійно, використовуючи довідкову літературу.
- Модульна контрольна робота розділена на дві частини, пишеться самостійно, користування додатковими матеріалами виключено.

Під час навчання, а особливо при проведенні контрольних заходів студенти повинні строго дотримуватись Кодексу честі, який доступний за посиланням : <https://kpi.ua/code>

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

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується зі 100 балів, з них 50 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за види робіт, надані в таблиці

Вид занять	кількість	бали		сума балів
Практичні заняття	4	Опитування	6x4=24	24
МКР 1-а частина	0,5	Написання роботи	13	26
МКР 2-а частина	0,5	Написання роботи	13	
Сума вагових балів контрольних заходів				50
Екзамен			50	100

Заохочувальні і штрафні бали: немає.

2. Критерії оцінювання.

Опитування:

- повна вичерпна відповідь 6 балів;
- вірна неповна відповідь 5 балів;
- неповна відповідь з незначними помилками 3-4 бали;
- відповідь з суттєвими помилками 1-2 бали;
- відсутня відповідь 0 балів

Модульна контрольна робота складається з двох контрольних завдань тривалістю по 0,5 годин, кожна з яких оцінюється максимально в 13 балів.

Повністю правильна відповідь на питання 11-13 балів

Правильна відповідь на питання з незначними помилками 8-10 балів.

Повна відповідь на питання із значними помилками 6-7 балів.

Неповна відповідь на питання, значні помилки 1-5 балів.

Відсутні правильні відповіді 0 балів.

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає: **$R_C = 50$ балів.**

3. На першій (8-й тиждень) та другій (14-й тиждень) атестації студент отримує «зараховано», якщо він набирає не менше половини максимально можливої кількості балів за відповідний період, тобто 8 балів на першу атестацію та 20 балів на другу.

Екзаменаційна складова шкали: **$R_E = 50$ балів.**

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить три питання. Перше і друге питання оцінюється у 17 третє – 16 балів.

Система оцінювання теоретичних питань:

- «повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 15 – 17 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 13 - 14 балів;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 10-12 балів;
- відповідь містить суттєві помилки 6-9 балів;
- незадовільна відповідь 1-5 балів;
- відсутня відповідь 0 балів.

Система оцінювання практичного питання:

- повне, безпомилкове розв'язання завдання – 11-16 балів;
- повне розв'язання завдання із несуттєвими неточностями – 7 - 10 балів;
- завдання виконане з певними недоліками – 1 - 6 балів;
- завдання не виконано – 0 балів.

Обов'язковою умовою допуску до екзамену є розв'язання всіх запланованих задач.

Рейтинг R_D студента складається з рейтингу, одержаного протягом семестру з урахуванням заохочувальних і штрафних балів R_C , і рейтингу його екзаменаційної оцінки R_E .

$$R_D = R_C + R_E$$

$R_D = 100$ 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

7. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на екзамен з кредитного модуля

1. Принципові схеми АЕС.
2. Загальні принципи генерації пари на АЕС. Циркуляційні контури.
3. Теплообмінники. Класифікація.
4. Особливості компоновання заглибного U-подібного пучка горизонтальних труб, введеного за допомогою внутрішніх колекторів.
5. Конструкції днищ і кришок ТОА.
6. Конструкції трубних дошок. Розміщення й кріплення труб.
7. Теплоносії, що застосовуються на АЕС, вимоги (ядерно-фізичні, фізико-технічні,

- теплофізичні).
8. Циліндричні посудини при конструюванні ТОА. Основи розрахунку на міцність.
 9. Конструкційні схеми ПГ, що обігріваються водою.
 10. Призначення, схема включення, конструкція проміжних СПП.
 11. Способи компенсації температурних напружень, що застосовуються при розробці ПГ АЕС.
 12. Градирні. Призначення, конструкції.
 13. Способи введення теплообмінної поверхні корпус ПГ. Переваги, недоліки.
 14. Проміжні теплообмінники триконтурних АЕС.
 15. Конструкційні схеми ПГ, що обігріваються газовими й органічними теплоносіями.
 16. ПНД. Призначення, схеми включення, особливості конструкцій.
 17. Конструкційні схеми ПГ, що обігріваються рідкометалевими теплоносіями.
 18. ПВД. Призначення, схеми включення, особливості конструкцій.
 19. Конструкція горизонтального ПГ із природною циркуляцією, що виробляє суху насичену пару (для ВВЕР).
 20. Визначення середнього температурного напору.
 21. Конструкція вертикального ПГ із природною циркуляцією, що має виту поверхню теплообміну й внутрішні колектори, що виробляє суху насичену пару (для ВВЕР).
 22. Режим погіршеного теплообміну.
 23. Конструкція прямоточного ПГ для ВВЕР.
 24. Визначення опору тертя при гідравлічному розрахунку ТОА.
 25. Виробництво перегрітої пари на АЕС із реактором типу ВВЕР.
 26. Принципи конструктивного й перевірного розрахунків ТОА.
 27. Характеристика процесів теплообміну в ПГ із реакторами типу ВВЕР, що виробляють суху насичену пару.
 28. Конденсатор-теплообмінник. Призначення, Особливості конструкції.
 29. Місцеві опори, опір внаслідок прискорення потоку, потужність, необхідна для прокачування теплоносія.
 30. Сепарація пари у вертикальних ПГ.
 31. Конденсаційна установка АЕС. Склад, схема включення.
 32. Особливості компонування витої вертикальної поверхні нагріву з використанням внутрішнього колектора.
 33. Фактори, що визначають параметри пари в конденсаторі.
 34. Сепарація пари в горизонтальних ПГ.
 35. Конструкція вертикального ПГ фірми “Вестингауз”. Переваги, недоліки.
 36. Рівняння теплового балансу й рівняння теплопередачі.
 37. Деаератори. Призначення, схеми включення, особливості конструкцій.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус)

Складено доцентом кафедри АЕ Шевелем Євгеном Вікторовичем

Ухвалено: кафедрою АЕ (протокол № 23 від 23.06. 2025 р.)

Погоджено: Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 9 від 27. 06. 2025 р.)