

**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
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

А.Е. Булкин

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Митрохова О.М.
	Идентификатор	R1d0f453c-FichoriakOM-ee811867

(подпись)

О.М.
Митрохова

(расшифровка
подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Грибин В.Г.
	Идентификатор	R44612ca0-GribinVG-8231e2ff

(подпись)

В.Г. Грибин

(расшифровка
подписи)

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-6ПК-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,

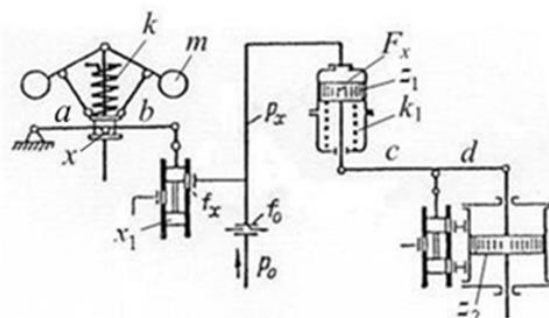
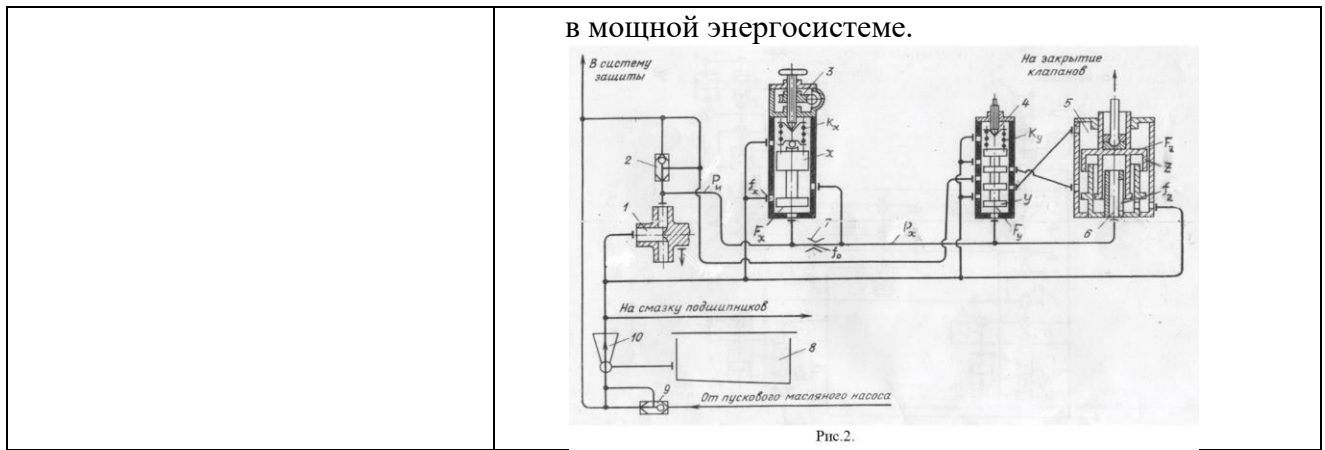


Рис. 1

3. Как изменится режим работы турбины, САР которой представлена на рис. 2, если увеличить:

- натяг пружины k_u отсечного золотника главного сервомотора;
- сечение дросселя f_0 на подводе масла в импульсную линию.

Рассмотреть работу турбины в изолированной сети и



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.

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

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 САУ с передаточной функцией $W(p)$ найти функции $W(j\omega)$, $U(\omega)$, $V(\omega)$, $A(\omega)$, $\psi(\omega)$, $L(\omega)$, $w(t)$, $h(t)$ и построить характеристики $W(j\omega)$, $L(\omega)$, $\psi(\omega)$, $w(t)$, $h(t)$.

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 $W(j\omega)$, $L(\omega)$, $\psi(\omega)$, $w(t)$, $h(t)$. 2. Найти функции $W(j\omega)$, $U(\omega)$, $V(\omega)$, $A(\omega)$, $\psi(\omega)$, $L(\omega)$, $w(t)$, $h(t)$.
---	---

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 отсутствуют требуемые зависимости и либо правильно решено не менее 80% задачи, либо присутствуют ошибки в вычислениях, искажающие результат не 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

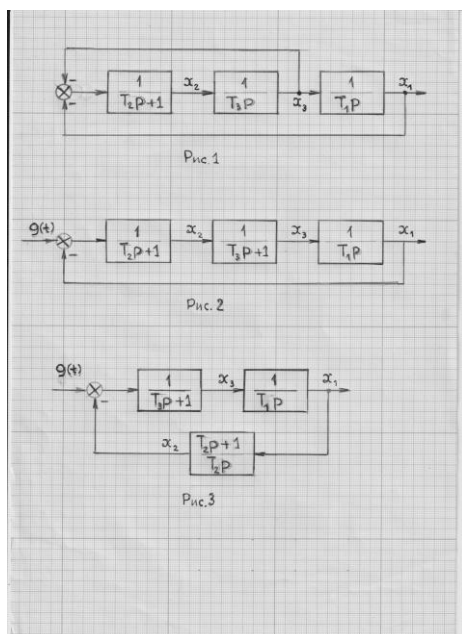
Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа содержит две задачи. Время выполнения - 2 академических часа.

Краткое содержание задания:**Задача №1**

Определить область устойчивости САР с внутренним контуром (рис.1) методом D-разбиения пространства параметра T_1 . Принять $T_2=0.1$ с, $T_3=0,20$ с.

Задача №2

Определить область устойчивости изодромной САР (рис.3) методом корневого годографа по заданному параметру T_2 . Принять $T_1=0,4$ с, $T_3=0,2$ 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 T_1 .
2. Определить область устойчивости изодромной САР методом корневого годографа по заданному параметру T_2 .

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%.

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 $W(j\omega)$;
 - вещественную частотную характеристику $U(\omega)$;
 - мнимую частотную характеристику $V(\omega)$;
 - амплитудно–частотную характеристику $A(\omega)$;
 - фазо–частотную характеристику $\varphi(\omega)$;
 - логарифмическую АЧХ $L(\omega)$;
 - логарифмическую ФЧХ $y(\omega)$;
 - переходную характеристику $h(t)$;
 - импульсную переходную характеристику $w(t)$;
- в) найти изменение амплитуды и фазы гармонического сигнала $\phi = A \sin \omega t$ при прохождении его через звено при $\omega = 1, 10, 100 \text{ с}^{-1}$.

Раздел 2. Устойчивость линейных САР

2.1. Построить структурную схему САР.

2.2. Исследовать устойчивость САР с помощью критериев устойчивости Рауса, Гурвица и Михайлова, используя 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

2 вариант

$$T_1 p \varphi = \pi - f(t) \quad (1)$$

$$(T_m 2p^2 + T_k p + 1) \eta = (k p + 1) \varphi \quad (2)$$

$$(T_3 p + 1) \mu_1 = -\eta + g(t) \quad (3)$$

$$(T_4 p + 1) \mu_2 = \mu_1 \quad (4)$$

$$(T_5 p + 1) \pi = \mu_2 \quad (5)$$

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

№	Фамилия и.о.	вар	T1	Tm	Tk	λ	к	T3	T4	T5	парам
1		1	0.50	0	2.0	0	2.0	0.15	0.50	0.25	$T_k = k$
2		2	0.35	0.2	0.5	1	0	0	0.35	0.10	TK

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	TK
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	Tк=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	<p>1. Исследовать устойчивость САР с помощью критерия устойчивости Найквиста по амплитудно-фазовой и по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой САР.</p> <p>2. Построить методом D-разбиения пространства параметров САР область устойчивости САР по указанному в задании параметру.</p>
Уметь: выбирать параметры САР по различным критериям с учетом противоречивых требований и технических ограничений	<p>1. Для звена, описанного уравнением, найти передаточную функцию $W(p)$, получить аналитические выражения и построить характеристики.</p> <p>2. Построить структурную схему САР.</p>

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.

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:

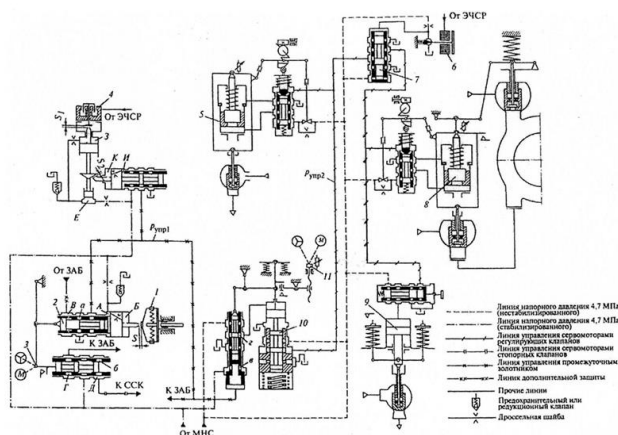
Примерный вариант задания.

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	<ol style="list-style-type: none">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.

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.

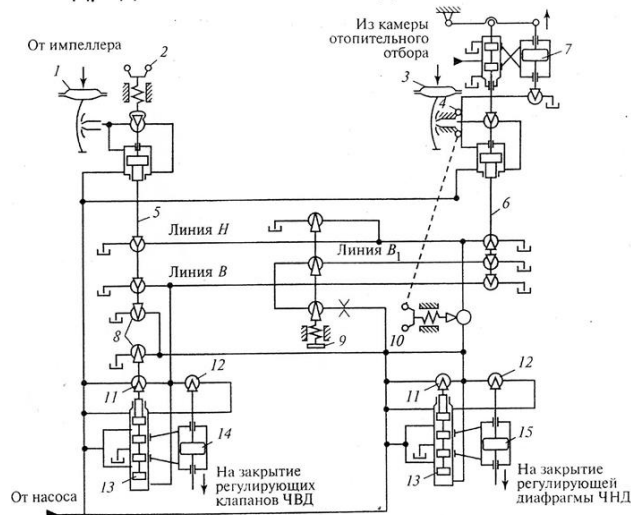
Краткое содержание задания:

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:

<p>Знать: современные системы автоматического регулирования и защиты турбин различных типов для ТЭС и АЭС</p>	<p>1. Как осуществляется изодромное регулирование давления пара в камере отопительного отбора? 2. В каких целях в теплофикационных турбинах применяется ступенчатый подогрев сетевой воды?</p>
<p>Уметь: аргументированно вести дискуссию по профессиональной тематике</p>	<p>1. Почему в турбинах со ступенчатым подогревом сетевой воды давление пара одновременно можно регулировать только в одном отборе – верхнем или нижнем?</p>

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.

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

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

2 вариант

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

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	Tk	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 $\varphi(0)$, $\eta(0)$, $\mu_1(0)$, $\mu_2(0)$, $\rho(0)$, отсчитывая обобщенные координаты системы от тех значений, которые они примут после завершения переходного процесса в устойчивой САР, т.е. на режиме холостого хода.

Принять $\mu_{2\min} = -0,05$, 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: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если в типовом расчете верно выполнены все задания, оформление соответствует требуемому.

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не выполнены условия получения оценки "зачтено".

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

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

2 вариант

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

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 $\varphi(0)$, $\eta(0)$, $\mu_1(0)$, $\mu_2(0)$, $\rho(0)$, отсчитывая обобщенные координаты системы от тех значений, которые они примут после завершения переходного процесса в устойчивой САР, т.е. на режиме холостого хода.

Принять $\mu_{2\min} = -0,05$, 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 $\varphi(0)$, $\eta(0)$, $\mu_1(0)$, $\mu_2(0)$, $\rho(0)$, 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.

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

МЭИ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №XX	Утверждаю
	Кафедра Паровых и газовых турбин	Зав.кафедрой
		Дисциплина «Автоматическое регулирование турбоустановок»
	Институт ЭнМИ	20XX г.
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 САУ с помощью критерия устойчивости Рауса		
<p>$T_1 = 0,4 \text{ с}; T_2 = 0,05 \text{ с}; T_3 = 0,1 \text{ с}; T_4 = 0,25 \text{ с}$</p>		

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.

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1ПК-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.X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

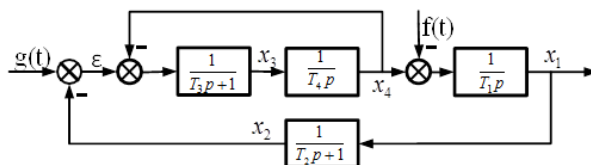
2. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-1 Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности

Вопросы, задания

1.Примеры практических задач:

Задача №1

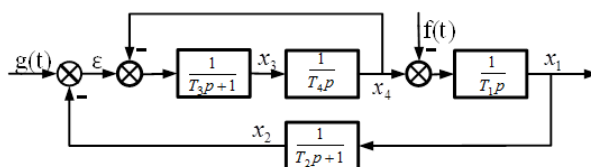
Исследовать устойчивость САР с помощью критерия устойчивости Рауса



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

Задача №2

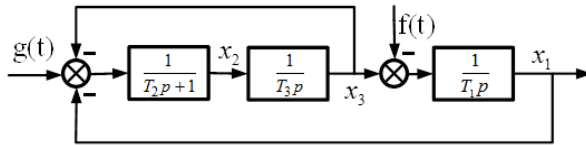
Исследовать устойчивость САР с помощью критерия устойчивости Гурвица



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

Задача №3

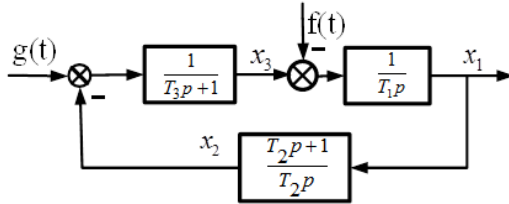
Построить область устойчивости САР по параметру T_1 методом D-разбиения пространства параметров



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

Задача №4

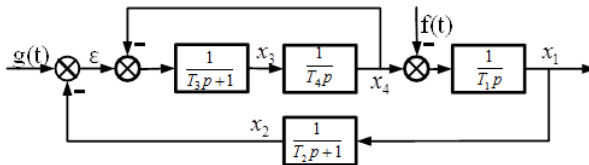
Построить область устойчивости САР по параметру T_2 методом корневого годографа



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

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.X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

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.

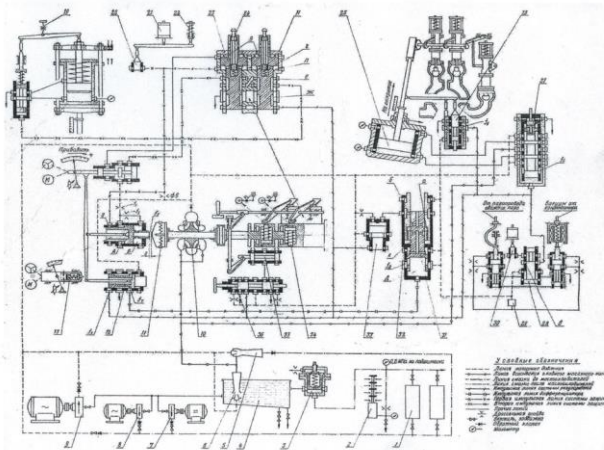
III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

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

МЭИ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №XX	<i>Утверждаю</i>
	Кафедра Паровых и газовых турбин	Зав.кафедрой
		Дисциплина «Автоматическое регулирование турбоустановок»
	Институт ЭнМИ	20XX г.
<p>1. Конденсационная паровая турбина как объект регулирования. Моментные характеристики турбины и генератора. Саморегулирование.</p> <p>2. Статическая и динамическая устойчивость параллельной работы генератора с энергосистемой.</p> <p>3. Схема регулирования.</p>		
		
<p>Figure 1 Система маслоснабжения, регулирования и защиты конденсационной турбины ЛМЗ без промежуточного перегрева пара</p>		

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.

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

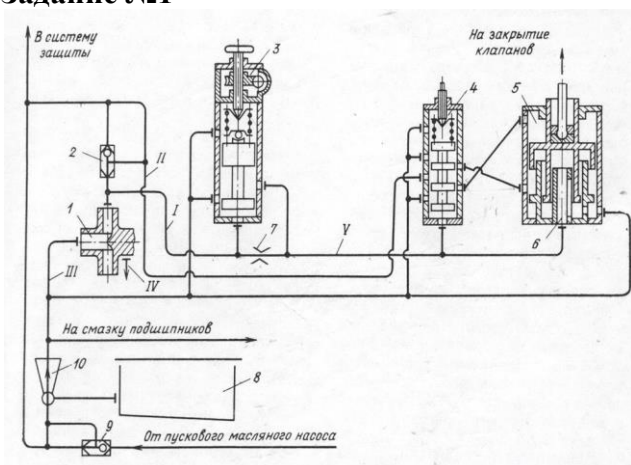
1. Компетенция/Индикатор: ИД-бпк-1 Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности

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

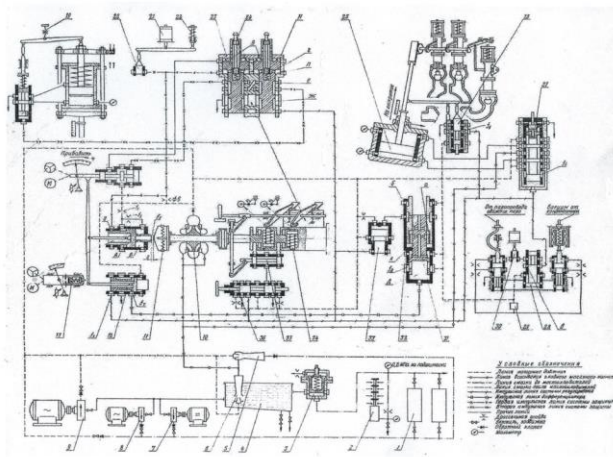


Figure 2 Система маслоснабжения, регулирования и защиты конденсационной турбины ЛМЗ без промежуточного перегрева пара

Задание №3

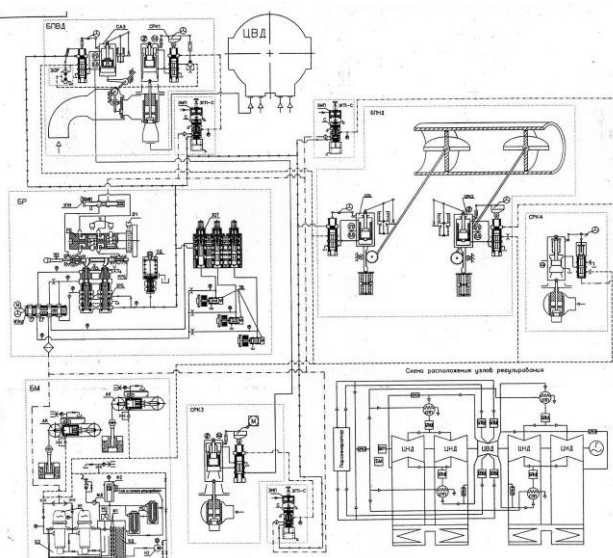


Figure 3 Система маслоснабжения, регулирования и защиты влажнопаровой турбины ЛМЗ для АЭС

Материалы для проверки остаточных знаний

1.X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

2.X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

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.

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.