Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Оценочные материалы
по дисциплине
Автоматическое регулирование турбоустановок

Москва
2024

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Булкин А.Е. Идентификатор: R7e55a085-BulkinAY-5e6deff3	А.Е. Булкин

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Митрохова О.М. Идентификатор: R1d0f453c-FichoriakOM-ee811867	О.М. Митрохова
Заведующий выпускающей кафедрой	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Грибин В.Г. Идентификатор: R44612ca0-GribinVG-8231e2ff	В.Г. Грибин

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения

ИД-1 Демонстрирует знание закономерностей процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности

ИД-2 Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности

ИД-6 Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Выполнение задания

1. Выполнение и защита типового расчета №1 "Динамические характеристики звеньев и устойчивость линейных САР" (Расчетно-графическая работа)
2. Выполнение типового расчета №2 "Построение переходного процесса в САР" (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. "Характеристики САР турбин" (Проверочная работа)
2. Контрольная работа "Математическое описание линейных САР" (Контрольная работа)
3. Контрольная работа "Устойчивость линейных САР" (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита типового расчета №2 "Построение переходного процесса в САР" (Коллоквиум)
2. Коллоквиум "Регулирование теплофикационных турбин" (Коллоквиум)
3. Коллоквиум "Регулирование турбин энергоблоков ТЭС и АЭС" (Коллоквиум)

БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	5	9	13	16
Характеристики систем автоматического регулирования паровых турбин					
Характеристики систем автоматического регулирования паровых турбин		+			

Элементы систем автоматического регулирования паровых турбин				
Элементы систем автоматического регулирования паровых турбин	+			
Математическое описание линейных систем автоматического регулирования (САР)				
Математическое описание линейных систем автоматического регулирования (САР)		+		+
Уравнения звеньев САР паровых турбин				
Уравнения звеньев САР паровых турбин		+		+
Устойчивость линейных систем автоматического регулирования				
Устойчивость линейных систем автоматического регулирования			+	+
Вес КМ:	25	20	25	30

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
	Срок КМ:	9	12	13	13
Переходные процессы в системах автоматического регулирования					
Переходные процессы в системах автоматического регулирования				+	+
Регулирование энергетических блоков ТЭС					
Регулирование энергетических блоков ТЭС		+			
Регулирование энергетических блоков АЭС					
Регулирование энергетических блоков АЭС		+			
Регулирование теплофикационных турбин					
Регулирование теплофикационных турбин			+		
Нелинейные системы автоматического регулирования					
Нелинейные системы автоматического регулирования				+	+
Вес КМ:		40	20	0	40

$Общая часть/Для промежуточной аттестации$

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-1$_{ПК-1}$ Демонстрирует знание закономерностей процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности	Знать: компьютерные технологии моделирования динамических процессов в САР турбин особенности работы систем автоматического регулирования турбин в изолированной сети и в мощной энергосистеме Уметь: аргументированно вести дискуссию по профессиональной тематике применять математический аппарат и методы моделирования при решении задач анализа и синтеза САР турбин	"Характеристики САР турбин" (Проверочная работа) Контрольная работа "Математическое описание линейных САР" (Контрольная работа) Выполнение и защита типового расчета №1 "Динамические характеристики звеньев и устойчивость линейных САР" (Расчетно-графическая работа) Коллоквиум "Регулирование теплофикационных турбин" (Коллоквиум) Выполнение типового расчета №2 "Построение переходного процесса в САР" (Расчетно-графическая работа)
ПК-1	ИД-2$_{ПК-1}$ Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности	Знать: конструктивное выполнение элементов САР турбин Уметь:	Контрольная работа "Устойчивость линейных САР" (Контрольная работа) Выполнение и защита типового расчета №1 "Динамические характеристики звеньев и устойчивость линейных САР" (Расчетно-графическая работа)

		выбирать параметры САР по различным критериям с учетом противоречивых требований и технических ограничений	Коллоквиум "Регулирование турбин энергоблоков ТЭС и АЭС" (Коллоквиум)
ПК-1	ИД-6$_{ПК-1}$ Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности	Знать: современные системы автоматического регулирования и защиты турбин различных типов для ТЭС и АЭС Уметь: принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании САР турбин	Коллоквиум "Регулирование теплофикационных турбин" (Коллоквиум) Защита типового расчета №2 "Построение переходного процесса в САР" (Коллоквиум)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

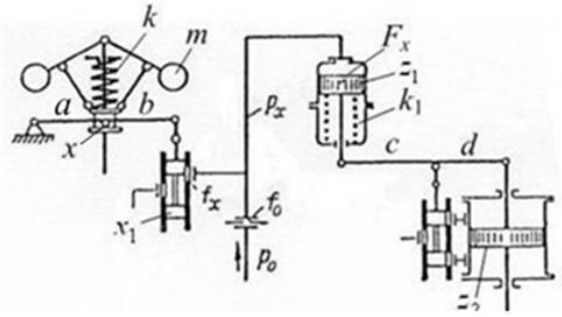
7 семестр

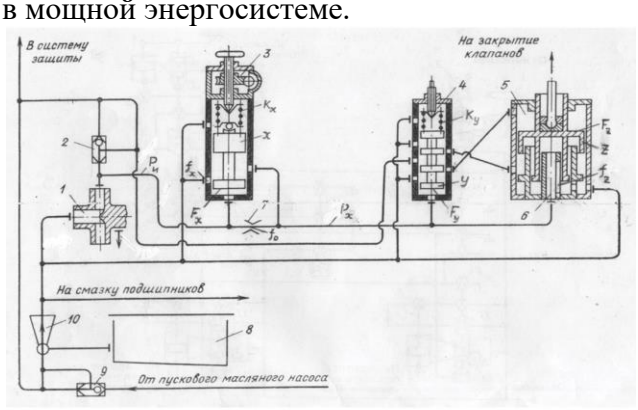
КМ-1. "Характеристики САР турбин"

Формы реализации: Письменная работа
Тип контрольного мероприятия: Проверочная работа
Вес контрольного мероприятия в БРС: 25
Процедура проведения контрольного мероприятия: Время выполнения - не более 30 минут.

Краткое содержание задания:
Задание состоит из 3 вопросов, на которые необходимо ответить в максимально развернутом виде.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: особенности работы систем автоматического регулирования турбин в изолированной сети и в мощной энергосистеме	1.Почему местная степень неравномерности регулирования частоты вращения не должна быть меньше 0,02? 2.Как изменится степень неравномерности регулирования частоты вращения δ, если в САР, представленной на рис.1: · увеличить диаметр поршня промежуточного сервомотора; · уменьшить диаметр проточного золотника РЧВ; · увеличить отношение *c*/*d* плеч рычага. **Примечание**: ответ необходимо обосновать, т.е. недостаточно просто указать, что δ увеличится/уменьшится/не изменится,  Рис.1 3.Как изменится режим работы турбины, САР которой представлена на рис.2, если увеличить: · натяг пружины *ky* отсечного золотника главного сервомотора; · сечение дросселя *f*0 на подводе масла в импульсную линию. Рассмотреть работу турбины в изолированной сети и

	в мощной энергосистеме.  Рис.2.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов.

Оценка: 4
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок.

Оценка: 3
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки.

Оценка: 2
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов.

КМ-2. Контрольная работа "Математическое описание линейных САР"

Формы реализации: Письменная работа
Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа
Вес контрольного мероприятия в БРС: 20
Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа содержит одну задачу. Время выполнения - 2 академических часа.

Краткое содержание задания:
Для звена САР с передаточной функцией W(p) найти функции W(jω), U(ω), V(ω), A(ω), ψ(ω), L(ω), w(t), h(t) и построить характеристики W(jω), L(ω), ψ(ω), w(t), h(t).

Вариант 1

$$W(p)=\frac{Tp+1}{Tp}$$

Вариант 2

$$W(p) = \frac{k}{p(Tp+1)}$$

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: применять математический аппарат и методы моделирования при решении задач анализа и синтеза САР турбин	1.Построить характеристики W(jω), L(ω), ψ(ω), w(t), h(t). 2.Найти функции W(jω), U(ω), V(ω), A(ω), ψ(ω), L(ω), w(t), h(t).

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если задача решена полностью и верно, без недочетов и правильно изображены требуемые зависимости.

Оценка: 4
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если задача решена в целом верно и правильно изображены требуемые зависимости: либо не доделано не более 10% задачи; либо присутствуют ошибки в вычислениях, искажающие результат не более чем на 10%.

Оценка: 3
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если в целом верно изображены требуемые зависимости или отсутствует требуемые зависимости и либо правильно решено не менее 80% задачи, либо присутствуют ошибки в вычислениях, искажающие результат не более чем на 10%

Оценка: 2
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно решено менее 80% задачи, либо присутствуют ошибки в вычислениях, искажающие результат более чем на 10%.

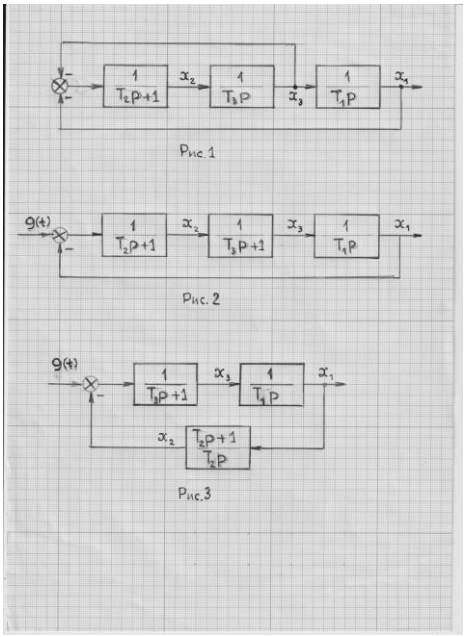
КМ-3. Контрольная работа "Устойчивость линейных САР"

Формы реализации: Письменная работа
Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа
Вес контрольного мероприятия в БРС: 25
Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа содержит две задачи. Время выполнения - 2 академических часа.

Краткое содержание задания:

Задача №1
Определить область устойчивости САР с внутренним контуром (рис.1) методом D-разбиения пространства параметра Т1. Принять Т2=0.1 с, Т3=0,20 с.

Задача №2
Определить область устойчивости изодромной САР (рис.3) методом корневого годографа по заданному параметру Т2. Принять Т1=0,4 с, Т3=0,2 с.



Контрольные вопросы/задания:

Уметь: выбирать параметры САР по различным критериям с учетом противоречивых требований и технических ограничений	1.Определить область устойчивости САР с внутренним контуром методом D-разбиения пространства параметра Т1. 2.Определить область устойчивости изодромной САР методом корневого годографа по заданному параметру Т2.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если задачи решены полностью и верно, без недочетов и правильно изображены требуемые зависимости.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если задачи решены в целом верно и правильно изображены требуемые зависимости: либо не доделано не более 10% какой-либо задачи; либо присутствуют ошибки в вычислениях, искажающие результат не более чем на 10%.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если в целом верно изображены требуемые зависимости или отсутствует требуемые зависимости и либо правильно решено не менее 80% задачи, либо присутствуют ошибки в вычислениях каждой из задач, искажающие результат не более чем на 10%.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно решено менее 80% задачи, либо присутствуют ошибки в вычислениях, искажающие результат более чем на 10%.

КМ-4. Выполнение и защита типового расчета №1 "Динамические характеристики звеньев и устойчивость линейных САР"

Формы реализации: Выполнение задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа
Вес контрольного мероприятия в БРС: 30
Процедура проведения контрольного мероприятия: Задание на типовой расчет выдается в начале семестра. Срок выполнения типового расчета - до 15 недели. Оценивается правильность выполнения пунктов и защита в установленные сроки. К защите типового расчета допускаются обучающиеся, полностью правильно выполнившие типовой расчет. На защите обучающемуся задаются теоретические и практические вопросы по выполненному типовому расчету.

Краткое содержание задания:

Раздел 1. *Динамические характеристики звеньев САР*

Для звена, описанного уравнением (2),

а) найти передаточную функцию W(p);

б) получить аналитические выражения и построить:

- амплитудно–фазовую характеристику W(jw);
- вещественную частотную характеристику U(w);
- мнимую частотную характеристику V(w);
- амплитудно–частотную характеристику A(w);
- фазо–частотную характеристику y(w);
- логарифмическую АЧХ L(w);
- логарифмическую ФЧХ y(w);
- переходную характеристику h(t);
- импульсную переходную характеристику w(t);

в) найти изменение амплитуды и фазы гармонического сигнала $\phi = A \sin wt$ при прохождении его через звено при w = 1, 10, 100 с–1.

Раздел 2. *Устойчивость линейных САР*

2.1. Построить структурную схему САР.

2.2. Исследовать устойчивость САР с помощью критериев устойчивости Рауса, Гурвица и Михайлова, использовав обе формулировки последнего.

2.3. Исследовать устойчивость САР с помощью критерия устойчивости Найквиста по амплитудно–фазовой и по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой САР. Определить запасы устойчивости по фазе и по амплитуде.

Раздел 3. *Построение области устойчивости САР*

Построить методом D-разбиения пространства параметров САР область устойчивости САР по указанному в задании параметру.

Математическая модель САР задана уравнениями:

1 вариант

$T1p\varphi = \pi - f(t)$ (1)

2 вариант

$T1p\varphi = \pi - f(t)$

$(Tm2p2+Tkp+l)\eta = (kp+1)\varphi$ (2)

$(Tm2p2+Tkp+l)\ \eta = (kp+1)\varphi$

$(T3p+1)\mu1 = -\eta + g(t)$ (3)

$(T3p+1)\ \mu1 = -\eta - \mu2 + g(t)$

$(T4p+1)\mu2 = \mu1$ (4)

$T4p\ \mu2 = \mu1$

$(T5p+1)\pi = \mu 2$ (5)

$(T5p+1)\ \pi = \mu 2$

№	Фамилия и.о.	вар	T1	Tm	Тк	λ	к	T3	T4	T5	парам
1		1	0.50	0	2.0	0	2.0	0.15	0.50	0.25	Тк=к
2		2	0.35	0.2	0.5	1	0	0	0.35	0.10	ТК
3		1	0.40	0	1.5	0	1.5	0.10	0.30	0.15	T4
4		2	0.30	0.1	0.04	1	0	0	0.30	0.05	T4
5		1	0.40	0	0.1	1	0	0.10	0.40	0.15	T5
6		2	0.30	0	0.1	1	0.5	0.10	0.30	0.05	T3
7		1	0.45	0	0.2	1	0.9	0.10	0.45	0.20	к
8		2	0.35	0.3	1.0	1	0.9	0.10	0.35	0.35	T1
9		1	0.30	0.1	0.05	1	0	0	0.30	0.05	T4
10		2	0.45	0	0.15	1	0.2	0.15	0.30	0.25	T4
11		1	0.50	0.2	0.3	1	0	0	0.30	0.20	T1
12		2	0.40	0	0.25	1	0.1	0.15	0.35	0.40	T3
13		1	0.35	0.2	0.5	1	0.4	0.10	0.35	0.10	T1
14		2	0.30	0.15	0.1	1	0	0	0.20	0.30	T5
15		1	0.35	0.15	0.5	1	0	0	0.30	0.10	ТК
16		2	0.40	0	1.6	0	1.6	0.10	0.30	0.15	T4
17		1	0.30	0.1	0.1	1	0	0	0.30	0.05	T4
18		2	0.40	0	0.15	1	0	0.10	0.40	0.15	T5
19		1	0.30	0	0.2	1	0.5	0.10	0.30	0.05	T3
20		2	0.45	0	0.2	1	0.6	0.10	0.45	0.20	к
21		1	0.35	0	0.15	1	0	0.10	0.35	0.35	T1
22		2	0.50	0	1.4	0	1.4	0.15	0.40	0.10	Тк=к
23		1	0.40	0.2	0.2	1	0.1	0	0.30	0.10	T5
24		2	0.45	0	0.1	1	0.2	0.10	0.40	0.15	T3

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: применять математический аппарат и методы моделирования при решении задач анализа и синтеза САР турбин	1. Исследовать устойчивость САР с помощью критерия устойчивости Найквиста по амплитудно–фазовой и по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой САР. 2.Построить методом D-разбиения пространства параметров САР область устойчивости САР по указанному в задании параметру.
Уметь: выбирать параметры САР по различным критериям с учетом противоречивых требований и технических ограничений	1.Для звена, описанного уравнением, найти передаточную функцию W(p), получить аналитические выражения и построить характеристики. 2.Построить структурную схему САР.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки.

Оценка: 2
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов.

8 семестр

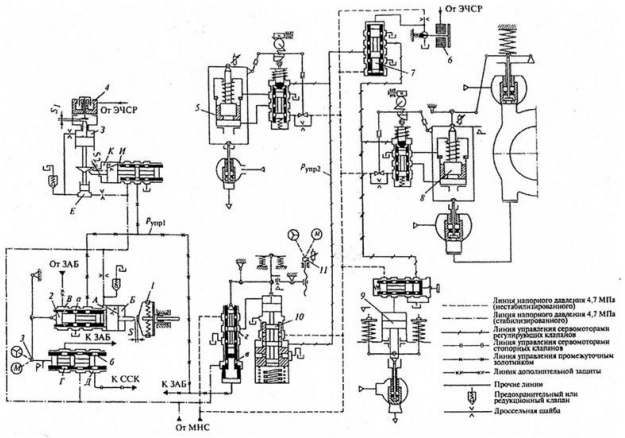
КМ-5. Коллоквиум "Регулирование турбин энергоблоков ТЭС и АЭС"

Формы реализации: Устная форма
Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум
Вес контрольного мероприятия в БРС: 40
Процедура проведения контрольного мероприятия: Время на подготовку - не более 30 мин. Время опроса - не более 15 мин.

Краткое содержание задания:
Примерный вариант задания.

Гидравлическая часть системы регулирования турбины К-800-240 ЛМЗ
Как работают:
1. Промежуточный золотник 10.
2. Сервомотор регулирующего клапана ЦВД 5.

Гидравлическая часть системы регулирования турбины К-800-240 ЛМЗ



Контрольные вопросы/задания:

Знать: конструктивное выполнение элементов САР турбин	1.Как работает гидравлическая часть системы регулирования турбины К-800-240 ЛМЗ? 2.Как работает промежуточный золотник гидравлической части системы регулирования турбины К-800-240 ЛМЗ? 3.Почему в качестве главного сервомотора, перемещающего регулирующие клапаны турбины, применяется только сервомотор с отсечным золотником?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов.

Оценка: 4
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок.

Оценка: 3
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки.

Оценка: 2
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов.

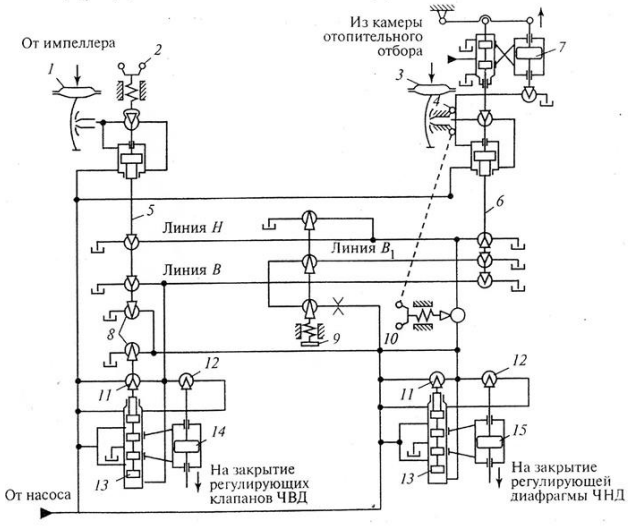
КМ-6. Коллоквиум "Регулирование теплофикационных турбин"

Формы реализации: Устная форма
Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум
Вес контрольного мероприятия в БРС: 20
Процедура проведения контрольного мероприятия: Время на подготовку - не более 30 мин. Время опроса - не более 15 мин.

Краткое содержание задания:
Примерный вариант задания.

Гидравлическая САР турбины типа «Т»
1. Как осуществляется изодромное регулирование давления пара в камере отопительного отбора?
2. Каково назначение дросселей 8 на золотнике РЧВ и на отсечном золотнике главного сервомотора ЧВД?

Гидродинамическая САР турбины типа «Т»



Контрольные вопросы/задания:

Знать: современные системы автоматического регулирования и защиты турбин различных типов для ТЭС и АЭС	1.Как осуществляется изодромное регулирование давления пара в камере отопительного отбора? 2.В каких целях в теплофикационных турбинах применяется ступенчатый подогрев сетевой воды?
Уметь: аргументированно вести дискуссию по профессиональной	1.Почему в турбинах со ступенчатым подогревом сетевой воды давление пара одновременно можно

тематике	регулировать только в одном отборе – верхнем или нижнем?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов.

Оценка: 4
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок.

Оценка: 3
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки.

Оценка: 2
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов.

КМ-7. Выполнение типового расчета №2 "Построение переходного процесса в САР"

Формы реализации: Выполнение задания
Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа
Вес контрольного мероприятия в БРС: 0
Процедура проведения контрольного мероприятия: Задание на типовой расчет выдается в начале семестра. Срок выполнения типового расчета - до 13 недели. Оценивается правильность выполнения пунктов и защита в установленные сроки. К защите типового расчета допускаются обучающиеся, полностью правильно выполнившие типовой расчет.

Краткое содержание задания:
Построить в среде Simulink переходный процесс регулирования частоты вращения конденсационной паровой турбины после сброса номинальной нагрузки с отключением генератора от сети.

Математическая модель САР задана уравнениями:

1 вариант

$$T_1 p\varphi = \rho$$
$$(T_m^2 p^2 + T_k p + \lambda)\eta = (kp+1)\varphi$$
$$(T_3 p+1)\mu_1 = -\eta$$
$$\sigma = \mu_1 - \mu_2$$
$$p\mu_2 = \begin{cases} \frac{1}{T_4}\sigma \text{ при } \mu_2 > \mu_{2\min} \text{ или } \mu_2 \le \mu_{2\min} \text{ и } \sigma > 0 \\ 0 \end{cases}$$
$$(T_5 p+1)\rho = \mu_2$$

2 вариант

$$T_1 p\varphi = \rho$$

$$(T_m^2 p^2 + T_k p + \lambda)\eta = (kp+1)\varphi$$

$$(T_3 p+1)\mu_1 = -\eta - \mu_2$$

$$\sigma = \mu_1$$

$$p\mu_2 = \begin{cases} \dfrac{1}{T_4}\sigma \text{ при } \mu_2 > \mu_{2\min} \text{ или } \mu_2 \le \mu_{2\min} \text{ и } \sigma > 0 \\ 0 \end{cases}$$

$$(T_5 p+1)\rho = \mu_2$$

Параметры САР взять из таблицы по своему номеру в алфавитном списке группы.
К типовому расчету по дисциплине
«Автоматическое регулирование турбоустановок»

№	Фамилия и.о.	вар	T1	Tm	Tк	λ	к	T3	T4	T5
1		1	0.50	0	2.0	0	2.0	0.15	0.50	0.25
2		2	0.35	0.2	0.5	1	0	0	0.35	0.10
3		1	0.40	0	1.5	0	1.5	0.10	0.30	0.15
4		2	0.30	0.1	0.04	1	0	0	0.30	0.05
5		1	0.40	0	0.1	1	0	0.10	0.40	0.15
6		2	0.30	0	0.1	1	0.5	0.10	0.30	0.05
7		1	0.45	0	0.2	1	0.9	0.10	0.45	0.20
8		2	0.35	0.3	1.0	1	0.9	0.10	0.35	0.35
9		1	0.30	0.1	0.05	1	0	0	0.30	0.05
10		2	0.45	0	0.15	1	0.2	0.15	0.30	0.25
11		1	0.50	0.2	0.3	1	0	0	0.30	0.20
12		2	0.40	0	0.25	1	0.1	0.15	0.35	0.40
13		1	0.35	0.2	0.5	1	0.4	0.10	0.35	0.10
14		2	0.30	0.15	0.1	1	0	0	0.20	0.30
15		1	0.35	0.15	0.5	1	0	0	0.30	0.10
16		2	0.40	0	1.6	0	1.6	0.10	0.30	0.15
17		1	0.30	0.1	0.1	1	0	0	0.30	0.05
18		2	0.40	0	0.15	1	0	0.10	0.40	0.15
19		1	0.30	0	0.2	1	0.5	0.10	0.30	0.05
20		2	0.45	0	0.2	1	0.6	0.10	0.45	0.20
21		1	0.35	0	0.15	1	0	0.10	0.35	0.35
22		2	0.50	0	1.4	0	1.4	0.15	0.40	0.10
23		1	0.40	0.2	0.2	1	0.1	0	0.30	0.10
24		2	0.45	0	0.1	1	0.2	0.10	0.40	0.15

Определить начальные условия φ(0), η(0), μ1(0), μ2(0), ρ(0), отсчитывая обобщенные координаты системы от тех значений, которые они примут после завершения переходного процесса в устойчивой САР, т.е. на режиме холостого хода.
Принять μ2min = - 0,05, что соответствует нахождению главного сервомотора на нижнем упоре, когда регулирующие клапаны турбины полностью закрыты.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: компьютерные технологии моделирования динамических процессов в САР турбин	1.Построить в среде Simulink переходный процесс регулирования частоты вращения конденсационной паровой турбины после сброса номинальной нагрузки с отключением генератора от сети.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если работа выполнена в полном объеме и в указанный срок.

Оценка: 4
Описание характеристики выполнения знания: не выставляется

Оценка: 3
Описание характеристики выполнения знания: не выставляется

Оценка: 2
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не выполнены условия получения оценки "5".

КМ-8. Защита типового расчета №2 "Построение переходного процесса в САР"

Формы реализации: Устная форма
Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум
Вес контрольного мероприятия в БРС: 40
Процедура проведения контрольного мероприятия: К защите типового расчета допускаются обучающиеся, полностью правильно выполнившие типовой расчет. На защите обучающемуся задаются теоретические и практические вопросы по выполненному типовому расчету.

Краткое содержание задания:
Построить в среде Simulink переходный процесс регулирования частоты вращения конденсационной паровой турбины после сброса номинальной нагрузки с отключением генератора от сети.

Математическая модель САР задана уравнениями:

1 вариант

$$T_1 p\varphi = \rho$$
$$(T_m^2 p^2 + T_k p + \lambda)\eta = (kp+1)\varphi$$
$$(T_3 p+1)\mu_1 = -\eta$$
$$\sigma = \mu_1 - \mu_2$$
$$p\mu_2 = \begin{cases} \frac{1}{T_4}\sigma \text{ при } \mu_2 > \mu_{2\min} \text{ или } \mu_2 \le \mu_{2\min} \text{ и } \sigma > 0 \\ 0 \end{cases}$$
$$(T_5 p+1)\rho = \mu_2$$

2 вариант

$$T_1 p\varphi = \rho$$
$$(T_m^2 p^2 + T_k p + \lambda)\eta = (kp+1)\varphi$$
$$(T_3 p+1)\mu_1 = -\eta - \mu_2$$
$$\sigma = \mu_1$$
$$p\mu_2 = \begin{cases} \frac{1}{T_4}\sigma \text{ при } \mu_2 > \mu_{2\min} \text{ или } \mu_2 \le \mu_{2\min} \text{ и } \sigma > 0 \\ 0 \end{cases}$$
$$(T_5 p+1)\rho = \mu_2$$

Параметры САР взять из таблицы по своему номеру в алфавитном списке группы.
К типовому расчету по дисциплине
«Автоматическое регулирование турбоустановок»

№	Фамилия и.о.	вар	T1	Tm	Тк	λ	к	T3	T4	T5
1		1	0.50	0	2.0	0	2.0	0.15	0.50	0.25
2		2	0.35	0.2	0.5	1	0	0	0.35	0.10
3		1	0.40	0	1.5	0	1.5	0.10	0.30	0.15

4		2	0.30	0.1	0.04	1	0	0	0.30	0.05
5		1	0.40	0	0.1	1	0	0.10	0.40	0.15
6		2	0.30	0	0.1	1	0.5	0.10	0.30	0.05
7		1	0.45	0	0.2	1	0.9	0.10	0.45	0.20
8		2	0.35	0.3	1.0	1	0.9	0.10	0.35	0.35
9		1	0.30	0.1	0.05	1	0	0	0.30	0.05
10		2	0.45	0	0.15	1	0.2	0.15	0.30	0.25
11		1	0.50	0.2	0.3	1	0	0	0.30	0.20
12		2	0.40	0	0.25	1	0.1	0.15	0.35	0.40
13		1	0.35	0.2	0.5	1	0.4	0.10	0.35	0.10
14		2	0.30	0.15	0.1	1	0	0	0.20	0.30
15		1	0.35	0.15	0.5	1	0	0	0.30	0.10
16		2	0.40	0	1.6	0	1.6	0.10	0.30	0.15
17		1	0.30	0.1	0.1	1	0	0	0.30	0.05
18		2	0.40	0	0.15	1	0	0.10	0.40	0.15
19		1	0.30	0	0.2	1	0.5	0.10	0.30	0.05
20		2	0.45	0	0.2	1	0.6	0.10	0.45	0.20
21		1	0.35	0	0.15	1	0	0.10	0.35	0.35
22		2	0.50	0	1.4	0	1.4	0.15	0.40	0.10
23		1	0.40	0.2	0.2	1	0.1	0	0.30	0.10
24		2	0.45	0	0.1	1	0.2	0.10	0.40	0.15

Определить начальные условия $\varphi(0)$, $\eta(0)$, $\mu1(0)$, $\mu2(0)$, $\rho(0)$, отсчитывая обобщенные координаты системы от тех значений, которые они примут после завершения переходного процесса в устойчивой САР, т.е. на режиме холостого хода.
Принять $\mu2min = - 0,05$, что соответствует нахождению главного сервомотора на нижнем упоре, когда регулирующие клапаны турбины полностью закрыты.

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании САР турбин	1.Определить начальные условия $\varphi(0)$, $\eta(0)$, $\mu1(0)$, $\mu2(0)$, $\rho(0)$, отсчитывая обобщенные координаты системы от тех значений, которые они примут посл

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов.

Оценка: 4
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок.

Оценка: 3
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки.

Оценка: 2
Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов.

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

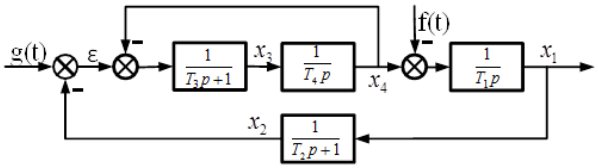
7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

<table>
<tr><td rowspan="4">МЭИ</td><td>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №XX</td><td>Утверждаю</td></tr>
<tr><td>Кафедра Паровых и газовых турбин</td><td>Зав.кафедрой</td></tr>
<tr><td></td><td>Дисциплина «Автоматическое регулирование турбоустановок»</td></tr>
<tr><td>Институт ЭнМИ</td><td>20XX г.</td></tr>
<tr><td colspan="3">1. Фундаментальные принципы автоматического управления. Классификация систем автоматического регулирования и управления.

2. Определение периодических режимов в нелинейных системах методом гармонической линеаризации.

3. Задача.
Исследовать устойчивость САР
с помощью критерия устойчивости Рауса
 

$T_1 = 0{,}4$ с; $T_2 = 0{,}05$ с; $T_3 = 0{,}1$ с; $T_4 = 0{,}25$ с</td></tr>
</table>

Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме по билетам согласно программе экзамена. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса и практическую задачу. Время на подготовку - не более 60 мин. Время опроса - не более 30 мин.

I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1$_{ПК-1}$ Демонстрирует знание закономерностей процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности

Вопросы, задания

1.Примеры теоретических вопросов:

1. Фундаментальные принципы автоматического управления.
2. Классификация систем автоматического регулирования и управления.
3. Определение периодических режимов в нелинейных системах методом гармонической линеаризации.
4. Типовые законы регулирования.
5. Исследование устойчивости периодических режимов в нелинейных системах.

6. Линеаризация уравнений динамических звеньев САР. Передаточная функция звена САР.
7. Существенные нелинейности в САР.
8. Апериодическое звено второго порядка. Передаточная функция, частотные и временные характеристики.
9. Построение области устойчивости САР методом D-разбиения пространства одного параметра.
10. Интегрирующее и идеальное дифференцирующее звенья. Передаточные функции, частотные и временные характеристики.
11. Частотный критерий В.М.Попова абсолютной устойчивости нелинейных САР..
12. Гармоническая линеаризация релейных характеристик.
13. Необходимое, но недостаточное условие устойчивости САР. Устойчивость САР первого и второго порядков.
14. Построение переходного процесса моделированием САР в среде Simulink.
15. Критерий устойчивости Найквиста. Разомкнутая САР астатична.
16. Фазовое пространство и фазовые портреты линейных и нелинейных САР.

Материалы для проверки остаточных знаний

1.Задания формируются случайным образом из базы заданий. В тестирование включены теоретические вопросы, предполагающие либо выбор одного верного ответа из предложенных, либо нескольких верных ответов из предложенных вариантов, и задания свободного изложения и(или) небольшие вычислительные задачи на основе КМ

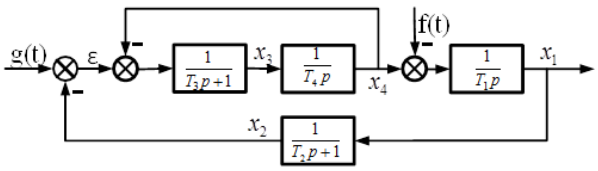
2. Компетенция/Индикатор: ИД-2$_{ПК-1}$ Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности

Вопросы, задания

1.Примеры практических задач:

Задача №1

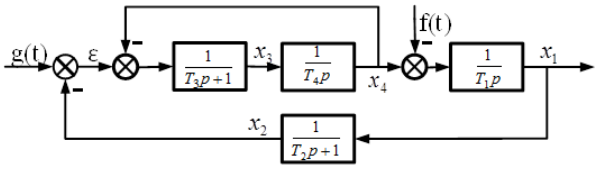
Исследовать устойчивость САР
с помощью критерия устойчивости Рауса



$T_1 = 0{,}4$ с; $T_2 = 0{,}05$ с; $T_3 = 0{,}1$ с; $T_4 = 0{,}25$ с

Задача №2

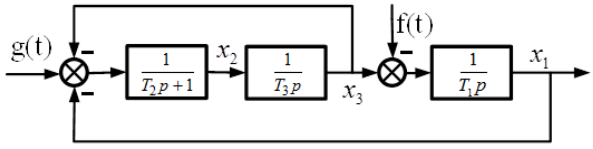
Исследовать устойчивость САР
с помощью критерия устойчивости Гурвица



$T_1 = 0{,}4$ с; $T_2 = 0{,}05$ с; $T_3 = 0{,}1$ с; $T_4 = 0{,}25$ с

Задача №3

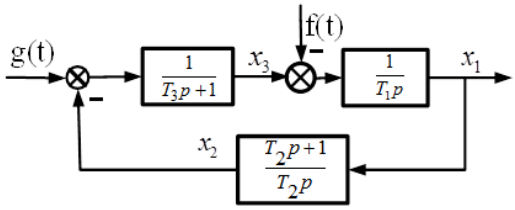
Построить область устойчивости САР по параметру T_1
методом D-разбиения пространства параметров



$T_2 = 0{,}1\,\text{с}; \quad T_3 = 0{,}25\,\text{с}$

Задача №4

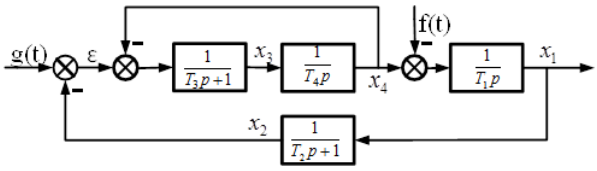
Построить область устойчивости САР по параметру T_2
методом корневого годографа



$T_1 = 0{,}5\,\text{с}; \quad T_3 = 0{,}25\,\text{с}$

Задача №5

Исследовать устойчивость САР
с помощью критерия устойчивости Михайлова



$T_1 = 0{,}4\,\text{с}; \quad T_2 = 0{,}05\,\text{с}; \quad T_3 = 0{,}1\,\text{с}; \quad T_4 = 0{,}25\,\text{с}$

Материалы для проверки остаточных знаний

1.Задания формируются случайным образом из базы заданий. В тестирование включены теоретические вопросы, предполагающие либо выбор одного верного ответа из предложенных, либо нескольких верных ответов из предложенных вариантов, и задания свободного изложения и(или) небольшие вычислительные задачи на основе КМ

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно выполнено практическое задание и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся показал, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных процессов или решения задач.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно выполнено практическое задание или в нем допущено не более одной ошибки, которая была самостоятельно исправлена обучающимся, и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся допускает негрубые ошибки.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если в выполненном практическом задании допущены грубые ошибки, которые затем исправлены обучающимся при участии экзаменатора или практическое задание не выполнено в полном объеме, но обучающийся смог довести решение до конца при участии экзаменатора, и в ответах на вопросы экзаменационного билета допущены ошибки.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если практическое задание не выполнено или не даны ответы на вопросы экзаменационного билета и не выполнены критерии для оценки 3 («удовлетворительно»).

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.

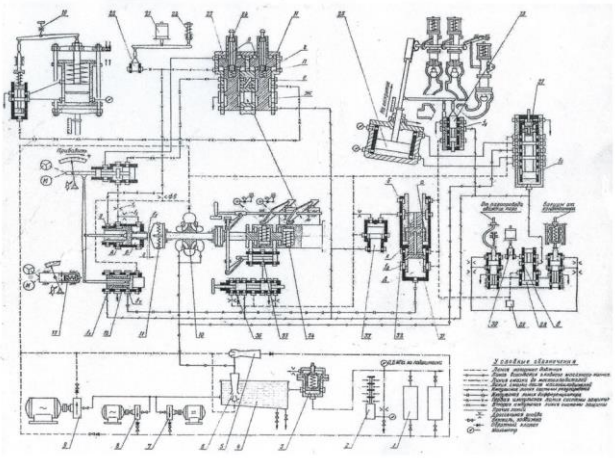
8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

<table>
<tr><td rowspan="4">МЭИ</td><td>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №XX</td><td>Утверждаю</td></tr>
<tr><td>Кафедра Паровых и газовых турбин</td><td>Зав.кафедрой</td></tr>
<tr><td></td><td>Дисциплина «Автоматическое регулирование турбоустановок»</td></tr>
<tr><td>Институт ЭнМИ</td><td>20XX г.</td></tr>
<tr><td colspan="3">1. Конденсационная паровая турбина как объект регулирования. Моментные характеристики турбины и генератора. Саморегулирование.

2. Статическая и динамическая устойчивость параллельной работы генератора с энергосистемой.

3. Схема регулирования.
 
Figure 1 Система маслоснабжения, регулирования и защиты конденсационной турбины ЛМЗ без промежуточного перегрева пара</td></tr>
</table>

Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме по билетам согласно программе экзамена. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса и практическое задание. Время на подготовку - не более 60 мин. Время опроса - не более 30 мин.

I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-6$_{ПК-1}$ Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности

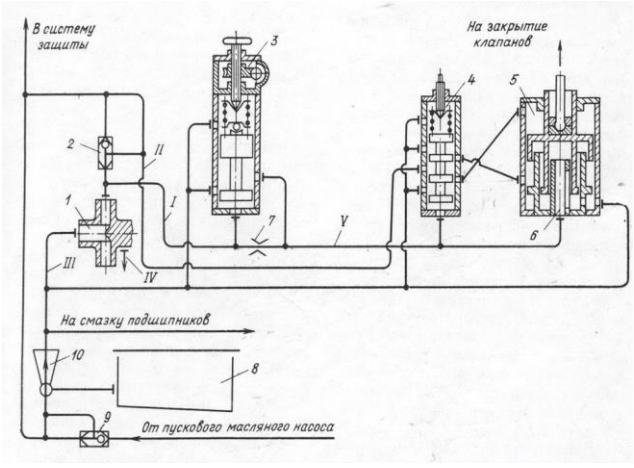
Вопросы, задания

1.Примеры теоретических вопросов:

1. Конденсационная паровая турбина как объект регулирования. Моментные характеристики турбины и генератора. Саморегулирование.
2. Статическая и динамическая устойчивость параллельной работы генератора с энергосистемой.
3. Программы регулирования энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР, их достоинства и недостатки.
4. Выбор передаточных чисел от регуляторов к сервомоторам из условий независимости регулирования.
5. Механизмы управления турбиной и их воздействие на статические характеристики регулирования.
6. Параллельная работа турбогенераторов.
7. Турбина с промежуточным перегревом как объект регулирования.
8. Регулирование турбин с противодавлением. Принципиальные схемы регулирования.
9. Электрогидравлические преобразователи.
10. Регулирование турбин с отбором пара. Связанное и несвязанное регулирование. Автономность (независимость) регулирования. Принципиальные схемы регулирования.
11. Повышение пожарной безопасности турбин.
12. Регулирующие органы турбины. Регулирующие клапаны. Поворотные диафрагмы и заслонки.

2.Примеры практических заданий:

Задание №1



Задание №2

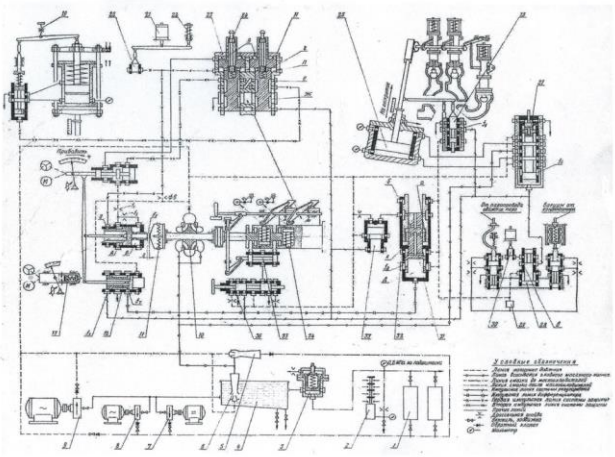


Figure 2 Система маслоснабжения, регулирования и защиты конденсационной турбины ЛМЗ без промежуточного перегрева пара

Задание №3

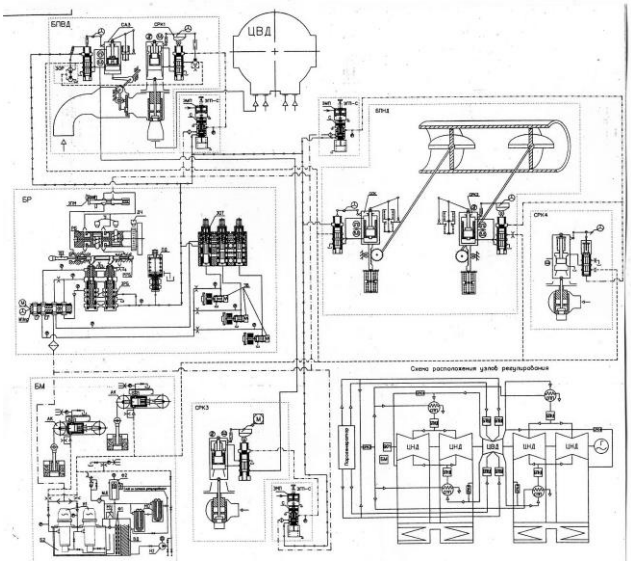


Figure 3 Система маслоснабжения, регулирования и защиты влажнопаровой турбины ЛМЗ для АЭС

Материалы для проверки остаточных знаний

1.Задания формируются случайным образом из базы заданий. В тестирование включены теоретические вопросы, предполагающие либо выбор одного верного ответа из предложенных, либо нескольких верных ответов из предложенных вариантов, и задания свободного изложения и(или) небольшие вычислительные задачи на основе КМ

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно выполнено практическое задание и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся показал, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных процессов или решения задач.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно выполнено практическое задание или в нем допущено не более одной ошибки, которая была самостоятельно исправлена обучающимся, и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся допускает негрубые ошибки.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если в выполненном практическом задании допущены грубые ошибки, которые затем исправлены обучающимся при участии экзаменатора или практическое задание не выполнено в полном объеме, но обучающийся смог довести решение до конца при участии экзаменатора, и в ответах на вопросы экзаменационного билета допущены ошибки.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если практическое задание не выполнено или не даны ответы на вопросы экзаменационного билета и не выполнены критерии для оценки 3 («удовлетворительно»).

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.