

# Консультация №1 по курсовой работе

**Дисциплина «Энергетические установки высокой эффективности»**

## **ВВОДНОЕ ЗАНЯТИЕ. ВЫДАЧА ЗАДАНИЯ**

**Макаревич Елена Владимировна,**

к.т.н., доцент каф. «Тепловые электрические станции». Тел.: (495) 362-71-50,

[E-mail:iufemia@mail.ru](mailto:iufemia@mail.ru) , [МакаревичYV@mpei.ru](mailto:МакаревичYV@mpei.ru)



- 1. порядок работы в течение семестра;**
- 2. состав задания на КР;**
- 3. основные требования к оформлению;**
- 4. методика расчета состава и энтальпии продуктов сгорания газообразного топлива**
- 5. задание к следующему занятию**





№ занятия	Новый материал	Необходимо сдать
1	Получение задания на КР, основные требования к оформлению	
2	Учет аэродинамического сопротивления КУ, расчет камеры дожигания	Разработать тепловую схему и ее описание, составить задание, рассчитать характеристики топлива
3	Тепловой расчет КУ на примере ГТУ-ТЭЦ	Доработка тепловой схемы, расчет КД (при необходимости)
4	Тепловой расчет двухконтурного котла-утилизатора	Результаты теплового расчета котла-утилизатора
5	Расчет паротурбинной установки в составе ПГУ-ТЭС	Результаты расчета ПТУ
6	Расчет основных технико-экономических показателей ПГУ-ТЭС	Результаты расчета основных технико-экономических показателей ПГУ-ТЭС
7	Конструкторский расчет котла-утилизатора	Результаты конструкторского расчета котла-утилизатора
8	Уточнение вопросов	Уточнение вопросов
9	Зачёт	Защита курсовой работы





Каждому студенту выдается индивидуальное задание с основными исходными данными, краткими требованиями к оформлению и указанием срока сдачи на проверку



№	ВЕЛИЧИНА	Обозн.	Задание
1	Вид и сжигаемого топлива (см. приложение 1, табл. П.1)	-	
2	Давление топлива в магистрали, МПа	$P_m$	
3	Давление топлива в КС ГТУ, МПа	$P_g$	
4	Тип котла-утилизатора	-	
<b>Характеристики энергетической ГТУ</b>			
5	Электрическая мощность ГТУ (автономный режим), МВт	$N_{г}^{э,авт}$	
6	КПД производства электроэнергии в автономном режиме, %		
7	Массовый расход выходных газов ГТУ, кг/с	$G_{гг}$	
8	Температура выходных газов ГТУ, °С	$T_{гг}$	
9	Избыток воздуха в выходных газах ГТУ	$\alpha_{гг}$	
<b>Характеристика ПГУ/ГТЭС</b>			
10	Давление перегретого пара ВД, МПа		
11	Давление перегретого пара НД, МПа		
12	Недогрев на горячем конце пароперегревателя ВД, °С		
13	Температура перегретого пара НД, °С		
14	Температурный напор на холодном конце испарителя ВД, °С	$\Theta_1$	
15	Температурный напор на холодном конце испарителя НД, °С	$\Theta_2$	
16	Температура уходящих газов КУ, °С	$T_{гк}$	
17	Температура конденсата (воды) на входе в КУ, °С		
18	Температура обратной сетевой воды, °С	$T_{об}$	
19	Температура прямой сетевой воды, °С	$T_{пр}$	
20	Давление технологического пара, МПа	$P_{п}$	
21	Температура технологического пара, °С	$T_{п}$	
22	Расход технологического пара на потребителя, кг/с	$G_{п}$	
23	Тепловая нагрузка паровой турбины ( $D_{тур} = 5-7\% D_{гг}^{ВД}$ )	$Q_{т}^{ТФУ}$	расчет
24	Давление пара в конденсаторе ПТУ, кПа	$p_{к}$	
<b>Характеристики труб поверхностей КУ и их оребрения</b>			
25	Наружный диаметр трубы, мм	$d_{тп}$	
26	Шаг между ребрами труб, мм	$S_{рб}$	
27	Высота ребер, мм	$h_{рб}$	
28	Толщина ребра, мм	$\delta_{рб}$	
29	Толщина стенки трубы, мм	$\delta_{тп}$	
30	Поперечный шаг, мм	$S_1$	
31	Продольный шаг, мм	$S_2$	
<b>Характеристики ПГУ</b>			
32	Доля расхода электроэнергии на собственные нужды в схеме ПГУ/ГТЭС без учета ДК, %	$\varepsilon_{сн}$	



Оформление курсовой работы ведется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к технической документации:

1. ГОСТ 7.32 – 2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления
2. ГОСТ 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам
3. ГОСТ 8.417 – 81 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин

В тексте работы обязательно должны быть три приведенных ниже таблицы, прочие таблицы приводятся при необходимости .



Таблица 1 – Результаты теплового расчета котла-утилизатора

Поверхность	Температура дымовых газов, °С		Температура воды/пара, °С		Тепловой поток, МВт
	ВХОД	ВЫХОД	ВХОД	ВЫХОД	
ПЕ					
...					



Таблица 2 – Основные энергетические показатели ПГУ/ГТУ-ТЭС

Наименование	Разм-ть	Значение
Электрическая мощность ПГУ/ГТЭС:	МВт	
мощность ГТУ	МВт	
мощность ПТУ	МВт	
Тепловая мощность	МВт	
Коэффициент использования теплоты топлива	%	
КПД по производству электрической энергии (брутто)	%	
КПД по отпуску электрической энергии (нетто)	%	
КПД по производству тепловой энергии	%	
Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии (брутто)	г/кВт*ч	
Удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии (нетто)	г/кВт*ч	
Удельный расход условного топлива на выработку тепловой энергии	кг/Гкал	



Таблица 3 – Результаты конструкторского расчета котла-утилизатора

Поверхность	Среднелогарифмический температурный напор, °С	Коэффициент теплопередачи, Вт/м <sup>2</sup> *К	Площадь, м <sup>2</sup>		Компоновочные решения
			ТО, м <sup>2</sup>	Металл, м <sup>2</sup>	
ПЕ					
...					

Разница между площадью поверхности КУ, определенной из условий теплообмена и «площадью в металле» должна составлять не более 2 %.



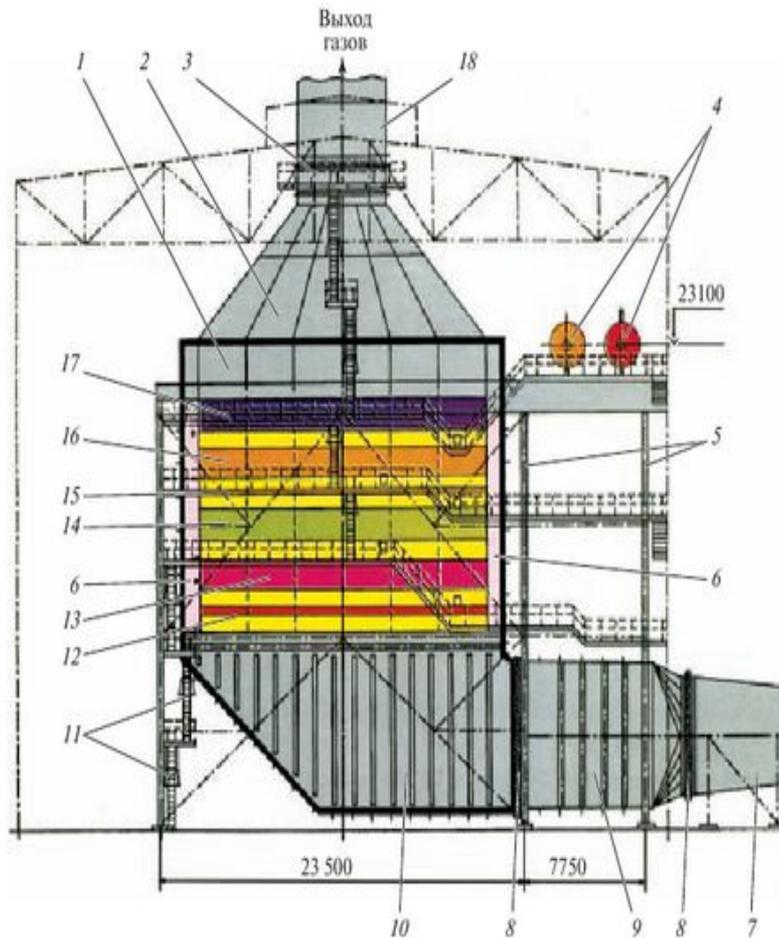


Рисунок 1– Разрез котла-утилизатора

1 – основной газоход КУ; 2 – конфузор; 3 – шибер; 4 – барабаны; 5 – колонны каркаса; 6 – «теплый ящик»; 7 – выходной диффузор ГТУ; 8 – компенсаторы; 9 – входной газоход КУ; 10 – поворотный короб; 11 – лестничные марши; 12 – ППВД; 13 – ИВД; 14 – ЭВД; 15 – ППНД; 16 – ИНД; 17 – ГПК; 18 – выходной газоход



## Необходимые рисунки в тексте записки

1. Принципиальная тепловая схема ПГУ-ТЭС/ГТЭС
2. «Q-t» диаграмма КУ
3. Компоновка котла-утилизатора (разрез)
4. Процесс расширения пара в ПТ в h-S диаграмме  
(при необходимости)



## Чертежи

- ✓ Принципиальная тепловая схема ПГУ-ТЭС/ГТЭС
- ✓ Компоновка котла-утилизатора, «Q-t» диаграмма КУ, основные таблицы результатов
- ✓ Техничко-экономические показатели и процесс расширения пара в ПТ в h-S диаграмме



1. ПГУ-ТЭЦ с одноконтурным котлом-утилизатором с конденсационной ПТУ и дожиганием топлива
2. ПГУ-ТЭЦ с одноконтурным котлом-утилизатором с конденсационной ПТУ и оптимизацией начальной температуры
3. ПГУ-ТЭЦ с одноконтурным котлом-утилизатором с конденсационной ПТУ и оптимизацией начального давления
4. ПГУ-ТЭЦ с двухконтурным котлом-утилизатором и Т-турбиной
5. Промышленно-отопительная ГТУ-ТЭЦ





1. Составить и дать описание принципиальной тепловой схемы парогазовой (газотурбинной) ТЭЦ (КЭС) (далее для примера – ПГУ-ТЭС) с одноконтурным (двухконтурным) котлом-утилизатором (КУ) с газовым сетевым подогревателем (ГСП). Предусмотреть деаэратор питательной воды, питательный насос, конденсатный насос, паротурбинную установку с конденсатором без регенеративных отборов пара, а также насос рециркуляции воды на входе конденсата в КУ. При необходимости установить КД;
2. Выполнить расчет теплофизических свойств газов ГТУ;
3. Оценить влияние аэродинамического сопротивления КУ на параметры выхлопных газов ГТУ;
4. Выполнить расчет тепловых балансов элементов КУ с составлением  $Q, T$  – диаграммы теплообмена. Совместить эти расчеты с тепловым и материальным балансами деаэратора;
5. Составить принципиальную тепловую схему паротурбинной установки, рассчитать величины внутреннего относительного КПД  $\eta_{oi}$  ЧВД и ЧНД паровой турбины и построить процесс расширения пара в ПТ в  $h, s$ -диаграмме. Составить энергетическое уравнение паротурбинной установки и определить ее электрическую мощность;
6. Определить энергетические показатели ПГУ ТЭС :
  - ✓ общую электрическую мощность ПГУ с учетом коррекции мощности ГТУ в составе тепловой схемы ПГУ;
  - ✓ коэффициент использования теплоты топлива;
  - ✓ КПД производства электроэнергии ПГУ брутто и нетто;
  - ✓ КПД производства тепловой энергии;
  - ✓ удельный расход условного топлива на единицу отпускаемой электрической и тепловой энергии ПГУ.
7. Выполнить конструкторский расчет КУ, определить площадь поверхностей нагрева его элементов; использовать характеристики труб и их оребрения для определения конструкции КУ, дать ее описание, в т.ч. указать как подводится и отводится рабочее тело из элементов КУ. Привести общий вид котла и элементов его конструкции.
8. Сделать выводы о проделанной работе и полученных результатах



Теоретическое количество воздуха, необходимого для полного сгорания 1 м<sup>3</sup> сухого газообразного топлива, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:

$$V_0 = 0,0476 \times \left[ 0,5 \times (H_2 + CO) + \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) \times C_m H_n + 1,5 \times H_2S - O_2 \right]$$

Объемный состав (м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>), продуктов сгорания газообразного топлива может быть определен по следующим формулам:

$$V_{N_2} = 0,79 \times V_0 \times \alpha + \frac{N_2}{100} \qquad V_{O_2} = 0,21 \times (\alpha - 1) \times V_0$$

$$V_{RO_2} = 0,01 \times (CO + CO_2 + H_2S + \sum m \times C_m H_n)$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \times \left[ H_2 + \sum \left( \frac{n}{2} \right) \times C_m H_n + 0,124 \times d_{г.тл.} \right] + 0,0161 \times V_0 \times \alpha$$

$H_2, CO_2, CO, C_m H_n, N_2, H_2S$  – объемные содержания компонентов топлива, %;

$d_{г.тл.}$  – влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1 м<sup>3</sup> сухого газа, г/м<sup>3</sup>.



Полный относительный объем продуктов сгорания газового топлива:

$$V_{\Gamma} = V_{N_2} + V_{RO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2}$$

Объемные доли продуктов сгорания:

$$r_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{\Gamma}} \quad r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\Gamma}} \quad r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\Gamma}} \quad r_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_{\Gamma}}$$

Параметр  $\beta$  для газовой смеси известного состава выражается уравнением:

$$\beta_{\Gamma} = 0,94 \times r_{N_2} + 4,00 \times r_{RO_2} + 2,20 \times r_{H_2O} + 1,23 \times r_{O_2}$$

Молекулярная масса продуктов сгорания:

$$\mu_{\Gamma} = 28,15 \times r_{N_2} + 44,01 \times r_{RO_2} + 18,02 \times r_{H_2O} + 32,00 \times r_{O_2}$$



## Основная литература:

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электрических станций. – М.: Изд-во МЭИ, 2009.– 584 с.
2. Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С. Осыка; под ред. С. В. Цанева. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 428 с.
3. Выбор начальных параметров пара конденсационных парогазовых установок с котлами-утилизаторами одного давления : Учебное пособие по курсу "Парогазовые и газотурбинные установки электростанций" по направлению "Теплоэнергетика" / [С. В. Цанев](#), [В. Д. Буров](#), [В. Е. Торжков](#), [Моск. энерг. ин-т \(МЭИ ТУ\)](#) . – М. : Изд-во МЭИ, 2004 . – 52 с.
4. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов / Трухний А.Д. – М: Издательский дом МЭИ, 2013 – 648 с. ил.
5. Цанев С.В., Буров В.Д. и др. Расчет показателей тепловых схем и элементов ГТУ и ПГУ электростанций, Изд-во МЭИ, 2000.
6. Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С. Осыка; под ред. С. В. Цанева. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011.
7. Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.-648 с.:ил.
8. Основы проектирования тепловой схемы энергоблоков ТЭС на суперкритических параметрах: учеб.пособие / Е.В. Дорохов, А.С. Седлов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.-152 с.
9. Газотурбинные и парогазовые установки с впрыском пара: учебное пособие / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.А. Дудолин.-М.: Издательский дом МЭИ, 2010.-80 с.

## Дополнительная литература:

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2003.
2. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций / Абрамов А.И., Елизаров Д.П., Ремезов А.Н. и др.; Под ред. А.С. Седлова. М.: Изд-во МЭИ, 2001.
3. Паровые и газовые турбины. Сборник задач. /Под ред. Б.М. Трояновского, Г.С. Самойловича. - М.: Энергоатомиздат. 1987.
4. А.Д. Трухний. Стационарные паровые турбины. - М.: Энергоатомиздат. 1990.
5. Трухний А.Д., Ломакин Б.В. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки. – М.: Издательство МЭИ, 2002.
6. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые электрические станции. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
7. Тепловые электрические станции. Учебник для вузов, В.Д.Буров, Е.В.Дорохов, Д.П.Елизаров и др. Под ред. В.М.Лавыгина, А.С. Седлова, С.В.Цанева. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
8. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов.-6-е изд., перераб.-М.: Издательство МЭИ, 2001.
9. С.Л. Ривкин «Термодинамические свойства воздуха и продуктов сгорания топлив» / Справочник, Москва, Энергоатомиздат 1984, 104с.



1. Подобрать необходимую литературу;
2. На основании полученного задания разработать принципиальную тепловую схему, составить ее описание ;
3. Переформулировать типовое задание в соответствии с разработанной тепловой схемой;
4. Выполнить расчет теплофизических свойств газов ГТУ.

