



Контроль та регулювання паротурбінних установок атомних електричних станцій

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>143 Атомна енергетика</i>
Освітня програма	<i>ОПП Атомні електричні станції</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3,5 кредитів ECTS / 105 годин, 27 годин лекцій, 27 годин практичних занять, 54 години СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/розрахункова робота, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н. Пешко Віталій Анатолійович, vapeshko@gmail.com Практичні / Семінарські: Беднарська Інна Станіславівна, innabednarska1@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>Електронний кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>

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 магістрів спеціальності 143 «Атомна енергетика».

В дисципліні «Контроль та регулювання паротурбінних установок атомних електричних станцій» розглядаються загальні принципи регулювання паротурбінних установок (ПТУ); конструктивні та функціональні особливості паророзподільних 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 є формування у студентів наступних фахових здатностей (компетентностей):

1. Здатність застосовувати отримані спеціалізовані концептуальні знання та навички при проектуванні та експлуатації обладнання та систем (ФК03).
2. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для моделювання систем та процесів (ФК04);

3. Здатність демонструвати знання характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів в галузі атомної енергетики, умов їх використання та відповідних обмежень (ФК 08);
4. Здатність приймати ефективні рішення з проектування і експлуатації систем та обладнання реакторних установок з урахуванням вимог щодо якості, екологічності, надійності, конкурентоздатності та охорони праці (ФК 11);
5. Здатність застосовувати отримані спеціальні знання та навички для надійної і безпечної експлуатації АЕС (ФК 13).

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

1. Демонструвати спеціалізовані концептуальні знання з атомної енергетики, набуті у процесі навчання та/або професійної діяльності, у тому числі знання і розуміння новітніх досягнень, які забезпечують здатність до інноваційної та дослідницької діяльності (ПРН 02);
2. Застосовувати отримані знання для надійної нормальної експлуатації АЕС та переводу реакторної установки у контрольований безпечний стан в аварійних режимах (ПРН 16).

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 АЕС, конструкції та особливостей функціонування парових турбін, базові знання з експлуатації енергетичного устаткування.

Дисципліна «Контроль та регулювання паротурбінних установок атомних електричних станцій» забезпечується освітніми компонентами: «Теорія та системи автоматичного управління атомних електричних станцій».

Дисципліна «Контроль та регулювання паротурбінних установок атомних електричних станцій» забезпечує освітні компоненти: «Режими експлуатації атомних електричних станцій», «Виконання магістерської дисертації».

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Енергетичні системи та робота паротурбінних установок в енергосистемах

Тема 1.1. Енергосистема України та Європи. Ринки електричної енергії.

Тема 1.2. Режими роботи паротурбінних установок в енергосистемі.

Розділ 2. Статика регулювання паротурбінних установок АЕС

Тема 1. Загальні принципи регулювання ПТУ.

Тема 2. Статика регулювання. Паророзподільні органи ТУ АЕС.

Тема 3. Регулятори швидкості та елементи систем непрямого регулювання.

Тема 4. Статична характеристика регулювання та механізми управління.

Тема 5. Паралельна робота турбоустановок в енергосистемі.

Розділ 3. Динаміка регулювання паротурбінних установок АЕС

Тема 3.1. Перехідні процеси у системах автоматичного регулювання.

Тема 3.2. Стійкість систем автоматичного регулювання.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література

1. Контроль та регулювання паротурбінних установок атомних електричних станцій. Конспект лекцій. Уклад: О.Ю. Черноусенко. – Електронне навчальне видання. – К. : НТУУ «КПІ», 2016. – 143 с. Гриф ТЕФ НТУУ «КПІ» НММ № 15 /16 – 73Е; Протокол Ради ТЕФ № 10; дата отримання грифу 25.04.2016.

2. 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 Уклад: О.Ю. Черноусенко. – Електронне навчальне видання. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 48 с. Гриф НМУ № Е 12/13–1/1 від 13.11.2012 р., протокол № 4.

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.

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література

1. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге видання, перероблене і доповнене / Попович М. Г., Ковальчук О. В. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.

2. Національна енергетична компанія «Укренерго» [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Київ : НЕК «Укренерго», 2020. – Режим доступу: ua.energy (дата звернення 10.06.2022) – Назва з екрана.

3. European Network of Transmission System Operators for Electricity [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – ENTSO-E, 2009-2022. – Режим доступу: entsoe.eu (дата звернення 10.06.2022) – Назва з екрана.

4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність // Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р – К.: Міністерство енергетики України. – 2017. – 66 с.

5. Звіт з відповідності (достатності) генеруючих потужностей – 2021. Затверджена постановою НКРЕКП від 20.04.2022 № 394 / Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2021. – 106 с.

6. 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.

7. 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.

8. Бойковий автомат безпеки. Методичні вказівки до лабораторних робіт / Черноусенко О.Ю., Бутовський Л.С., Грановська О.О., Пешко В. А. – Електронне навчальне видання. – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 26 с. Гриф ТЕФ НТУУ «КПІ» НММ № 15/21 – 67Е; Протокол Ради ТЕФ № 9; дата отримання грифу 23.03.2015.

9. Стрічково-пружинний регулятор швидкості. Методичні вказівки до лабораторних робіт по курсу турбіни ТЕС та АЕС / Черноусенко О.Ю., Пешко В. А. – Електронне навчальне видання. – К. : НТУУ «КПІ», 2016. – 26 с. Гриф ТЕФ НТУУ «КПІ» НММ № 15/16 – 72Е; Протокол Ради ТЕФ № 10; дата отримання грифу 25.04.2016.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Об'єднана енергосистема України. Сегменти та функції оптового ринку електроенергії. <u>Завдання на СРС.</u> Інтеграція об'єднаної енергосистеми України до енергосистеми Європи ENTSO-E.
2	Робота ПТУ в енергосистемі. Загальні принципи автоматичного регулювання. Пускові режими роботи турбін. <u>Завдання на СРС.</u> Задачі систем автоматичного регулювання.
3	Синхронізація турбогенератора з енергосистемою. Принцип дії системи автоматичного регулювання. Силове поле турбомашини. <u>Завдання на СРС.</u> Основні параметри електрогенератора та мережі, що відстежуються при точній синхронізації.
4	Термодинаміка регулювання. Типи паророзподілення турбін АЕС та ТЕС. <u>Завдання на СРС.</u> Турбіна АЕС як об'єкт регулювання.
5	Паророзподілення турбоустановок. Вимоги. Конструктивні особливості. <u>Завдання на СРС.</u> Конструкція стопорних та регулюючих клапанів парових турбін АЕС.
6	Відцентрові регулятори швидкості. Статична характеристика регуляторів. Нерівномірність та нечутливість регулювання. Безшарнірні та гідродинамічні регулятори. <u>Завдання на СРС.</u> Принцип роботи стрічково-пружинного регулятора швидкості.
7	Елементи систем непрямого регулювання. Сервомотори та золотники паротурбінних установок. Елементи системи маслопостачання. <u>Завдання на СРС.</u> Двоступенева система посилення. Шляхи вдосконалення конструкцій сервомоторів.
8	Статична характеристика регулювання. Механізм управління турбіною. Засоби зміни величини регульованого параметру. <u>Завдання на СРС.</u> Принцип роботи механізму управління турбіною, що забезпечує зміну кута нахилу статичної характеристики регулювання.
9	Астатичне регулювання. Паралельна робота турбоустановок в енергосистемі. <u>Завдання на СРС.</u> Розрахунок стрибка частоти в енергосистемі при аварійному відключенні споживача енергії.
10	Системи автоматичного захисту паротурбінних установок АЕС і ТЕС. <u>Завдання на СРС.</u> Принцип роботи бойкового автомату безпеки турбіни.
11	Динаміка регулювання паротурбінних установок електростанцій. Диференційні рівняння руху основних елементів САР. <u>Завдання на СРС.</u> Рівняння руху сервомотора та золотника. Рівняння руху ємності.
12	Математичний опис системи автоматичного регулювання. Необхідні та достатні умови стійкості систем регулювання. Критерії стійкості. <u>Завдання на СРС.</u> Дослідження на стійкість систем прямого регулювання. Вплив фактору саморегулювання.
13	Дослідження систем автоматичного регулювання на стійкість. <u>Завдання на СРС.</u> Дослідження на стійкість систем непрямого регулювання. Динамічні процеси при скиданні навантаження.

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Пускові графіки навантаження паротурбінних установок АЕС.
2	Паророзподільні органи ТУ АЕС. Розрахунок паророзподільних та регулюючих клапанів для дросельного паророзподілення.
3	Розрахунок паророзподільних та регулюючих клапанів для соплового паророзподілення.
4	Статика регулювання. Вибір номінальних розмірів клапанів.
5	Статична характеристика регулюючих клапанів.
6	Статика регулювання. Зусилля на регулюючі клапани.
7	Регулятори швидкості. Статична характеристика регулятора швидкості.
8	Елементи систем непрямого регулювання. Розрахунок зусилля та об'єму сервомотору.
9	Статична характеристика регулювання для одноступеневої системи посилення.
10	Статична характеристика регулювання для двоступеневої системи посилення.
11	Перехідні процеси в системах автоматичного регулювання. Диференційні рівняння руху основних елементів САР.
12	Дослідження на стійкість одноступеневої системи непрямого регулювання.
13	Динамічна характеристика регулювання для одноступеневої системи посилення.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

№ з/п	Назва теми, що вноситься на самостійне опрацювання
1	Інтеграція об'єднаної енергосистеми України до енергосистеми Європи ENTSO-E.
2	Задачі систем автоматичного регулювання.
3	Основні параметри електрогенератора та мережі, що відстежуються при точній синхронізації.
4	Турбіна АЕС як об'єкт регулювання.
5	Конструкція стопорних та регулюючих клапанів парових турбін АЕС.
6	Принцип роботи стрічково-пружинного регулятора швидкості.
7	Двоступенева система посилення. Шляхи вдосконалення конструкцій сервомоторів.
8	Принцип роботи механізму управління турбіною, що забезпечує зміну кута нахилу статичної характеристики регулювання.
9	Розрахунок стрибка частоти в енергосистемі при аварійному відключенні споживача енергії.
10	Принцип роботи бойкового автомату безпеки турбіни.
11	Рівняння руху сервомотора та золотника. Рівняння руху ємності.
12	Дослідження на стійкість систем прямого регулювання. Вплив фактору саморегулювання.
13	Дослідження на стійкість систем непрямого регулювання. Динамічні процеси при скиданні навантаження.

В дисципліні "Контроль та регулювання паротурбінних установок атомних електричних станцій" передбачено індивідуальне завдання у вигляді розрахункової роботи. Метою виконання розрахункової роботи є поглиблення знань в області регулювання паротурбінних установок, шляхом розрахунку реальної механіко-гідролічної системи автоматичного регулювання.

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 паророзподільних 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 стійкість.
 - 5.1. Вибір системи регулювання конденсаційної турбіни
 - 5.2. Диференціальні рівняння руху складових системи автоматичного регулювання.
 - 5.3. Побудова 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 (°С); тиск перед останнім ступенем P_z (МПа); тиск в сепараторі-пароперегрівачі $P_{спп}$ (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 ψ_{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 5 балів;
- Максимальна кількість балів при невчасному захисті розрахункової роботи, без поважних причин, зменшується до 25;
- За ведення конспекту лекцій нараховуються додаткові 1-5 балів, однак сумарний рейтинг студента не може перевищувати 100;
- За бажання здобувача, ним може бути підготовлено огляд наукових праць за темою узгодженою з викладачем лекційних або практичних занять, з метою отримання додаткових 1-5 балів. Однак сумарний рейтинг студента не може перевищувати 100.

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 та захист розрахункової роботи.

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів проводиться семестровий контроль у вигляді письмової залікової контрольної роботи.

Вид поточного контролю	кількість	бали		сума балів
		виконання		
Розрахункова робота	5 етапів		4	50
	захист всієї розрахункової роботи		30	
Модульна контрольна робота	1		50	50
Сума вагових балів контрольних заходів				100

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

1. Модульна контрольна робота (50 балів) складається з двох запитань, кожне з яких оцінюється в 25 балів за шкалою:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 25-23 бали;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 22-18 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 17-15 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 0 балів.

2. Розрахункова робота (з розрахунку виконання 5 завдань РР по 4 бали та захисту РР 30 балів).

Виконання завдань РР:

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

Захист РР:

- «відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 30-28 балів;
- «добре», глибоке розкриття питань – 27-23 балів;
- «задовільно», недостатньо повне розкриття питань – 22-18 балів;
- «незадовільно», принципово неправильна відповідь, або її відсутність – 0 балів.

Якщо рейтинг здобувача складає менше 60 балів після здачі модульної контрольної роботи та захисту розрахункової роботи, ним може бути складена письмова залікова контрольна робота. Кожне залікове завдання містить два теоретичних питання (30 балів) і одну задачу (40 балів).

Кожне питання залікової роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 30-28 (40-37) балів;
- достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 27-23 (36-31) балів;
- неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 22-18 (30-24) балів;
- незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) – 0 балів.

Сумарний рейтинг здобувача переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

$R_D = R_{МКР} + R_{РР}$ або $R_D = R_{залик}$	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	F – незадовільно (потрібна додаткова робота)

Процедура оскарження результатів 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)

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) та дублюються на власному Youtube-каналі викладача, для можливості забезпечення асинхронного навчання студентів.

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;
- перенесення кінцевих термінів виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);
- внесення у рейтингову систему оцінювання змін стосовно нарахування штрафних балів - за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

Для студентів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):

- сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;
- сертифікатів, які підтверджують участь у науково-практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;
- публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.

Перелік питань, які виносяться на модульну контрольну роботу

1. Наведіть основні сегменти оптового ринку електроенергії України. Поясніть їх призначення та функції.
2. Енергетична система України. Призначення, функції. Інтеграція ОЕС України до енергосистеми континентальної Європи.
3. Показники якості електричної енергії. Умова підтримки номінального значення частоти електричного струму в енергосистемі.
4. Задачі системи автоматичного управління. Функції системи автоматичного регулювання для різних режимів роботи.
5. Що таке синхронізація електрогенератора з енергосистемою? Які методи синхронізації Вам відомі?
6. Що таке синхронізація електрогенератора з енергосистемою? Опишіть як відбувається процес синхронізації та яке обладнання при цьому задіяно.
7. Які типи параметрів процесу автоматичного регулювання Вам відомі? Опишіть взаємозв'язок задаючої дії та регульованої величини в САР.
8. Які основні сили формують силове поле турбомашини? Як зміна навантаження в енергосистемі відображається на балансі сил турбіни?
9. Наведіть рівняння для розрахунку потужності турбіни з термодинамічної та механічної точок зору. Чим кількісне регулювання турбіни відрізняється від якісного?
10. Наведіть основні особливості дросельного паророзподілення турбін. Від чого залежать відносні втрати від дроселювання?
11. Наведіть основні особливості соплового паророзподілення турбін. Поясніть термін «ентальпія змішування» при сопловому паророзподіленні.
12. Наведіть функціональну схему непрямого регулювання при дросельному паророзподіленні та поясніть її принцип роботи.
13. Наведіть функціональну схему непрямого регулювання при сопловому паророзподіленні та поясніть її принцип роботи.
14. Які основні функції виконують стопорні та регулюючі клапани при паророзподіленні? Які вимоги висуваються до клапанів турбін?
15. Стопорні клапани парових турбін. Основні задачі, конструктивні особливості, швидкодія.
16. Вкажіть які основні схеми з'єднання стопорних та регулюючих клапанів Вам відомі. Наведіть основні конструктивні особливості клапанів парових турбін.
17. Призначення регуляторів швидкості парових турбін. Що таке підтримуюча та регулююча сила регулятора, як вони пов'язані?
18. Коефіцієнт нерівномірності регулювання. Формула. Фізичний зміст.
19. Коефіцієнт нечутливості регулятора. Формула. Фізичний зміст.
20. Наведіть принципову схему безшарнірного регулятора швидкості. Поясніть його принцип роботи.
21. Наведіть принципову схему сервомотора двосторонньої дії з відсічним золотником. Поясніть його принцип роботи.

22. Наведіть принципову схему сервомотора односторонньої дії з відсічним золотником. Поясніть його принцип роботи.
23. Наведіть принципову схему сервомотора з дросельним золотником. Поясніть його принцип роботи.
24. Система маслосточання турбіни. Головний масляний насос. Призначення, експлуатаційні особливості.
25. Статична характеристика регулювання частоти обертання турбіни. Поясніть сутність кожного з квадрантів діаграми.
26. Статична характеристика регулювання частоти обертання турбіни. Ступінь нерівномірності регулювання. Місцева ступінь нерівномірності.
27. Призначення механізму управління турбіною. Наведіть приклад силової дії МУТ на кінематичні зв'язки САР, що призводять до паралельного зсуву статичної характеристики регулювання.
28. Призначення механізму управління турбіною. Наведіть приклад силової дії МУТ на кінематичні зв'язки САР, що призводять до зміни кута нахилу статичної характеристики регулювання.
29. Астатичне регулювання парових турбін. Умови застосування. Принципова схема астатичного регулювання. Поясніть принцип дії.
30. Паралельна робота турбоустановок в енергосистемі. Вплив коливання навантаження в енергосистемі на частоту обертання та електричну потужність турбоагрегатів.
31. Поясніть, що таке первинне, вторинне та третинне регулювання частоти в енергосистемі. Як воно реалізується?
32. Наведіть основні аварійні ситуації, що призводять до спрацювання системи автоматичного захисту турбіни. Як в системі автоматичного захисту реалізовано баланс між ефективністю та хибністю спрацювання?
33. Система автоматичного захисту турбіни від розгону. Поясніть принцип роботи кільцевого автомату безпеки.
34. Динаміка регулювання турбоустановок. Наведіть типові сценарії переходу системи автоматичного регулювання з одного рівноважного стану в новий.
35. Диференційне рівняння руху ротора в операторній формі. Поясніть складові рівняння. На основі якого закону воно отримане?
36. Диференційне рівняння руху регулятора в операторній формі. Поясніть складові рівняння. На основі якого закону воно отримане?
37. Диференційне рівняння руху сервомотора в операторній формі. Поясніть складові рівняння. На основі якого закону воно отримане?
38. Що таке динамічна стійкість системи автоматичного регулювання? Алгоритм дослідження САР на стійкість.
39. Що таке динамічна стійкість системи автоматичного регулювання? Для чого вводяться критерії стійкості?
40. Наведіть відомі вам критерії стійкості системи автоматичного регулювання частоти турбіни. В яких випадках вони застосовуються?

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

1. Енергосистема складається з двох енергоблоків потужністю $N_1 = 1000$ МВт, $N_2 = 300$ МВт і працює при частоті струму 50 Гц. Як зміниться потужність кожного енергоблоку, якщо частота струму в енергосистемі зросте до 50,5 Гц? Коефіцієнти нерівномірності регулювання кожного блоку $\delta_1 = 4 \%$, $\delta_2 = 5 \%$.
2. Розрахуйте крутний момент M_T який розвиває двопоточний ЦВТ турбіни К-1000-60/3000, якщо в ньому спрацьовується тепловий перепад $H = 441$ кДж/кг, витрата пари в одному потоці $G = 2650$ т/год, внутрішній та механічний ККД складають відповідно $\eta_{oi} = 82 \%$, $\eta_M = 99 \%$.
3. Для енергосистеми потужністю 18 ГВт розрахуйте зміну частоти електричного струму при моментному аварійному відключенні 1 ГВт генеруючих потужностей та вкажіть частота зросте чи зменшиться. Вважайте, що середній коефіцієнт нерівномірності регулювання всіх генеруючих потужностей $\delta = 5 \%$.
4. Розрахуйте парове зусилля, що діє на регулюючий клапан турбіни К-1000-60/3000 при відношенні тисків $p_{dk}/p_{ck} = 0,2$. Діаметр клапану $D_k = 380$ мм.
5. Визначте ентальпію змішування пари після групи регулюючих клапанів при сопловому паророзподіленні. Початкова ентальпія $h_0 = 2770$ кДж/кг, ентальпія пари після кожного з регулюючих клапанів $h_{01} = 2690$ кДж/кг, $h_{02} = 2720$ кДж/кг, $h_{03} = 2760$ кДж/кг, доля витрати пари що проходить через клапани $\alpha_1 = 45 \%$, $\alpha_2 = 38 \%$, $\alpha_3 = 17 \%$.
6. Енергосистема складається з двох енергоблоків потужністю $N_1 = 440$ МВт, $N_2 = 500$ МВт і працює при частоті струму 50 Гц. Як зміниться потужність кожного енергоблоку, якщо частота струму в енергосистемі зросте до 50,5 Гц? Коефіцієнти нерівномірності регулювання кожного блоку $\delta_1 = 4 \%$, $\delta_2 = 5 \%$.
7. Розрахуйте крутний момент M_T який розвиває двопоточний ЦВТ турбіни К-1000-60/3000, якщо в ньому спрацьовується тепловий перепад $H = 408$ кДж/кг, витрата пари в одному потоці $G = 1980$ т/год, внутрішній та механічний ККД складають відповідно $\eta_{oi} = 76 \%$, $\eta_M = 99 \%$.
8. Для енергосистеми потужністю 18 ГВт розрахуйте зміну частоти електричного струму при моментному аварійному відключенні споживача з навантаженням 1 ГВт та вкажіть частота зросте чи зменшиться. Вважайте, що середній коефіцієнт нерівномірності регулювання всіх генеруючих потужностей $\delta = 4 \%$.
9. Розрахуйте парове зусилля, що діє на регулюючий клапан турбіни К-1000-60/3000 при відношенні тисків $p_{dk}/p_{ck} = 0,4$. Діаметр клапану $D_k = 380$ мм.
10. Визначте ентальпію змішування пари після групи регулюючих клапанів при сопловому паророзподіленні. Початкова ентальпія $h_0 = 2780$ кДж/кг, ентальпія пари після кожного з регулюючих клапанів $h_{01} = 2680$ кДж/кг, $h_{02} = 2715$ кДж/кг, $h_{03} = 2760$ кДж/кг, доля витрати пари що проходить через клапани $\alpha_1 = 45 \%$, $\alpha_2 = 38 \%$, $\alpha_3 = 17 \%$.
11. Енергосистема складається з двох енергоблоків потужністю $N_1 = 440$ МВт, $N_2 = 800$ МВт і працює при частоті струму 50 Гц. Як зміниться потужність кожного енергоблоку, якщо частота струму в енергосистемі зросте до 50,5 Гц? Коефіцієнти нерівномірності регулювання кожного блоку $\delta_1 = 4 \%$, $\delta_2 = 5 \%$.
12. Розрахуйте крутний момент M_T який розвиває двопоточний ЦНТ турбіни К-1000-60/3000, якщо в ньому спрацьовується тепловий перепад $H = 753$ кДж/кг, витрата пари в одному потоці $G = 398$ т/год, внутрішній та механічний ККД складають відповідно $\eta_{oi} = 80 \%$, $\eta_M = 99 \%$.

13. Для енергосистеми потужністю 16 ГВт розрахуйте зміну частоти електричного струму при моментному аварійному відключенні 300 МВт генеруючих потужностей та вкажіть частота зросте чи зменшиться. Вважайте, що середній коефіцієнт нерівномірності регулювання всіх генеруючих потужностей $\delta = 5 \%$.
14. Розрахуйте парове зусилля, що діє на регулюючий клапан турбіни К-1000-60/3000 при відношенні тисків $p_{дк}/p_{ск} = 0,6$. Діаметр клапану $D_k = 380$ мм.
15. Визначте ентальпію змішування пари після групи регулюючих клапанів при сопловому паророзподіленні. Початкова ентальпія $h_0 = 2750$ кДж/кг, ентальпія пари після кожного з регулюючих клапанів $h_{01} = 2667$ кДж/кг, $h_{02} = 2690$ кДж/кг, $h_{03} = 2735$ кДж/кг, доля витрати пари що проходить через клапани $\alpha_1 = 45 \%$, $\alpha_2 = 35 \%$, $\alpha_3 = 20 \%$.
16. Енергосистема складається з двох енергоблоків потужністю $N_1 = 200$ МВт, $N_2 = 1000$ МВт і працює при частоті струму 50 Гц. Як зміниться потужність кожного енергоблоку, якщо частота струму в енергосистемі зросте до 50,5 Гц? Коефіцієнти нерівномірності регулювання кожного блоку $\delta_1 = 4,5 \%$, $\delta_2 = 5 \%$.
17. Розрахуйте крутний момент M_T який розвиває двопоточний ЦНТ турбіни К-1000-60/3000, якщо в ньому спрацьовується тепловий перепад $H = 680$ кДж/кг, витрата пари в одному потоці $G = 344$ т/год, внутрішній та механічний ККД складають відповідно $\eta_{oi} = 75 \%$, $\eta_M = 99 \%$.
18. Для енергосистеми потужністю 16 ГВт розрахуйте зміну частоти електричного струму при моментному аварійному відключенні споживача з навантаженням 200 МВт та вкажіть частота зросте чи зменшиться. Вважайте, що середній коефіцієнт нерівномірності регулювання всіх генеруючих потужностей $\delta = 4 \%$.
19. Розрахуйте парове зусилля, що діє на регулюючий клапан турбіни К-1000-60/3000 при відношенні тисків $p_{дк}/p_{ск} = 0,8$. Діаметр клапану $D_k = 380$ мм.
20. Визначте ентальпію змішування пари після групи регулюючих клапанів при сопловому паророзподіленні. Початкова ентальпія $h_0 = 2740$ кДж/кг, ентальпія пари після кожного з регулюючих клапанів $h_{01} = 2650$ кДж/кг, $h_{02} = 2664$ кДж/кг, $h_{03} = 2733$ кДж/кг, доля витрати пари що проходить через клапани $\alpha_1 = 52 \%$, $\alpha_2 = 41 \%$, $\alpha_3 = 7 \%$.
21. Наведіть основні сегменти оптового ринку електроенергії України. Поясніть їх призначення та функції.
22. Енергетична система України. Призначення, функції. Інтеграція ОЕС України до енергосистеми континентальної Європи.
23. Показники якості електричної енергії. Умова підтримки номінального значення частоти електричного струму в енергосистемі.
24. Задачі системи автоматичного управління. Функції системи автоматичного регулювання для різних режимів роботи.
25. Що таке синхронізація електрогенератора з енергосистемою? Які методи синхронізації Вам відомі?
26. Що таке синхронізація електрогенератора з енергосистемою? Опишіть як відбувається процес синхронізації та яке обладнання при цьому задіяно.
27. Які типи параметрів процесу автоматичного регулювання Вам відомі? Опишіть взаємозв'язок задаючої дії та регульованої величини в САР.
28. Які основні сили формують силове поле турбомашини? Як зміна навантаження в енергосистемі відображається на балансі сил турбіни?
29. Наведіть рівняння для розрахунку потужності турбіни з термодинамічної та механічної точок зору. Чим кількісне регулювання турбіни відрізняється від якісного?

30. Наведіть основні особливості дросельного паророзподілення турбін. Від чого залежать відносні втрати від дроселювання?
31. Наведіть основні особливості соплового паророзподілення турбін. Поясніть термін «ентальпія змішування» при сопловому паророзподіленні.
32. Наведіть функціональну схему непрямого регулювання при дросельному паророзподіленні та поясніть її принцип роботи.
33. Наведіть функціональну схему непрямого регулювання при сопловому паророзподіленні та поясніть її принцип роботи.
34. Які основні функції виконують стопорні та регулюючі клапани при паророзподіленні? Які вимоги висуваються до клапанів турбін?
35. Стопорні клапани парових турбін. Основні задачі, конструктивні особливості, швидкодія.
36. Вкажіть які основні схеми з'єднання стопорних та регулюючих клапанів Вам відомі. Наведіть основні конструктивні особливості клапанів парових турбін.
37. Призначення регуляторів швидкості парових турбін. Що таке підтримуюча та регулююча сила регулятора, як вони пов'язані?
38. Коефіцієнт нерівномірності регулювання. Формула. Фізичний зміст.
39. Коефіцієнт нечутливості регулятора. Формула. Фізичний зміст.
40. Наведіть принципову схему безшарнірного регулятора швидкості. Поясніть його принцип роботи.
41. Наведіть принципову схему сервомотора двосторонньої дії з відсічним золотником. Поясніть його принцип роботи.
42. Наведіть принципову схему сервомотора односторонньої дії з відсічним золотником. Поясніть його принцип роботи.
43. Наведіть принципову схему сервомотора з дросельним золотником. Поясніть його принцип роботи.
44. Система маслосточання турбіни. Головний масляний насос. Призначення, експлуатаційні особливості.
45. Статична характеристика регулювання частоти обертання турбіни. Поясніть сутність кожного з квадрантів діаграми.
46. Статична характеристика регулювання частоти обертання турбіни. Ступінь нерівномірності регулювання. Місцева ступінь нерівномірності.
47. Призначення механізму управління турбіною. Наведіть приклад силової дії МУТ на кінематичні зв'язки САР, що призводять до паралельного зсуву статичної характеристики регулювання.
48. Призначення механізму управління турбіною. Наведіть приклад силової дії МУТ на кінематичні зв'язки САР, що призводять до зміни кута нахилу статичної характеристики регулювання.
49. Астатичне регулювання парових турбін. Умови застосування. Принципова схема астатичного регулювання. Поясніть принцип дії.
50. Паралельна робота турбоустановок в енергосистемі. Вплив коливання навантаження в енергосистемі на частоту обертання та електричну потужність турбоагрегатів.
51. Поясніть, що таке первинне, вторинне та третинне регулювання частоти в енергосистемі. Як воно реалізується?

52. Наведіть основні аварійні ситуації, що призводять до спрацювання системи автоматичного захисту турбіни. Як в системі автоматичного захисту реалізовано баланс між ефективністю та хибністю спрацювання?
53. Система автоматичного захисту турбіни від розгону. Поясніть принцип роботи кільцевого автомату безпеки.
54. Динаміка регулювання турбоустановок. Наведіть типові сценарії переходу системи автоматичного регулювання з одного рівноважного стану в новий.
55. Диференційне рівняння руху ротора в операторній формі. Поясніть складові рівняння. На основі якого закону воно отримане?
56. Диференційне рівняння руху регулятора в операторній формі. Поясніть складові рівняння. На основі якого закону воно отримане?
57. Диференційне рівняння руху сервомотора в операторній формі. Поясніть складові рівняння. На основі якого закону воно отримане?
58. Що таке динамічна стійкість системи автоматичного регулювання? Алгоритм дослідження САР на стійкість.
59. Що таке динамічна стійкість системи автоматичного регулювання? Для чого вводяться критерії стійкості?
60. Наведіть відомі вам критерії стійкості системи автоматичного регулювання частоти турбіни. В яких випадках вони застосовуються?

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

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

Ухвалено кафедрою теплоенергетики (протокол № 16 від 18.05.2022)

Погоджено Методичною комісією ТЕФ (протокол № 9 від 30.06.2022р.)