



Контроль та регулювання паротурбінних установок електростанцій

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>144 «Теплоенергетика»</i>
Освітня програма	<i>ОПП «Теплоенергетика та теплоенергетичні установки електростанцій»</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ECTS, 120 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Практичні заняття, розрахункова робота, модульна контрольна робота, залік</i>
Розклад занять	<i>Згідно rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н. Пешко Віталій Анатолійович, 067-176-5471, vapeshko@gmail.com</i> Практичні / Семінарські: <i>к.т.н. Грановська Олена Олександрівна, 096-018-0170, granov1810@gmail.com</i>
Розміщення курсу	Електронний кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського

Програма навчальної дисципліни

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

Підтримка та контрольована зміна регульованих параметрів паротурбінних установок є запорукою забезпечення якості електричної енергії в Об'єднаній енергетичній системі України. Знання основних закономірностей та особливостей контролю і регулювання паротурбінних установок є актуальними для бакалаврів спеціальності 144 «Теплоенергетика».

В дисципліні «Контроль та регулювання паротурбінних установок атомних електричних станцій» розглядаються загальні принципи регулювання паротурбінних установок (ПТУ); конструктивні та функціональні особливості паророзподільчих органів турбін; елементи систем непрямого регулювання; статична характеристика регулювання; перехідні процеси у системах автоматичного регулювання; усталеність систем автоматичного регулювання.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів наступних компетентностей:

- ЗК 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;*
- ФК 2. Здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння інших інженерних дисциплін для вирішення професійних проблем.;*
- ФК 9. Здатність розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої певної мети з урахуванням всіх аспектів вирішуваної проблеми, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію теплоенергетичного обладнання.;*

- ФК 11. Здатність забезпечувати якість в теплоенергетичній галузі;
- ФК 14. Здатність розробляти і реалізовувати енергозберігаючі заходи при проектуванні та експлуатації теплоенергетичного обладнання, аналізувати схеми теплоенергетичних і теплотехнологічних установок з урахуванням вимог безпеки і сучасних тенденцій розвитку енергетики в залежності від призначення і типу палива, яке використовується.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

- ПРН 4. Аналізувати і використовувати сучасні інженерні технології, процеси, системи і обладнання у сфері теплоенергетики;
- ПРН 6. Виявляти, формулювати і вирішувати інженерні завдання у теплоенергетиці; розуміти важливість нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) обмежень;
- ПРН 10. Знати і розуміти технічні стандарти і правила техніки безпеки у сфері теплоенергетики;
- ПРН 21. Вміти вирішувати завдання, які потребують комплексного підходу до реалізації інженерних проектів і виконувати дослідження відповідно до освітньої програми.

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

Вимоги до початку вивчення – знання основних процесів енергетичної конверсії на ТЕС та АЕС, конструкції та особливостей функціонування парових турбін, базові знання з експлуатації енергетичного устаткування.

Дисципліна «Контроль та регулювання паротурбінних установок електростанцій» забезпечується освітніми компонентами: «Турбіни теплових та атомних електростанцій», «Теплові та атомні електростанції та установки».

Дисципліна «Контроль та регулювання паротурбінних установок електростанцій» забезпечує освітні компоненти: «Надійність енергетичного обладнання», «Дипломне проектування».

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Статика регулювання паротурбінних установок електричних станцій.

Тема 1. Загальні принципи регулювання паротурбінних установок.

Тема 2. Статика регулювання. Паророзподільні органи турбоустановок ТЕС і АЕС.

Тема 3. Регулятори швидкості та тиску.

Тема 4. Елементи систем непрямого регулювання.

Тема 5. Статична характеристика регулювання.

Розділ 2. Динаміка регулювання паротурбінних установок електричних станцій.

Тема 1. Перехідні процеси у системах автоматичного регулювання.

Тема 2. Усталеність систем автоматичного регулювання.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Паровые и газовые турбины для электростанций / Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д. – Москва: МЭИ, 2016. – 557 с. – ISBN: 978-5-383-01025-9.

2. Розрахунок механо-гідравлічної системи регулювання. Методичні вказівки до практичних занять по курсу "Контроль та регулювання паротурбінних установок" / О. Ю. Черноусенко. – Київ: ІВЦ „Політехніка», 2003р. – 24 с.

3. Пускові режими роботи парових турбін енергоблоків ТЕС / Мисак Й. С., Галянчук І. Р., Дворовенко В. М. – НВФ "Українські технології". – Львів, 2008. – 265 с.

4. Зупинка парових турбін енергоблоків ТЕС / Мисак Й. С., Кравець Т. Ю., Дворовенко В. М. – НВФ "Українські технології". – Львів, 2011. – 194 с.

5. Автоматическое регулирование паровых турбин: учебное пособие / В. А. Фомин. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 404 с.

Допоміжна література

1. Національна енергетична компанія «Укренерго» [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Київ : НЕК «Укренерго», 2020. – Режим доступу: ua.energy (дата звернення 10.06.2021) – Назва з екрана.

2. Турбинные установки ТЭС и АЭС. Устройство, эксплуатация и ремонт: учебное пособие / Н. В. Зарубина, Н. Б. Карницкий. – Минск: Вышэйшая школа, 2020. – 431 с. – ISBN 978-985-06-3220-3.

3. Регулирование и маслоснабжение паровых турбин: настоящее и ближайшая перспектива / М. С. Фрагин. – Санкт-Петербург: Энерготех, 2005. – 248 с. – ISBN 5-93364-007-7.

4. Атомные электрические станции. Ч. 1: учеб. пособие / В. С. Киров. – Одес. нац. политехн. ун-т. – Одесса, 2018. – 201 с.

5. Атомные электрические станции. Ч. 2: учеб. пособие / В. С. Киров. – Одес. нац. политехн. ун-т. – Одесса, 2018. – 203 с.

6. Автоматическое регулирование энергоустановок / А. Е. Булкин. – Москва: МЭИ, 2016. – 508 с. – ISBN 978-5-383-01022-8.

7. Динамика и прочность турбомашин: учебник для вузов / А. Г. Костюк. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: МЭИ, 2007. – 477 с. – ISBN 978-5-383-01427-1.

8. Конструкція та призначення основних елементів парових турбін ТЕС та АЕС: Ч. 1, Статор Навчальний посібник для студентів теплоенергетичного факультету / О. Ю. Черноусенко, Л. С. Бутовський, О. О. Грановська, Р. І. Гудов // Електронне навчальне видання. Гриф НМУ № Е 10/11-081 від 02.12.2010 р., протокол № 3, 2010 – 150 с.

9. Конструкція та призначення основних елементів парових турбін ТЕС та АЕС: Ч. 2, Ротор Навчальний посібник для студентів теплоенергетичного факультету / О. Ю. Черноусенко, Л. С. Бутовський, О. О. Грановська, Т. В. Нікуленкова // Електронне навчальне видання. Гриф НМУ № Е 12/13-042 від 18.10.2012 р., протокол № 2, 2012 – 85 с.

10. Розрахунок систем автоматичного регулювання ПТУ. Методичні вказівки до розрахункової роботи по курсу "Контроль та регулювання паротурбінних установок" для студентів спеціальності «Атомні електричні станції» денної форми навчання / О. Ю. Черноусенко // Електронне навчальне видання. Гриф НМУ № Е 12/13–1/1 від 13.11.2012 р., протокол № 4, 2012. – 48 с.

11. Бойковий автомат безпеки Методичні вказівки до лабораторних робіт / Черноусенко О. Ю., Бутовський Л. С., Грановська О. О., Пешко В. А. – Київ: НТУУ «КПІ», № протокола Вченої ради ТЕФ 9; дата отримання грифу 23.03.2015. – 22 с.

12. Стрічково-пружинний регулятор швидкості» Методичні вказівки до лабораторних робіт / Черноусенко О.Ю. Пешко В.А. – Київ: НТУУ «КПІ», Гриф ТЕФ НММ № 15/16-72Е; № протокола Ради 10; дата отримання грифу 25.04.2016. – 21 с.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Загальні принципи регулювання паротурбінних установок. Задачі систем автоматичного управління. <u>Завдання на СРС. Задачі систем автоматичного регулювання.</u>
2	Принцип дії системи автоматичного регулювання турбін. Силове поле турбомашин. <u>Завдання на СРС. Задачі систем автоматичного регулювання.</u>
3	Термодинаміка регулювання. Приклад функціональної схеми прямого регулювання. <u>Завдання на СРС. Турбіни ТЕС і АЕС як об'єкти регулювання.</u>
4	Технологічні та економічні передумови застосування систем непрямого регулювання турбін. Функціональні системи схем непрямого регулювання. <u>Завдання на СРС. Принципова схема непрямого регулювання турбіни К-50-90.</u>
5	Статика регулювання. Паророзподільні органи турбоустановок ТЕС і АЕС. Розрахунок паророзподілення ТУ. <u>Завдання на СРС. Соплове паророзподілення парових турбін ТЕС і АЕС.</u>
6	Термодинамічний розрахунок елементів паророзподілення парових турбоустановок ТЕС і АЕС. <u>Завдання на СРС. Дросельне паророзподілення парових турбін ТЕС і АЕС.</u>
7	Розрахунок прохідних перетинів регулюючих клапанів. Статична характеристика паророзподільних органів. Зусилля у клапані. <u>Завдання на СРС. Конструкція стопорних клапанів парових турбін ТЕС і АЕС.</u>
8	Механічні зусилля у клапані. Розрахунок допустимих зусиль штоків. Фізико-механічні властивості легированих сталей для клапанів парових турбін. <u>Завдання на СРС. Конструкція регулюючих клапанів парових турбін ТЕС і АЕС.</u>
9	Регулятори швидкості та тиску. Статична характеристика регуляторів швидкості. <u>Завдання на СРС. Безшарнірні регулятори швидкості.</u>
10	Нерівномірність регулювання. Невідчутність регулятора. Коефіцієнт поновлення регулятора. <u>Завдання на СРС. Регулятори тиску.</u>
11	Елементи систем непрямого регулювання. Сервомотори односторонньої дії. <u>Завдання на СРС. Двоступенева система посилення. Шляхи вдосконалення конструкцій сервомоторів.</u>
12	Сервомотори двосторонньої дії. Сервомотори односторонньої дії з дросельним золотником. <u>Завдання на СРС. Елементи систем масло постачання. Масляні насоси та баки.</u>
13	Статична характеристика регулювання. Первинне регулювання частоти в енергомережі. <u>Завдання на СРС. Статична характеристика регулювання енергоблоків ТЕС і АЕС.</u>
14	Механізм управління турбіною (МУТ). Вторинне регулювання частоти в енергомережі. <u>Завдання на СРС. Принципові схеми регулювання енергоблоків ТЕС і АЕС.</u>
15	Засоби зміни величини параметру, що регулюється. Паралельна робота турбоагрегатів в мережі та регулювання частоти мережі. <u>Завдання на СРС. Гідравлічне регулювання турбін насиченої пари. Система захисту турбіни. Електрогідравлічне регулювання турбін насиченої пари.</u>
16	Перехідні процеси в системах автоматичного регулювання. Динаміка регулювання турбоустановок ТЕС і АЕС. Диференційні рівняння руху основних елементів САР. Рівняння руху ротору. Рівняння руху регулятора.

	<u>Завдання на СРС. Рівняння руху сервомотору та золотнику. Рівняння руху ємності.</u>
17	Усталеність систем автоматичного регулювання. Описання САР. Характеристичний поліном. Передатна функція ланки. <u>Завдання на СРС. Дослідження на усталеність систем прямого регулювання. Вплив фактору саморегулювання.</u>
18	Передатна функція розімкненої та замкнутої САР. Необхідні та достатні умови усталеності систем регулювання. Критерії усталеності систем регулювання. <u>Завдання на СРС. Дослідження на усталеність систем непрямого регулювання. Динамічні процеси при скиданні навантаження.</u>

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Статика регулювання. Паророзподільні органи ТУ АЕС. Розрахунок паророзподільних та регулюючих клапанів для дросельного паророзподілення. <u>Завдання на СРС. Розрахунок паророзподільних та регулюючих клапанів для соплового паророзподілення ТЕС.</u>
2	Розрахунок паророзподільних та регулюючих клапанів для соплового паророзподілення. <u>Завдання на СРС. Розрахунок паророзподільних та регулюючих клапанів для соплового паророзподілення ТЕС.</u>
3	Статика регулювання. Вибір номінальних розмірів клапанів. <u>Завдання на СРС. Розрахунок залежності висоти підйому клапана функції витрати пари крізь нього.</u>
4	Статична характеристика регулюючих клапанів. <u>Завдання на СРС. Розрахунок залежності висоти підйому клапана функції витрати пари крізь нього.</u>
5	Статика регулювання. Зусилля на регулюючі клапани. <u>Завдання на СРС. Силове поле турбомашин.</u>
6	Регулятори швидкості. Статична характеристика регулятора швидкості. <u>Завдання на СРС. Статична характеристика гідравлічного регулятора швидкості.</u>
7	Регулятори тиску. Статична характеристика регулятора швидкості. <u>Завдання на СРС. Статична характеристика поршневого регулятора тиску.</u>
8	Елементи систем непрямого регулювання. Розрахунок зусилля та об'єму сервомотору. <u>Завдання на СРС. Вибір сервомотору.</u>
9	Статична характеристика регулювання для одноступеневої системи посилення. <u>Завдання на СРС. Статична характеристика регулювання для двоступеневої системи посилення гідравлічного типу.</u>
10	Статична характеристика регулювання для двоступеневої системи посилення. <u>Завдання на СРС. Статична характеристика регулювання для двоступеневої системи посилення електрогідравлічного типу.</u>
11	Перехідні процеси в системах автоматичного регулювання. Диференціальні рівняння руху основних елементів САР. <u>Завдання на СРС. Дослідження на усталеність системи прямого регулювання.</u>
12	Дослідження на усталеність одноступеневої системи непрямого регулювання. <u>Завдання на СРС. Дослідження на усталеність двоступеневої системи непрямого регулювання.</u>
13	Динамічна характеристика регулювання для одноступеневої системи посилення. <u>Завдання на СРС. Динамічна характеристика регулювання для одноступеневої системи посилення.</u>

6. Самостійна робота студента/аспіранта

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання
1	Задачі систем автоматичного регулювання. Турбіна АЕС як об'єкт регулювання.
2	Соплове та дросельне паророзподілення парових турбін АЕС. Конструкція стопорних та регулюючих клапанів парових турбін АЕС.
4	Безшарнірні регулятори швидкості. Регулятори тиску.
5	Двоступенева система посилення. Шляхи вдосконалення конструкцій сервомоторів. Елементи систем масло постачання. Масляні насоси та баки.
6	Статична характеристика та принципові схеми регулювання енергоблоків АЕС. Гідравлічне регулювання турбін насиченої пари. Система захисту турбіни. Електрогідравлічне регулювання турбін насиченої пари.
7	Диференційне рівняння руху сервомотору та золотнику.
8	Диференційне рівняння руху ємності.

В дисципліні "Контроль та регулювання паротурбінних установок електростанцій" передбачено індивідуальне завдання у вигляді розрахункової роботи. Метою виконання розрахункової роботи є поглиблення знань в області регулювання паротурбінних установок, шляхом реального розрахунку механічної гідравлічної САР.

Робота містить пояснювальну записку, яка має обсяг 15-20 сторінок з рисунками та схемами. Приблизний зміст пояснювальної записки виглядає наступним чином:

Зміст.

Вступ.

Перелік скорочень.

1. Розрахунок паророзподільчих органів.

1.1. Описання системи дросельного паророзподілення та автоматичного регулювання турбіни.

1.2. Вхідні дані.

1.3. Розрахунок тиску за дросельним клапаном.

1.4. Послідовність розрахунку дросельного паророзподілення на змінних режимах роботи АЕС.

2. Вибір номінальних розмірів клапанів і побудова залежності висоти підйому клапану від витрати пари крізь нього.

2.1. Вибір номінальних розмірів клапанів

2.2. Визначення залежності висоти підйому клапану від витрати пари крізь нього.

3. Визначення зусиль на дросельних клапанах і вибір сервомотору.

3.1. Зусилля на дросельних клапанах.

3.2. Вибір сервомотору.

4. Статична характеристика регулювання.

5. Дослідження системи регулювання на сталість.

5.1. Вибір системи регулювання конденсаційної турбіни

5.2. Диференційні рівняння руху складових системи автоматичного регулювання.

5.3. Будування діаграми процесу регулювання.

Висновки.

Перелік посилань.

Вхідними даними для розрахунку системи паророзподілення парової турбіни є: тип турбіни та її потужність N (кВт); частота обертання ротору n (об/хв); тиск перед стопорним клапаном P_0 (МПа); температура гострої пари T_0 (°C); тиск перед останнім ступенем P_z (МПа); тиск в сепараторі-пароперегрівачі $P_{сп}$ (МПа); тиск в конденсаторі P_k (МПа); витрата пари крізь турбіну на номінальному режимі G_{max} (кг/с); нерівномірність регулювання δ (%); максимальне переміщення муфти регулятора Z_{max} (мм); початкове положення муфти регулятора Z_0 (мм); повний робочий хід поршня сервомотору m_0 (мм); повний час турбіни T_ϕ (с); час сервомотору

першої ланки посилення T_1 (с); найбільше підвищення числа обертів турбіни при скиданні повного навантаження $\psi_{\max}$ (%).

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Вимоги викладача до студентів:

- Відвідувати лекційні та практичні заняття;
- Виконувати завдання, поставлені на практичних роботах, і вчасно їх здавати;
- Неохайне виконання розрахункової роботи зменшує оцінку за захист на 2 бали;
- Максимальна кількість балів при невчасному захисті розрахункової роботи, без поважних причин, зменшується до 15;
- Максимальна кількість балів при невчасному складанні модульної контрольної роботи, без поважних причин, зменшується до 20;
- За ведення конспекту лекцій нараховуються додаткові 1-5 балів, однак сумарний стартовий рейтинг не може бути більше 60.

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

Поточний контроль: виконання завдань на практичних заняттях, здача етапів та захист розрахункової роботи, модульна контрольна робота.

Календарний контроль: умовою отримання позитивної оцінки під час календарного контролю є здача всіх заданих етапів розрахункової роботи.

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: здача модульної контрольної роботи, захист розрахункової роботи та семестровий стартовий рейтинг $R_c \geq 30$.

Вид поточного контролю	кількість	бали		сума балів
Практичні заняття	10	відповіді на занятті	1	10
Розрахункова робота	5 етапів	виконання	1	20
		захист	3	
МКР	1		30	30
Сума вагових балів контрольних заходів				60

Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду поточного контролю.

1. Модульна контрольна робота (30 балів)

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 30-26 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 25-16 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 15-6 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 5-0 балів.

2. Розрахункова робота (з розрахунку виконання 5 завдань РР по 1 балу та захисту РР 15 балів).

Виконання завдань РР:

- «відмінно», творче виконання завдання – 5 балів;
- «добре», достатньо повно виконане завдання, або повно виконане завдання з незначними неточностями – 4-3 балів;
- «задовільно», не достатньо повно виконане завдання, має незначні помилки – 2-1 бали.

Захист РР:

- «відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 15-13 балів;
- «добре», глибоке розкриття питань – 12-7 балів;
- «задовільно», недостатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 6-1 бал.

Максимальна сума балів стартової складової складає 60. Необхідною умовою допуску до заліку є позитивна оцінка з виконання всіх завдань, захист розрахункової роботи та стартовий рейтинг не менше 30 балів. Кожне залікове завдання містить два теоретичних питання (10 балів) і одну задачу (20 балів).

Кожне питання залікової роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

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

Сума стартових балів і балів за екзаменаційну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

$R_D = R_C + R_E$	Оцінка ECTS
$95 \leq R_D \leq 100$	A - відмінно
$85 \leq R_D \leq 94$	B – дуже добре
$75 \leq R_D \leq 84$	C - добре
$65 \leq R_D \leq 74$	D - задовільно
$60 \leq R_D \leq 64$	E - достатньо
$R_D \leq 59$	F_X - незадовільно
Не здано МКР, не зараховано РР, або $R_C < 30$	F – незадовільно (потрібна додаткова робота)

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом, канд. техн. наук, Пешком Віталієм Анатолійовичем

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

Погоджено Методичною радою теплоенергетичного факультету (протокол № 11 від 24.06.2021)