

**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  
Комбинированные установки**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	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)

## 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-3 Выполняет комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита расчетного задания «Расчет тепловой схемы парогазовой установки» (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Тест «Термодинамические основы работы парогазовых установок» (Тестирование)  
2. Тест «Типы парогазовых установок. Парогазовые технологии для модернизации ТЭС» (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа «Расчет технико-экономических показателей одноконтурной ПГУ-У» (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Выполнение пп. 1-2 расчетного задания «Расчет тепловой схемы парогазовой установки» (Расчетно-графическая работа)  
2. Выполнение пп. 3-5 расчетного задания «Расчет тепловой схемы парогазовой установки» (Расчетно-графическая работа)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
	Срок КМ:	4	7	9	11	15	16
Введение. Развитие энергетических технологий							
Введение. Развитие энергетических технологий	+						

Теплосиловые циклы комбинированных установок						
Теплосиловые циклы комбинированных установок	+				+	
Типы парогазовых установок и их основные характеристики						
Типы парогазовых установок и их основные характеристики					+	+
Принципиальные тепловые схемы ПГУ-У и их расчет						
Принципиальные тепловые схемы ПГУ-У и их расчет		+	+	+	+	+
Основное технологическое оборудование парогазовых установок						
Основное технологическое оборудование парогазовых установок					+	+
Парогазовые технологии для модернизации ТЭС						
Парогазовые технологии для модернизации ТЭС					+	+
Вес КМ:	5	25	20	15	25	10

\$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 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание закономерностей процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности	Знать: теоретические основы работы комбинированных установок тенденции развития парогазовых технологий в отечественной и зарубежной энергетике Уметь: рассчитывать тепловые процессы в элементах парогазовых установок	Тест «Термодинамические основы работы парогазовых установок» (Тестирование) Выполнение пп. 1-2 расчетного задания «Расчет тепловой схемы парогазовой установки» (Расчетно-графическая работа) Контрольная работа «Расчет технико-экономических показателей одноконтурной ПГУ-У» (Контрольная работа) Защита расчетного задания «Расчет тепловой схемы парогазовой установки» (Расчетно-графическая работа)
ПК-1	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности	Знать: устройство, схемы и принципы работы комбинированных установок типы парогазовых установок и их основные характеристики Уметь: объяснять физические принципы работы парогазовых установок	Защита расчетного задания «Расчет тепловой схемы парогазовой установки» (Расчетно-графическая работа) Тест «Типы парогазовых установок. Парогазовые технологии для модернизации ТЭС» (Тестирование)
ПК-1	ИД-3 <sub>ПК-1</sub> Выполняет	Знать:	Выполнение пп. 1-2 расчетного задания «Расчет тепловой схемы

	<p>комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности</p>	<p>влияние различных факторов на технико-экономические показатели парогазовых установок основы проектирования и методику конструкторского расчета тепловой схемы парогазовой установки утилизационного типа          Уметь:          анализировать влияние различных факторов на технико-экономические показатели парогазовых установок определять технико-экономические показатели парогазовых установок рассчитывать тепловую схему парогазовой установки</p>	<p>парогазовой установки» (Расчетно-графическая работа)          Контрольная работа «Расчет технико-экономических показателей одноконтурной ПГУ-У» (Контрольная работа)          Выполнение пп. 3-5 расчетного задания «Расчет тепловой схемы парогазовой установки» (Расчетно-графическая работа)          Защита расчетного задания «Расчет тепловой схемы парогазовой установки» (Расчетно-графическая работа)          Тест «Типы парогазовых установок. Парогазовые технологии для модернизации ТЭС» (Тестирование)</p>
--	---	---	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Тест «Термодинамические основы работы парогазовых установок»

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Время выполнения – не более 20 минут. При выполнении тестового задания могут использоваться справочные данные теплофизических свойств воды и водяного пара на основе справочника А.А. Александров, Б.А. Григорьев. – М.: Изд-во МЭИ, 1999 . – 168 с. - ISBN 5-7046-0397-1.

#### Краткое содержание задания:

Тест состоит из 18 вопросов.

Максимальное количество баллов за все правильно выполненные тестовые задания – 100.

#### Контрольные вопросы/задания:

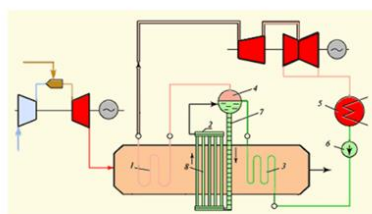
Знать: тенденции развития парогазовых технологий в отечественной и зарубежной энергетике

Температура газов за котлом-утилизатором в одноконтурных ПГУ составляет ...°С. \* 5 баллов

- 80...100
- 90...120
- 170...200
- 120...140
- 140...170

1.

Укажите наименования элементов тепловой схемы ПГУ, представленной на рисунке. 8 баллов



	1	2	3	4	5	6	7	8
Пароперегреватель	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Опускная труба испарителя	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Испаритель	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Барабан	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Конденсатор	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Подъемные трубы испарителя	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Питательный насос	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Экономайзер	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2.

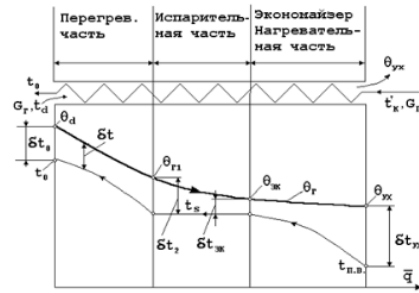
Температура конденсата на входе в ГПК КУ при работе ГТУ на ...  
выбирается в пределах ...°С. 4 балла

35...50    60...65    110...120    140...160    200...250

дизельном топливе	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
природном газе	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3.

Запишите уравнение теплового баланса испарительной части КУ, используя его тепловую диаграмму: \* 8 баллов



[↑ Добавить файл](#)

4.

Парогазовыми называются энергетические установки, в которых теплота отработавших в ГТУ газов прямо или косвенно используется для выработки электроэнергии или электроэнергии и тепла в ... \* 5 баллов

- ПН
- ПТ
- КУ
- ПСУ
- ППУ

5.

Температурный напор в «пинч-точке» выбирается равным ...°С. \* 5 баллов

- 20...30
- 10...15
- 40...50
- 30...40
- 15...20
- 5...10

6.

КПД ... составляет ...%. 4 балла

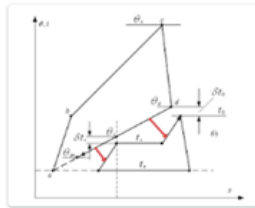
25...30    30...38    34...40    45...60    75...85

пгу	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ку	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
псу пгу	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
гту	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

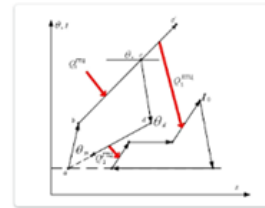
7.



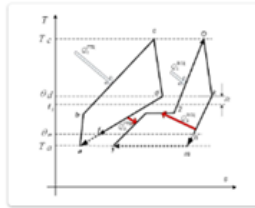
Теплосиловой цикл ПГУ с дожиганием выглядит так, как изображено на рисунке: \* 5 баллов



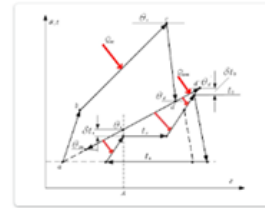
Вариант 1



Вариант 4



Вариант 2



Вариант 3

8.

Соотношение  $G_{п}/G_{г}$  (расходов рабочих тел ГТУ и ПСУ) утилизационной ПГУ составляет: \* 5 баллов

- ≈0,5
- ≈1
- 0,3...0,4
- 0,1...0,2
- 0,4...0,5
- 0,2...0,3

9.

Температурный напор на входе газов в КУ выбирается равным ...°С. \* 5 баллов

- 70...100
- 5...10
- 10...15
- 50...70
- 100...120
- 20...50

10.

Соотношение  $N_{гту}/N_{псу}$  (мощностей ГТУ и ПСУ) утилизационной ПГУ составляет \* 5 баллов

- 0,25...0,3
- ≈0,5
- 0,6...0,75
- ≈1
- ≈1,5
- 1,65...1,7
- ≈2

11.

Знать: теоретические основы работы комбинированных установок

1.

Комбинированный цикл – это последовательность простых циклов, реализуемых: \*

- на одинаковых рабочих телах и в различных температурных зонах
- на различных рабочих телах в одной температурной зоне
- на одном рабочем теле в различных температурных зонах
- на различных рабочих телах и в различных температурных зонах

2.

Степень бинарности показывает долю тепловой мощности, подведенной в: \*

- ВТЦ и СТЦ
- ВТЦ
- СТЦ
- НТЦ
- ВТЦ и НТЦ
- СТЦ и НТЦ

3.

Степень бинарности для ПГУ ... составляет ....

	0	1	$0 < \beta < 1$	$0 < \beta \leq 1$	$0 \leq \beta \leq 1$	$0 < \beta < \infty$	$0 \leq \beta < \infty$
с газопаровой турбиной	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
с низконапорным парогенератором	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
утилизационного типа	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
с вытеснением регенерации	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
с высоконапорным парогенератором	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
с дожиганием	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
с параллельной схемой	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4.

Степень бинарности ПГУ меняется в пределах: \*

- $0 \leq \beta < 1$
- $0 \leq \beta \leq 1$
- $0 < \beta \leq 1$
- $1 < \beta < \infty$
- $0 < \beta < \infty$
- $0 < \beta < 1$
- $0 \leq \beta < \infty$
- $1 \leq \beta < \infty$

	<p>КПД ПГУ определяется как: * <span style="float: right;">10 баллов</span></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 45%;"> <math display="block">\eta_{ПГУ} = \beta\eta_{ГТГ} + (1 - \beta\eta_{ГТГ})\eta_{ПСУ}</math> </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 45%;"> <math display="block">\eta_{ПГУ} = \beta\eta_{ГТГ} + (1 + \beta\eta_{ГТГ})\eta_{ПСУ}</math> </div> </div> <p><input type="checkbox"/> Вариант 1 <span style="margin-left: 150px;"><input type="checkbox"/> Вариант 2</span></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 45%;"> <math display="block">\eta_{ПГУ} = \beta\eta_{ГТГ} + (1 - \beta\eta_{ПГУ})\eta_{ПСУ}</math> </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 45%;"> <math display="block">\eta_{ПГУ} = \beta\eta_{ГТГ} + (1 - \beta\eta_{ГТГ})\eta_{ПСУ}</math> </div> </div> <p><input type="checkbox"/> Вариант 6 <span style="margin-left: 150px;"><input type="checkbox"/> Вариант 5</span></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 45%;"> <math display="block">\eta_{ПГУ} = \beta\eta_{ГТГ} + (1 + \beta\eta_{ГТГ})\eta_{ПСУ}</math> </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: 45%;"> <math display="block">\eta_{ПГУ} = \beta\eta_{ГТГ} + (1 - \beta\eta_{ПГУ})\eta_{ПСУ}</math> </div> </div> <p><input type="checkbox"/> Вариант 4 <span style="margin-left: 150px;"><input type="checkbox"/> Вариант 3</span></p> <p>5.</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>Расшифруйте аббревиатуру ВТЦ: <span style="float: right;">4 балла</span></p> <p>Мой ответ: _____</p> </div> <p>6.</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>Утилизационный парогазовый цикл – это частный случай бинарного <span style="float: right;">5 баллов</span> цикла, в котором теплота, подведенная в ..., последовательно используется сначала в ГТЦ, а затем в ПСЦ: *</p> <p><input type="radio"/> КУ</p> <p><input type="radio"/> ГТ</p> <p><input type="radio"/> КС</p> <p><input type="radio"/> ПТУ</p> <p><input type="radio"/> ПСУ</p> </div> <p>7.</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если набрано не менее 90 баллов.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если набрано не менее 75 баллов.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если набрано не менее 60 баллов.

**КМ-2. Выполнение пп. 1-2 расчетного задания «Расчет тепловой схемы парогазовой установки»**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Обучающемуся выдается индивидуальное задание не позднее 4 недели. Срок выполнения пп. 1-2 расчетного задания -

до 8 недели. Оценивается правильность выполнения пунктов в установленные сроки. При выполнении расчетного задания для определения теплофизических свойств водяного пара используется программа WaterSteamPro.

### Краткое содержание задания:

**Задание:** рассчитать принципиальную тепловую схему одноконтурной ПГУ, предварительно выбрав опорных значений расчетной схемы, определяемых либо надежностью, либо термодинамическими условиями.

#### Дано:

1. Принципиальная тепловая схема ПГУ, выполненной по схеме дубль-блока, показана на рис. 1.
2. Характеристики ГТУ – по номеру студента в учебном журнале (табл. 1).
3. Температура наружного воздуха  $t_{н.в} = \text{_____}^\circ\text{C}$ .
4. Режим работы КУ: \_\_\_\_\_.
5. Температурный график теплосети представлен на рис. 2.

Остальными величинами необходимо обоснованно задаваться в процессе выполнения расчета.

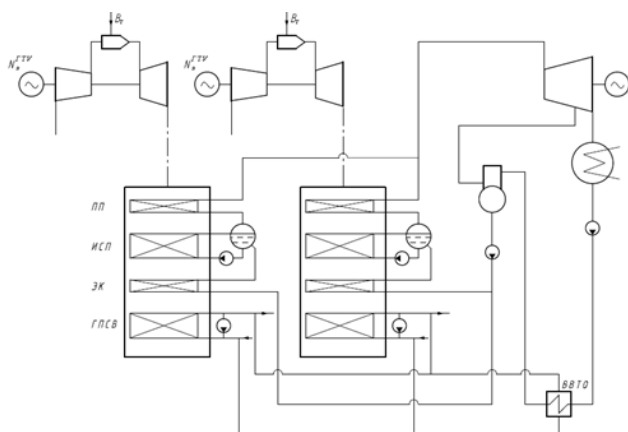


Figure 1 Рис. 1. Принципиальная тепловая схема ПГУ

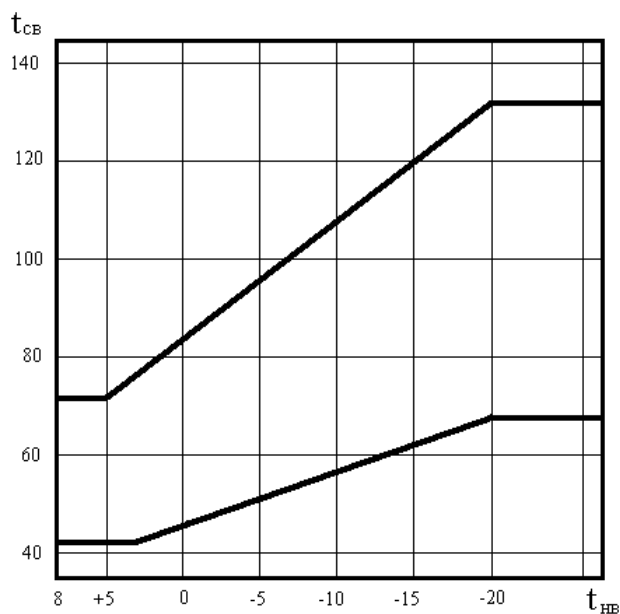


Figure 2 Рис. 2. Температурный график теплосети (для г. Москвы)

Табл. 1. Основные характеристики энергетических ГТУ

№ п/п	Модель (фирма)	Электрическая мощность №, МВт	Электрический КПД пэгту, %	Степень сжатия ε	Расход газов Гг, кг/с	Температура на входе/выходе газовой турбины tc/td, °С
1	V64.3 A (Siemens)	67	36,8	15,8	191,0	1315/589
...	...	...	...	...	...	.../...
N	...	...	...	...	...	.../...

### Краткие методические указания.

1. При расчете характеристик КУ принять, что энтальпия и температура газов связаны соотношением  $I = \theta \cdot \text{срг}$ , в котором  $\text{срг} = \text{_____}$  кДж/(кг·К) – теплоемкость газов, не зависящая от температуры.
2. При проведении расчетов учитывать гидравлическое сопротивление поверхностей пароперегревателей, включая паропроводы.
3. Повышением температуры и энтальпии в насосах пренебречь.

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: влияние различных факторов на технико-экономические показатели парогазовых установок	1. Недостоящими величинами необходимо обоснованно задаваться в процессе выполнения расчета.
Уметь: рассчитывать тепловые процессы в элементах парогазовых установок	1.1. Определить параметры пара и воды по всему тракту (давление, температуры/влажность, энтальпии и расходы). 2.2. Рассчитать тепловые мощности всех теплообменных поверхностей КУ, осуществляющих передачу теплоты от греющих газов к рабочему телу (пару или воде).

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если либо в расчете присутствуют ошибки в заключительных действиях какого либо из пунктов, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте(ах); либо неверно указаны размерности величин; либо размерности величин не указаны; либо пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если пункты сделаны полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

### КМ-3. Контрольная работа «Расчет технико-экономических показателей одноконтурной ПГУ-У»

**Формы реализации:** Письменная работа

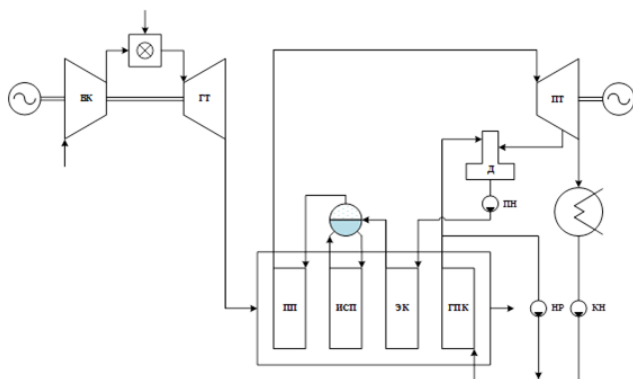
**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа содержит одну задачу. Время выполнения – не более 90 минут. Для решения задачи предоставляются справочные данные теплофизических свойств воды и водяного пара на основе справочника А.А. Александров, Б.А. Григорьев. – М.: Изд-во МЭИ, 1999 . – 168 с. - ISBN 5-7046-0397-1 и  $h,s$ -диаграмма для водяного пара (по справочнику "Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара").

**Краткое содержание задания:**

Рассчитать тепловую схему комбинированной установки с котлом-утилизатором (см. схему), выполненной в конфигурации 3ГТУ+1КУ+1ПТУ.



ГТУ имеет следующие характеристики: электрическая мощность  $N_{эГТУ}=179$  МВт, расход уходящих газов  $G_g=391$  кг/с, температура газов на выходе  $\theta_d=630^\circ\text{C}$ , электрический КПД ГТУ  $\eta_{эГТУ}=37,5\%$ .

Давление в конденсаторе  $p_k = 5$  кПа. Температура конденсата на входе в ГПК КУ  $t_{нв}=75^\circ\text{C}$ . Недогрев конденсата в ГПК до температуры насыщения в деаэраторе  $\Delta t_{\partial}=10^\circ\text{C}$ . Давление в деаэраторе  $p_{\partial}=110$  кПа.

Давлением пара, генерируемого КУ, температурными напорами на входе газов в котел-утилизатор  $\delta t_{\theta}$  и в пинч-точке  $\delta t_{\text{эк}}$ , а также КПД агрегатов, входящих в схему, задаться самостоятельно.

Расчет котла-утилизатора проводить при условии, что теплоемкость газов не зависит от температуры и равна  $c_{pg}=1,16$  кДж/(кг×К).

Температура наружного воздуха  $t_{н.в}=15^\circ\text{C}$ .

Недогревом питательной воды в экономайзере до температуры насыщения, нагревом воды в насосах и гидравлическими сопротивлениями тракта котла-утилизатора пренебречь.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: влияние различных факторов на технико-экономические показатели парогазовых установок	1. Давлением пара, генерируемого КУ, температурными напорами на входе газов в котел-утилизатор $\delta t_{\theta}$ и в пинч-точке $\delta t_{\text{эк}}$ , а также КПД агрегатов, входящих в схему, задаться самостоятельно.
Уметь: рассчитывать тепловые процессы в элементах парогазовых установок	1. Определить параметры пара и воды по всему тракту ПСУ (давления, температуры, влажность, энтальпии и расходы).
Уметь: определять технико-экономические показатели парогазовых установок	1. Определить абсолютные электрические КПД ПТУ, ПСУ и ПГУ, а также удельный расход условного топлива.
Уметь: рассчитывать тепловую схему парогазовой установки	1. Рассчитать тепловую мощность и КПД котла-утилизатора. 2. Рассчитать электрическую мощность ПТУ и ПГУ в целом.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если задача решена полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если задача решена в целом верно, но присутствуют арифметические ошибки в вычислениях, искажающие результат не более чем на 10%; не у всех величин указана размерность.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если либо не доделан последний пункт задания; либо использованы правильные формулы, но при подстановке значений допущены ошибки; либо присутствуют арифметические ошибки в вычислениях, искажающие результат не более чем на 20%.

**КМ-4. Выполнение пп. 3-5 расчетного задания «Расчет тепловой схемы парогазовой установки»**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Срок выполнения пп. 3-5 расчетного задания - до 12 недели. Оценивается правильность выполнения пунктов в установленные сроки. При выполнении расчетного задания для определения теплофизических свойств водяного пара используется программа WaterSteamPro.

**Краткое содержание задания:**

Приведено в КМ-2.

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: определять технико-экономические показатели парогазовых установок	1.4б. Определить КПД котла утилизатора, паросиловой установки и парогазовой установки 2.5. Провести анализ полученных основных технико-экономических показателей ПГУ и сделать выводы по работе.
Уметь: рассчитывать тепловую схему парогазовой установки	1.3а. Построить тепловую диаграмму котла утилизатора. 2.3б. Построить h,s-диаграмму процесса расширения в паровой турбине. 3.3в. Определить внутренние мощности отсеков паровой турбины. 4.4а. Рассчитать электрическую мощность на зажимах генератора паровой турбины и электрическую мощность ПГУ.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если либо в расчете присутствуют ошибки в заключительных действиях какого либо из пунктов, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте(ах); либо неверно указаны размерности величин; либо размерности величин не указаны; либо пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

*Оценка:* 3

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если пункты сделаны полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

### **КМ-5. Защита расчетного задания «Расчет тепловой схемы парогазовой установки»**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** К защите расчетного задания допускаются обучающиеся, полностью верно выполнившие расчетное задание и предоставившие тепловую диаграмму котла-утилизатора и  $h,s$ -диаграмму процесса расширения в паровой турбине. Время опроса - не более 15 мин.

#### **Краткое содержание задания:**

На защите обучающемуся задаются теоретические и практические вопросы по выполненному расчетному заданию.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: устройство, схемы и принципы работы комбинированных установок</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Какие элементы включает в себя одноконтурная ПГУ? Назовите назначения этих элементов.</li> <li>2.Назовите назначения основных элементов котла-утилизатора.</li> <li>3.Назовите области использования, преимущества и недостатки ПГУ с нагревом питательной воды выхлопными газами ГТУ.</li> <li>4.Назовите основные отличия паровых турбин ПГУ от традиционных паровых турбин ПТУ.</li> <li>5.Как классифицируются ПГУ по числу контуров генерации пара?</li> <li>6.Каковы особенности получения горячей сетевой воды на ПГУ-ТЭЦ?</li> </ol>
<p>Знать: влияние различных факторов на технико-экономические показатели парогазовых установок</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Почему ПГУ с дожиганием имеет меньшую экономичность, чем утилизационная ПГУ (при использовании одинаковых ГТУ)?</li> <li>2.Почему в котел-утилизатор ПГУ, работающей на природном газе, нельзя подавать конденсат с температурой ниже 60 °С? Какова должна быть эта температура при работе на дизельном топливе?</li> <li>3.Что такое пинч-точки и из каких соображений в них выбираются температурные напоры?</li> </ol>
<p>Знать: основы проектирования и методику конструкторского расчета тепловой схемы парогазовой установки утилизационного типа</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Изложите последовательность расчета тепловой схемы ПГУ.</li> <li>2.Перечислите исходные данные, которые необходимо иметь для расчета тепловой схемы утилизационной ПГУ.</li> </ol>



	<p>3. Запишите соотношения для определения экономических показателей одноконтурной ПГУ, считая известными экономические показатели ГТУ, КПД котла-утилизатора и внутреннюю мощность паровой турбины.</p> <p>4. С какой целью строится тепловая диаграмма для КУ?</p> <p>5. Назовите параметры рабочих тел, которые определяются при расчете КУ.</p>
Уметь: рассчитывать тепловые процессы в элементах парогазовых установок	<p>1. Запишите уравнение теплового баланса для деаэратора.</p> <p>2. Для каких элементов котельной установки формулируются уравнения теплового баланса, и какие параметры из них определяются?</p>
Уметь: объяснять физические принципы работы парогазовых установок	<p>1. Почему в ПГУ число контуров генерации пара не превышает трех?</p> <p>2. Почему, несмотря на невысокий КПД ПГУ утилизационной ПГУ, КПД последней является достаточно большим?</p> <p>3. Почему из ПГУ всех типов утилизационная является самой экономичной?</p> <p>4. Почему многовальные ПГУ всегда строят только с одной паровой турбиной?</p> <p>5. Назовите и обоснуйте основные особенности паротурбинного цикла утилизационной ПГУ.</p>
Уметь: анализировать влияние различных факторов на технико-экономические показатели парогазовых установок	<p>1. Можно ли при выбранной ГТУ, т.е. известных расходе и температуре выхлопных газов, и выбранных начальных параметрах пара получить любую температуру уходящих газов КУ?</p> <p>2. Какие параметры в исходных данных следует изменить, если при расчете тепловой схемы влажность за последней ступенью оказалась недопустимой?</p> <p>3. Какие факторы определяют выбор начальной температуры пара в утилизационной ПГУ?</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-6. Тест «Типы парогазовых установок. Парогазовые технологии для модернизации ТЭС»**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Время выполнения – не более 20 минут.

**Краткое содержание задания:**

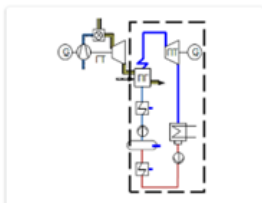
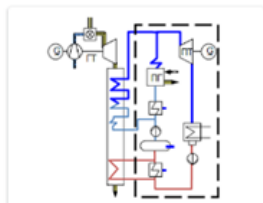
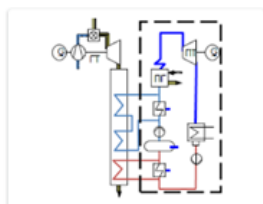
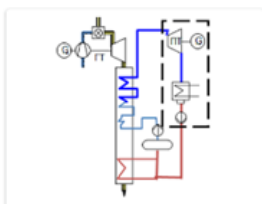
Тест состоит из 13 вопросов.

Максимальное количество баллов за все правильно выполненные тестовые задания – 100.

**Контрольные вопросы/задания:**

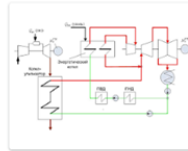
Знать: типы парогазовых установок и их основные характеристики

- |    |   |
|----|---|
| 1. | <p>В сбросной ПГУ отпадает необходимость в .... *</p> <p>3 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> регенеративных подогревателей</li><li><input type="radio"/> деаэраторе и конденсаторе</li><li><input type="radio"/> дутьевых вентиляторах и воздухоподогревателях</li><li><input type="radio"/> регенеративных подогревателей, включая деаэратор, и конденсаторе</li><li><input type="radio"/> воздушных вентиляторах, дымососах и насосах</li></ul>  |
| 2. | <p>При переходе к ПГУ с вытеснением регенерации отключение регенеративной системы ведет к: *</p> <p>10 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> снижению расхода пара в конденсатор</li><li><input type="checkbox"/> увеличению температуры питательной воды</li><li><input type="checkbox"/> снижению экономичности ПСУ</li><li><input type="checkbox"/> повышению экономичности ГТУ</li><li><input type="checkbox"/> увеличению мощности паровой турбины</li><li><input type="checkbox"/> увеличению мощности газовой турбины</li></ul>  |
| 3. | <p>Степень бинарности меньше 1 для следующих типов ПГУ: *</p> <p>10 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> с газопаровой турбиной</li><li><input type="checkbox"/> с вытеснением регенерации</li><li><input type="checkbox"/> с высоконапорным парогенератором</li><li><input type="checkbox"/> сбросной</li><li><input type="checkbox"/> с параллельной схемой</li><li><input type="checkbox"/> утилизационной</li><li><input type="checkbox"/> с дожиганием</li></ul>  |
| 4. | <p>При переходе к ПГУ с параллельной схемой, как правило, требуется поддерживать .... *</p> <p>5 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> неизменным расход топлива в камеру сгорания</li><li><input type="radio"/> неизменным расход топлива в энергетический котел</li><li><input type="radio"/> неизменным расход пара через последнюю ступень ЦНД</li><li><input type="radio"/> неизменным расход пара через последнюю ступень ЦВД</li><li><input type="radio"/> неизменной начальную температуру перед газовой турбиной</li><li><input type="radio"/> неизменным расход пара через турбину</li></ul> |

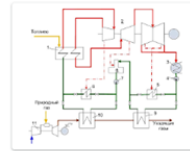
	<p>5. При реконструкции действующей паротурбинной установки, как правило, применяется ее перевод в .... * <span style="float: right;">10 баллов</span></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> ПГУ с параллельной схемой</li> <li><input type="checkbox"/> ПГУ с высоконапорным парогенератором</li> <li><input type="checkbox"/> сбросную ПГУ</li> <li><input type="checkbox"/> ПГУ-у</li> <li><input type="checkbox"/> ПГУ с газопаровой турбиной</li> <li><input type="checkbox"/> ПГУ с вытеснением регенерации</li> <li><input type="checkbox"/> ПГУ с дожиганием</li> </ul> <p>6. Дожигание топлива позволяет: * <span style="float: right;">10 баллов</span></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> стабилизировать параметры газа перед КУ</li> <li><input type="checkbox"/> увеличить мощность установки</li> <li><input type="checkbox"/> снизить стоимость установки</li> <li><input type="checkbox"/> повысить отпуск теплоты внешним потребителями</li> <li><input type="checkbox"/> увеличить КПД установки</li> <li><input type="checkbox"/> увеличить степень бинарности установки</li> </ul> <p>7. Дожигание в котле-утилизаторе всегда приводит .... * <span style="float: right;">5 баллов</span></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> к уменьшению степени бинарности и, следовательно, повышению экономичности цикла</li> <li><input type="radio"/> к повышению степени бинарности и, следовательно, экономичности цикла</li> <li><input type="radio"/> к уменьшению степени бинарности и, следовательно, экономичности цикла</li> <li><input type="radio"/> к повышению степени бинарности и, следовательно, уменьшению экономичности цикла</li> </ul> <p>8. Преимущества ПГУ с вытеснением паровой регенерации теплом газов ГТУ: * <span style="float: right;">10 баллов</span></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> возможность надстройки работающей ПСУ, использующей любое топливо</li> <li><input type="checkbox"/> повышение температуры питательной воды</li> <li><input type="checkbox"/> малый срок ввода в эксплуатацию</li> <li><input type="checkbox"/> повышение маневренности ТЭС</li> <li><input type="checkbox"/> снижение температуры уходящих газов после энергетического котла</li> </ul>
<p>Знать: устройство, схемы и принципы работы комбинированных установок</p>	<p>1. Укажите тепловую схему ПГУ с вытеснением паровой регенерации теплом газов ГТУ. * <span style="float: right;">5 баллов</span></p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p><input type="radio"/> Вариант 1</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p><input type="radio"/> Вариант 2</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p><input type="radio"/> Вариант 3</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p><input type="radio"/> Вариант 4</p> </div> </div>

Укажите тепловую схему сбросной ПГУ. \*

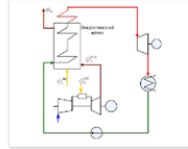
5 баллов



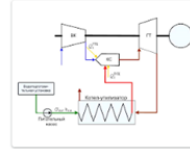
Вариант 3



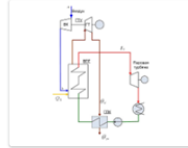
Вариант 1



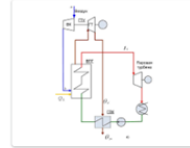
Вариант 4



Вариант 5



Вариант 2

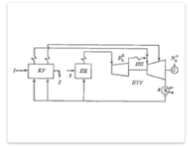


Вариант 6

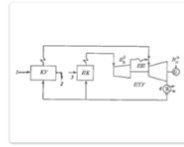
2.

Укажите ПГУ с параллельной схемой, в которой газовый промежуточный перегрев пара среднего давления осуществляется как в энергетическом котле, так и в КУ. \*

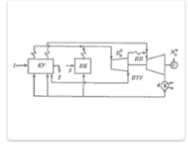
5 баллов



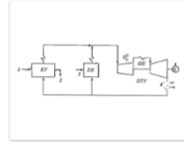
Вариант 3



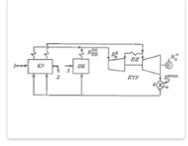
Вариант 4



Вариант 2



Вариант 5

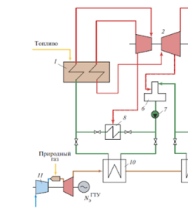


Вариант 1

3.

Укажите наименования элементов тепловой схемы ПГУ, представленной на рисунке.

11 баллов



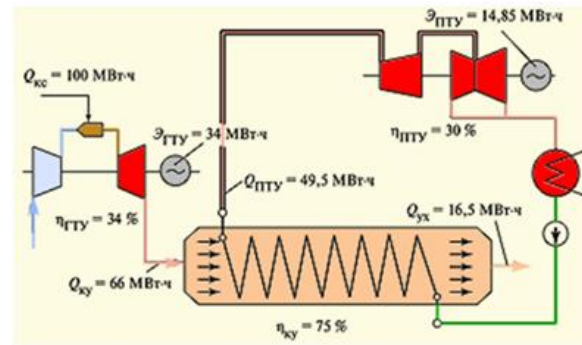
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
группа ГВД	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
паровая турбина	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
газовый подогреватель питательной воды	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
группа ГНД	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
энергетический котел	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
газовый подогреватель конденсата	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
питательный насос	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
конденсатор	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ГТУ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
конденсатный насос	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
деаэрактор	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4.

Уметь: определять технико-экономические показатели парогазовых установок

КПД ПГУ-У, представленной на рисунке, составляет .... \*

9 баллов



Мой ответ

1.

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если набрано не менее 90 баллов.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если набрано не менее 75 баллов.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если набрано не менее 60 баллов.



## Процедура проведения

Экзамен проводится в письменной форме по билетам согласно программе экзамена. Экзаменационный билет включает одну практическую задачу. Продолжительность письменного экзамена – не более 90 минут. Для решения практической задачи предоставляются справочные данные теплофизических свойств воды и водяного пара на основе справочника А.А. Александров, Б.А. Григорьев. – М. : Изд-во МЭИ, 1999 . – 168 с. - ISBN 5-7046-0397-1 и  $h,s$ -диаграмма для водяного пара (по справочнику "Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара").

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание закономерностей процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности

#### **Вопросы, задания**

1. Определить параметры рабочего тела: перед и за ВК, перед и за ГТ, на выходе из котла-утилизатора.
2. Определить параметры пара(воды): перед и за ПТ, в конденсаторе и перед котлом-утилизатором.

#### **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<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности

#### **Вопросы, задания**

1. Построить  $Q,t$ -диаграмму котла-утилизатора и  $h,s$ -диаграмму процесса расширения в паровой турбине.

#### **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

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ПК-1</sub> Выполняет комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности

#### **Вопросы, задания**

1. Рассчитать расходы воздуха, газа и топлива в ГТУ, расход пара в ПТУ, электрические мощности ПТУ и ПГУ.
2. Определить КПД ГТУ, ПТУ, ПСУ и комбинированной установки, а также ее удельный расход условного топлива.

#### **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 задача решена полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если задача решена в целом верно, но присутствуют арифметические ошибки в вычислениях, искажающие результат не более чем на 10%; не у всех величин указана размерность.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если либо не доделан последний пункт задания; либо использованы правильные формулы, но при подстановке значений допущены ошибки; либо присутствуют арифметические ошибки в вычислениях, искажающие результат не более чем на 20%.

## ***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.