



Режими експлуатації атомних електричних станцій

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

| | |
|---|--|
| Рівень вищої освіти | Другий (магістерський) |
| Галузь знань | 14 Електрична інженерія |
| Спеціальність | 143 Атомна енергетика |
| Освітня програма | ОПП Атомні електричні станції |
| Статус дисципліни | Нормативна |
| Форма навчання | очна(денна)/дистанційна |
| Рік підготовки, семестр | I курс, осінній семестр |
| Обсяг дисципліни | 165 годин/5,5 кредити ЄКТС |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи | Екзамен |
| Розклад занять | rozklad.kpi.ua |
| Мова викладання | Українська |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лектор: к.т.н., ст. викладач, Бібік Тимофій Вікторович, e-mail: tymofii.bibik@gmail.com Практичні: асистент, Остапенко Іван Анатолійович, e-mail: ivan.a.ostapenko@gmail.com |
| Розміщення курсу | https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3400 |

Програма навчальної дисципліни

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

Предметом навчальної дисципліни є вивчення питань експлуатації енергоблоків атомних електричних станцій. Виходячи з того, що в Україні на сьогодні експлуатуються тільки енергоблоки АЕС з реакторами ВВЕР, то основна увага при викладенні цього модулю приділяється питанням експлуатації енергоблоків АЕС саме з водо-водяними енергетичними реакторами (ВВЕР). В навчальній дисципліні розглядається схема 1-го та 2-го контурів, будова та характеристики систем нормальної експлуатації, роботу енергоблоку як об'єкта енергосистеми та вивчення основних систем та обладнання енергоблоку АЕС з ВВЕР.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей виявляти, класифікувати і описувати ефективність систем атомних електричних станцій та їх компонентів (ФК 06), здатність враховувати правові, соціальні, екологічні, етичні, економічні та комерційні міркування, що впливають на реалізацію інженерних рішень в галузі атомної енергетики (ФК 08), здатність використовувати знання характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів у професійній діяльності в галузі атомної енергетики (ФК 13).

Предметом навчальної дисципліни є мультимедійний тренажер енергоблоку АЕС з ВВЕР «Симулятор ВВЕР-1000. Мультимедійний тренажер, розроблений міжнародною групою під егідою МАГАТЕ, с самого початку створювався безпосередньо для навчання. Тренажер дозволяє в режимі реального часу задавати або змінювати параметри енергоблоку з отриманням відповідних відгуків систем та елементів. Вважається, що користувач симулятора вже

знайомий з основними характеристиками ядерних енергетичних реакторів та характеристиками ВВЕР-1000.

Програмними результатами навчання є:

- Здійснювати розрахунки об'єктів атомно-енергетичного комплексу, виробів, процесів і систем в галузі атомної енергетики, що задовольняють конкретні технічні, економічні, законодавчі та інші вимоги; обрання і застосування адекватної методології проектування (ПРН 5).

Після вивчення дисципліни, майбутні фахівці зможуть отримати досвід використання відомого у всьому Світі інструменту професійного рівня для скінчено-елементного аналізу.

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

Дисципліна базується на знаннях, отриманих студентами при вивченні таких дисциплін, як тепломасообмін, гідрогазодинаміка, теплогідралічні процеси в енергетичних установках, математичне моделювання теплофізичних процесів, системи автоматизованого проектування та тривимірне моделювання енергетичних об'єктів. Також є базовою для підготовки фахівця за освітньою програмою «Атомні електричні станції».

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Ядерне паливо, ядерно-паливний цикл.

Тема 1.1. Ядерно-паливний цикл.

Тема 1.2. Ядерне паливо.

Тема 1.3. Поводження з ядерним паливом.

Розділ 2. Робота енергоблоку в режимі нормальної експлуатації.

Тема 2.1. Пуск енергетичного реактора.

Тема 2.2. Зміна запасу реактивності в процесі кампанії.

Тема 2.3. Маневрений режим.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Р.З. Аминов и др. АЭС с ВВЭР: Режимы, характеристики, эффективность. М.: Энергоиздат 1990 г. 264 с.
2. Л.М. Воронин. Особенности эксплуатации и ремонта АЭС. М.: Энергоиздат 1981 г., 168 с.
3. Гогштейн Д.П., Верхівкер Г.П. Аналіз теплових схем атомних електростанцій. Київ: Вища школа., 1987 р.
4. Шмелев В.Д., Драгунов Ю.Г., Денисов В.П., Васильченко И.Н. Активные зоны ВВЭР для атомных станций – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004 – 220 с.: ил.
5. Овчинников Н.А., Голубев А.И. и др. Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1979. – 300 с.
6. Широков С. В. Ядерні енергетичні реактори. К. 1997, с. 280.
7. Л. М. Уайт. Материалы ядерных энергетических установок: Пер. с англ. – М.: Атомиздат 1979, 256 стр.
8. Иванов В.А. Эксплуатация АЭС. Учебник для вузов – СПб Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отделение 1994 – 384 с., ил.
9. Саркисов А.А. Пучков В.Н. Физические основы эксплуатации ядерных паропроизводящих установок. – М.: Энергоатомиздат, 1989 – 504 с.
10. ВВЭР-1000. Симулятор реактора. МАГАТЕ. Вена 2005.
11. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Експлуатація ЯПВУ». Київ 2008.

Допоміжна література:

12. Широков С. В. *Фізика ядерних реакторів.* – Видання друге: Вища школа, 1998. – с 288.
13. *Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов.* Под редакцией д.ф.м. наук Г.А. Батя. М., Энергоиздат 1982 г., 511 стр.
14. Владимиров В.И. *Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов.* – 4-е издание перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 304 с., ил.
15. Поярков В.О., Стрижак В.І., Широков С.В. *Ядерна енергетика за і проти.* Київ, Тов. «Знання» України. 1993 р. 92 стор.
16. Сузуки Мотоо. *Моделирование поведения топлива легководного реактора в различных режимах нагружения.: монография.* Пер. с англ. С.Н. Пельх; под науч. Ред. М.В. Максимова. – Одесса: Астропринт, 2010 – 248 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Розділ 1. Ядерне паливо, ядерно-паливний цикл.

Тема 1.1. Ядерно-паливний цикл.

Лекція 1. Ядерно-паливний цикл.

Література: [12].

СРС: Класифікація РУ [6] стор. 14-23. Конспект лекцій з курсу «Ядерні енергетичні реактори».

Тема 1.2. Ядерне паливо

Лекція 2. Виробництво ядерного палива.

Література: [7] стор. 125-132

СРС: Методи збагачення природного урану. [7].

Лекція 3,4. Еволюція палива ВВЕР.

Література: [1] стор. 39-75.

СРС: Конструкція ТВЗ ВВЕР-440 та ВВЕР-1000. [6] стор. 41-47; 76-82. [4].

Лекція 5 МОКС-паливо.

Література: Матеріали Інтернет ресурсів. Бібліотека «Вернацького».

Лекція 6. Паливні цикли ВВЕР. Загальні характеристики

Література: [5] стор. 141-164.

Лекція 7. Економічні аспекти формування паливного завантаження.

Література: [2] стор. 146-158.

СРС: Ідеологія розвитку паливних циклів ВВЕР [4].

Тема 1.3. Поводження з ядерним паливом

Лекція 8. Організація робіт та поводження зі свіжим ядерним паливом. Технологія поводження зі свіжим ядерним паливом перед завантаженням в реактор.

Література: [2] стор. 47-53.

СРС: Нормативні документи, що до поводження зі свіжим ядерним паливом на АЕС України.

Необхідні нормативні документи видає викладач на лекції, та використання ресурсу [8].

Лекція 9,10. Організація робіт та поводження з відпрацьованим ядерним паливом.

Література: [2] стор. 47-53.

СРС: Нормативні документи, що до поводження з відпрацьованим ядерним паливом в Україні.

Необхідні нормативні документи видає викладач на лекції, та використання ресурсу [8].

Розділ 2. Робота енергоблоку в режимі нормальної експлуатації.

Тема 2.1. Пуск енергетичного реактора.

Лекція 11,12. Пуск реакторної установки.

Література: [5] стор. 39-63.

СРС: Фіз. Пуск реакторної установки [9] стор. 362 - 383

Лекція 13. Особливості пуску ВВЕР.

Література: [8] стор. 142-152.

СРС: Нормативні документи галузі, які регламентують процедуру пуску реакторної установки ВВЕР. Необхідні нормативні документи видає викладач на лекції, та використання ресурсу [8].

Тема 2.2. Зміна запасу реактивності в процесі кампанії.

Лекція 14. Зміна запасу реактивності в процесі роботи реакторної установки на потужності. Борне регулювання.

Лекція 15,16,17. Характер зміни концентрації борної кислоти в активній зоні ВВЕР. Використання поглиначів, що вигоряють.

Література: [12] стор. 142-152.

СРС: Вирішення задач [14] Глава 3; Глава 5.

Лекція 18. Робота енергоблоку АЕС з ВВЕР в маневреному режимі.

Література: [8] стор 276-286.

СРС: Маневрені характеристики АЕС [2] стор. 134-146. Поведінка оболонок твел при роботі в маневреному режимі [16] глава 3.

Лабораторні заняття

Виконуються три лабораторні роботи з використанням мультимедійного тренажера.

- Л-1 Зміна аксіального офсету в режимі роботи енергоблоку на змінній потужності.
- Л-2 Режими роботи компенсатору тиску за нормальної та відключеної подачі борної кислоти, нормальному та несправному автоматичному регуляторі потужності.
- Л-3 Підключення ГЦН що раніше не працював з порушенням регламенту.

6. Самостійна робота студента

| № з/п | Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання | Кількість годин СРС |
|-------|--|---------------------|
| 1. | Програма розвитку атомної енергетики України до 2030 року. | 3 |
| 2. | Створення ядерно-паливного циклу в Україні. | 3 |
| 3. | Виробництво ядерного палива. | 3 |
| 4. | Параметри структури активних зон: | 3 |
| 5. | Коефіцієнт використання встановленої потужності для різних типів реакторних установок. | 3 |
| 6. | «Сухе» зберігання відпрацьованого ядерного палива. | 3 |
| 7. | «Мокре» зберігання відпрацьованого ядерного палива. | 3 |
| 8. | Обґрунтування безпеки сховищ з відпрацьованим ядерним паливом. | 3 |
| 9. | Особливості модернізації активної зони ВВЕР для роботи в маневреному режимі. | 3 |
| 10 | Робота енергоблоку PWR в маневреному режимі. | 3 |

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог до студентів:

- **правила відвідування занять** – відвідування занять усіх видів (лекцій та практичних занять) є обов'язковим 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 захисту звіту з практичних робіт** – викладач особисто спілкується зі студентом та задає теоретичні питання за тематикою роботи та отриманими результатами;
- **правила призначення заохочувальних та штрафних балів** – заохочувальні бали передбачені за академічну активність на лекційних заняттях, штрафні бали нараховуються при виявленні фактів порушення правил доброчесності при складанні контрольних та практичних робіт і можуть накладатися у розмірі оцінки передбаченої за конкретну роботу;
- **політика дедлайнів та перескладань:**
 - 1) перескладання заліку здійснюються за графіком, встановленим на рівні університету;
 - 2) переписування модульних контрольних робіт не передбачено;
 - 3) захист звітів з практичних робіт відбувається на наступному занятті після вивчення теми даного практичного заняття. Всі проблемні питання з вирішуються на аудиторних практичних заняттях 7-8. При значних заборгованостях з оформлення протоколів, їх здачі і захистів робіт, студенти можуть бути недопущені до семестрового контролю і не отримати позитивну оцінку.
- **політика щодо академічної доброчесності** – студенти зобов'язані дотримуватись положень Кодексу честі та вимог академічної доброчесності під час освітнього процесу.

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

Система оцінки успішності за видами занять і завдань з кредитного модуля:

| | кількість | бали | | сума балів |
|---|-----------|----------------------|--------|------------|
| | | | | |
| Лабораторні заняття | 16 | відповіді на занятті | 10 | 17 |
| | | СРС | 7 | |
| Реферат | 1 | виконання завдання | 10 | 15 |
| | | захист | 5 | |
| Лекційна частина | 16 | СРС | 0,5×16 | 8 |
| Модульна контрольна робота | 1 | дві частини МКР | 5×2 | 10 |
| Сума вагових балів контрольних заходів R_c | | | | 50 |

Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.

1. Лабораторне заняття (з розрахунку чотири питання по 2,5 бали, всього 10 балів):

- «відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 9...10 балів;
- «добре», глибоке розкриття питань – 7...8 балів;
- «задовільно», не достатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 4...6 балів.

2. Виконання самостійної роботи.

Лекційний курс та практичні завдання (за кожне завдання 0,5 бал, всього 8 балів):

- «відмінно», творчий підхід до виконання завдання – 7...8 балів;

- «добре», виконання завдання – 5...6 балів;
- «задовільно», виконання завдання з певними недоліками – 1... 4 балів;
- «незадовільно», завдання не виконано 0 балів.

3. Індивідуальне завдання: реферат

Виконання індивідуального завдання (10 балів):

- «відмінно», повне розкриття теми, творчий підхід до виконання завдання – 10 балів;
- «добре», повне розкриття теми – 7...9 балів;
- «задовільно», розкриття теми з певними недоліками – 4... 6 балів;
- «незадовільно», тему не розкрито 0 балів.

Захист реферату (5 балів):

- «відмінно», повне розкриття питань, володіння матеріалом, обґрунтовані відповіді на запитання, оформлення роботи належним чином – 5 балів;
- «добре», розкриття питань, достатньо повні відповіді (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями, оформлення роботи належним чином – 3...4 бали;
- «задовільно», не повне розкриття питань, неповні відповіді (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки, оформлення роботи належним чином – 1...2 бали;
- «не зараховано», незадовільні відповіді, або не поданий до захисту матеріал, оформлення роботи не належним чином (не відповідає вимогам) – 0 балів.

4. Модульна контрольна робота (дві частини по 5 балів, всього 10 балів):

- «відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 5 балів;
- «добре», глибоке розкриття питань – 3...4 бали;
- «задовільно», не достатньо повне розкриття питань – 2 бали.
- «незадовільно», питання не розкриті – 0 балів.

За кожний тиждень запізнення з поданням виконаного завдання на СРС, реферат чи захисту реферату від встановленого терміну оцінка знижується на один бал.

Заохочувальні і штрафні бали:

| | бали |
|---|-----------|
| 1. Несвоєчасне виконання завдання СРС, реферату | -1 |
| 2. Захист реферату пізніше від встановленого терміну | -3 |
| 3. Відсутність на лекції або на лабораторних заняттях без поважних причин | -1 |
| 4. Ведення конспекту лекцій | 1...5 |
| Сума заохочувальних і штрафних балів R_S | 10 |

Максимальна сума балів стартової складової складає 50. Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист реферату та стартовий рейтинг не менше 30 балів.

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, а також кількість стартових балів не менше 33. 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_D – допусковий бал до екзамену

R_c – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру

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

На екзамені студенти виконують екзаменаційну роботу. Кожне завдання містить три теоретичних питання. Перелік питань наведений у додатку до робочої навчальної програми дисципліни. Перші два теоретичних питання оцінюються по 15 балів, а третє – 20 балів.

Додаткове питання з тем лекційного курсу та лабораторних занять отримують студенти, які не брали участі у роботі певного практичного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на 4 бали.

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- 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 (15...17) балів;
- неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 7...9 (11...14) балів;
- незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше 6 (10) балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

| <i>Кількість балів</i> | <i>Оцінка</i> |
|---------------------------|---------------|
| 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 |

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

- 1 Принципова схема реакторної установки з реакторами типу ВВЕР.
- 2 Основні відмінності між реакторними установками ВВЕР-440 та ВВЕР-1000.
- 3 Формула 4-х співмножників, визначення коефіцієнтів, що входять в формулу.
- 4 Ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів і коефіцієнт розмноження нейтронів в нескінченному середовищі. У чому їхня відмінність?
- 5 Склад палива реактора ВВЕР.
- 6 Ланцюгова реакція поділу ядерного палива.
- 7 Радіоактивність. Види радіоактивного розпаду. Період радіоактивного розпаду.
- 8 Основні системи безпеки реакторної установки з реакторами типу ВВЕР.
- 9 Система фізичних бар'єрів на шляху поширення іонізуючого випромінювання і радіоактивних речовин у навколишнє середовище.
- 10 Склад активної зони реактора ВВЕР.
- 11 Ядерне паливо.
- 12 Сповільнювач.
- 13 Теплоносій.

- 14 Основні параметри реакторної установки ВВЕР-1000.
- 15 Яким чином відбувається отримання електричної енергії на атомній станції?
- 16 Відбивач в ядерному реакторі. Для чого він призначений?
- 17 Період реактора, період подвоєння потужності.
- 18 Миттєві та запізнілі нейтрони. Роль запізнілих нейтронів.
- 19 Джерела нейтронів в підкритичному реакторі. Пуск ядерного реактора.
- 20 Вигорання ядерного палива.
- 21 Шлакування ядерного палива.
- 22 Отруєння ядерного реактора.
- 23 Вигоряючий поглинач. Типи вигоряючих поглиначів, які застосовуються на РУ з ВВЕР.
- 24 Засоби впливу на реактивність в ядерних реакторах типу ВВЕР.
- 25 Відмінність гермозони реактора ВВЕР-440 від гермооб'єму реактора ВВЕР-1000.
- 26 Реактор: призначення, склад і принцип роботи.
- 27 ГЦН: призначення, склад і принцип роботи.
- 28 ГЗЗ: призначення, склад і принцип роботи.
- 29 Парогенератор: призначення, склад і принцип роботи.
- 30 КТ: призначення, склад і принцип роботи.
- 31 ГЦТ: призначення і склад.
- 32 Пояснити класифікацію насосів.
- 33 Пояснити, що таке гідравлічний удар.
- 34 Основні відомості про насоси, які застосовуються в теплотехніці.
- 35 Намалювати схему насоса.
- 36 Описати принцип роботи насосів.
- 37 Пояснити, що таке "зрив" і "запарювання" насоса.
- 38 Описати конструкцію і принцип дії ежекторної установки.
- 39 Назвати призначення і описати принцип дії трансформаторів.
- 40 Пояснити принцип вимірювання температури, тиску, рівня та витрати.
- 41 Перерахувати види енергетичної арматури по функціональному призначенню.
- 42 Назвати призначення, описати конструкцію, принцип дії запірної, дросельно-регулюючої, захисно-запобіжної арматури.
- 43 Намалювати принципову теплову схему другого контуру АЕС.
- 44 Назвати призначення турбіни.
- 45 Пояснити принцип роботи турбіни.
- 46 Перерахувати типи насосного устаткування, яке застосовується в другому контурі АЕС.
- 47 Принцип роботи підшипників ковзання.
- 48 Режими нормальної експлуатації. Визначення. Перелік режимів.
- 49 Призначення і опис ІЗП ПГ.
- 50 Призначення і опис ШЗВК.
- 51 Призначення і опис ШРУ-А.

- 52 Призначення і опис ШРУ-К.
- 53 Призначення і опис ШРУ-ВП.
- 54 Призначення і опис регуляторів живлення ПГ і продуктивності ТЖН.
- 55 Основні регулятори: АРП.
- 56 Основні регулятори РОП.
- 57 Регулятори тиску в першому контурі YPC01, YPC05 і YPC04.
- 58 Регулятори рівня в КТ - YPC02, YPC03.
- 59 Регулятори системи продувки першого контуру - ТКС01, ТКС02.
- 60 Регулятори перепаду тиску між напірним трубопроводом підживлювальних насосів і тиском 1 контуру - ТКС21, ТКС22, ТКС23.
- 61 Регулятори витрати підживлювального насоса - ТКС24, ТКС25, ТКС26.
- 62 Регулятори перепаду тиску на ущільненнях ГЦН - YDC11, YDC12, YDC13, YDC14.
- 63 Які роботи включає в себе етап ПНР «Промивання й функціональне випробування систем»?
- 64 Мета і етапи ПНР перед першим пуском блоку.
- 65 Перелік пуско-налагоджувальних робіт на етапі гарячої обкатки.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено ст. викладачем каф. АЕС і ІТФ, к.т.н., Бібіком Тимофієм Вікторовичем

Ухвалено кафедрою Атомних електричних станцій і інженерної теплофізики (протокол № __ від _____)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол № __ від _____)

¹ Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.