



## Консультация №1 по курсовой работе

Дисциплина «Экологически безопасные технологии на ТЭС»

# ТЕПЛОВАЯ СХЕМА , ПОДГОТОВКА К РАСЧЕТУ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ

**Макаревич Елена Владимировна,**

к.т.н., доцент каф. «Тепловые электрические станции»

[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. принципиальная тепловая схема ПГУ-КЭС;**
- 5. методика расчета состава и энтальпии продуктов сгорания газообразного топлива;**
- 6. примеры тепловых схем, алгоритм расчета;**
- 7. учет влияния аэродинамического сопротивления КУ;**
- 8. коррекция основных характеристик продуктов сгорания газообразного топлива**



## Основная литература:

1. Цанев С.В., Буров В.Д. и др. Расчет показателей тепловых схем и элементов ГТУ и ПГУ электростанций, Изд-во МЭИ, 2000.
2. Методика расчета тепловых схем газотурбинных и парогазовых электростанций/ Цанев С.В., Буров В.Д., Соколова М.А., Торжков В.Е. – М.: Издательство МЭИ, 2004.- 48 с.
3. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электрических станций. – М.: Изд-во МЭИ, 2009.– 584 с.
4. 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.
5. 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.
6. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов / Трухний А.Д. – М: Издательский дом МЭИ, 2013 – 648 с. ил.
7. 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.

## 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. А.Д. Трухний. Стационарные паровые турбины. - М.: Энергоатомиздат. 1990.
4. 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.
5. С.Л. Ривкин «Термодинамические свойства воздуха и продуктов сгорания топлив» / Справочник, Москва, Энергоатомиздат 1984, 104с.



# ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ



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 две приведенные ниже таблицы, прочие таблицы приводятся при необходимости .



Таблица 1.1 – Результаты теплового расчета котла-утилизатора

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

Таблица 1.2 – Основные энергетические показатели ПГУ-ТЭС

Наименование	Размерность	Значение
Электрическая мощность ПГУ-ТЭС:	МВт	
мощность ГТУ	МВт	
мощность ПТУ	МВт	
Тепловая мощность ГВТО	МВт	
Расход топлива:	кг/с	
на ГТУ	кг/с	
в камеру дожигания	кг/с	
Коэффициент использования теплоты топлива	%	
КПД по производству электрической энергии (брутто)	%	
КПД по производству электрической энергии (нетто)	%	
КПД по производству тепловой энергии	%	
Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии (брутто)	г/кВт*ч	
Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии (нетто)	г/кВт*ч	
Удельный расход условного топлива на выработку тепловой энергии	кг/Гкал	



### Необходимые рисунки в тексте записки

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



### Чертежи - А3

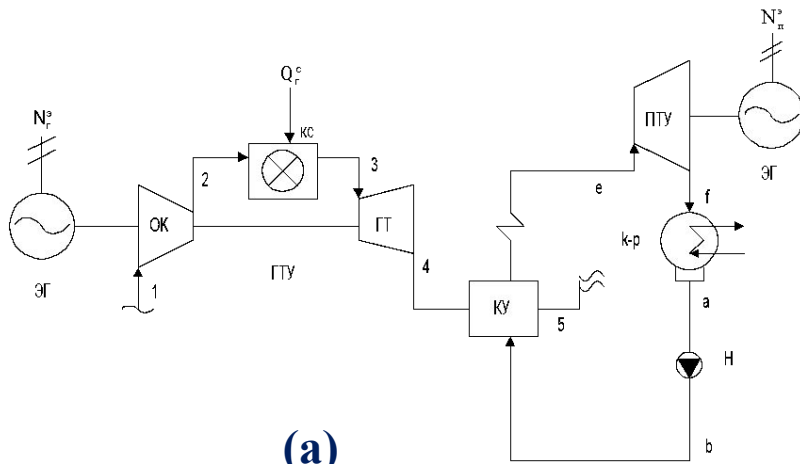
1. Принципиальная тепловая схема ПГУ-ТЭС (рисунок 1.1+ таблица 1.2)
2. Основные результаты расчета (рисунок 1.2, таблица 1.1, рисунок 1.3)



# ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕПЛОВАЯ СХЕМА ПАРОГАЗОВОЙ ТЭС С ОДНОКОНТУРНЫМ КОТЛОМ-УТИЛИЗАТОРОМ



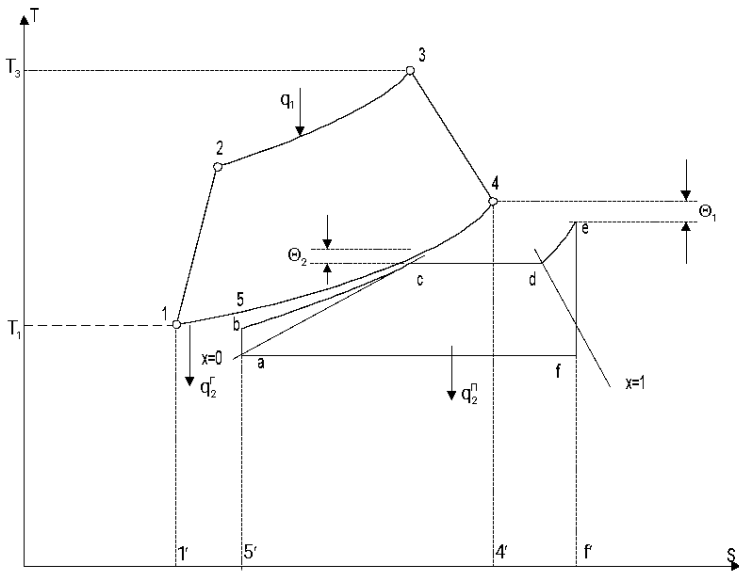




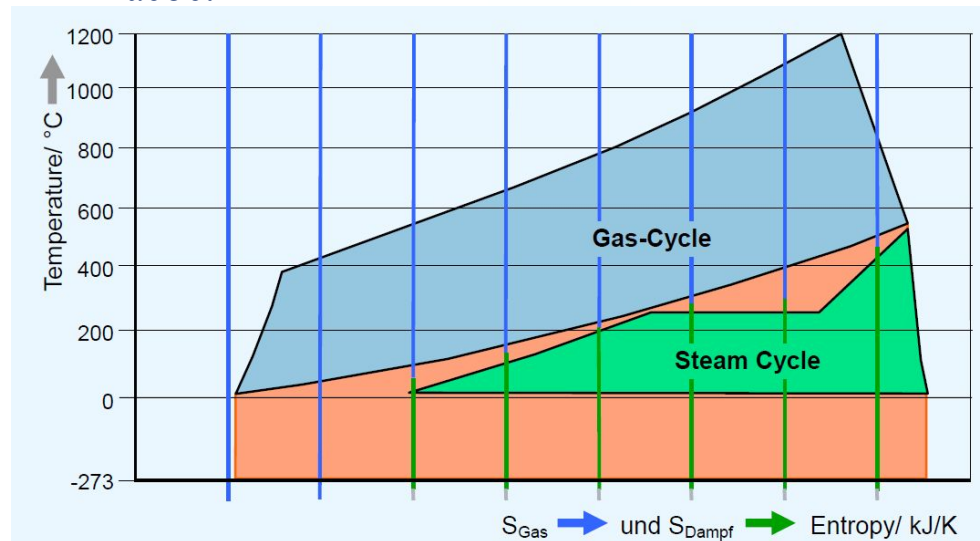
(a)

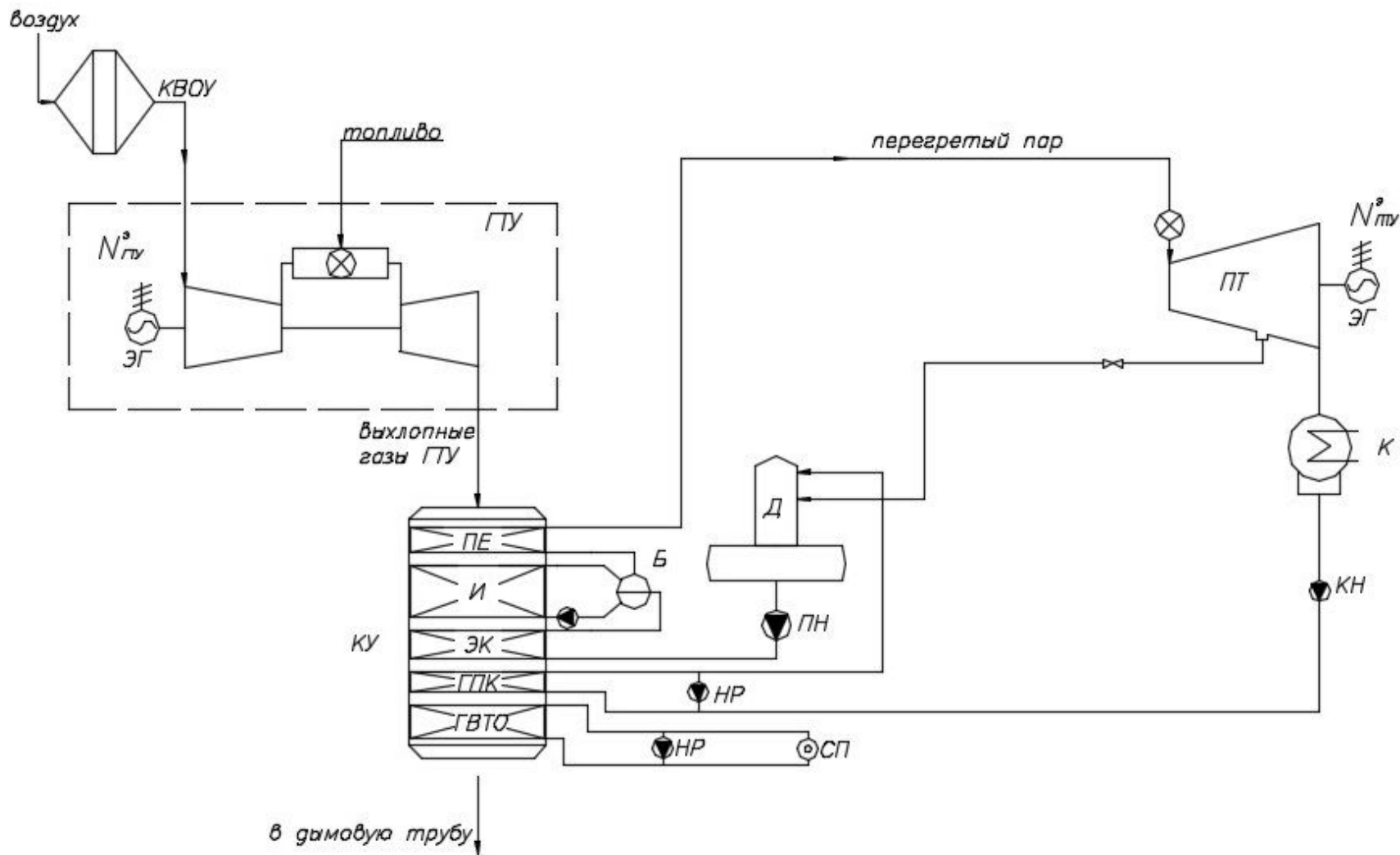
**Простейшая тепловая схема (а) и цикл Брайтона – Ренкина в TS-диаграмме (б) ПГУ с котлом-утилизатором:**

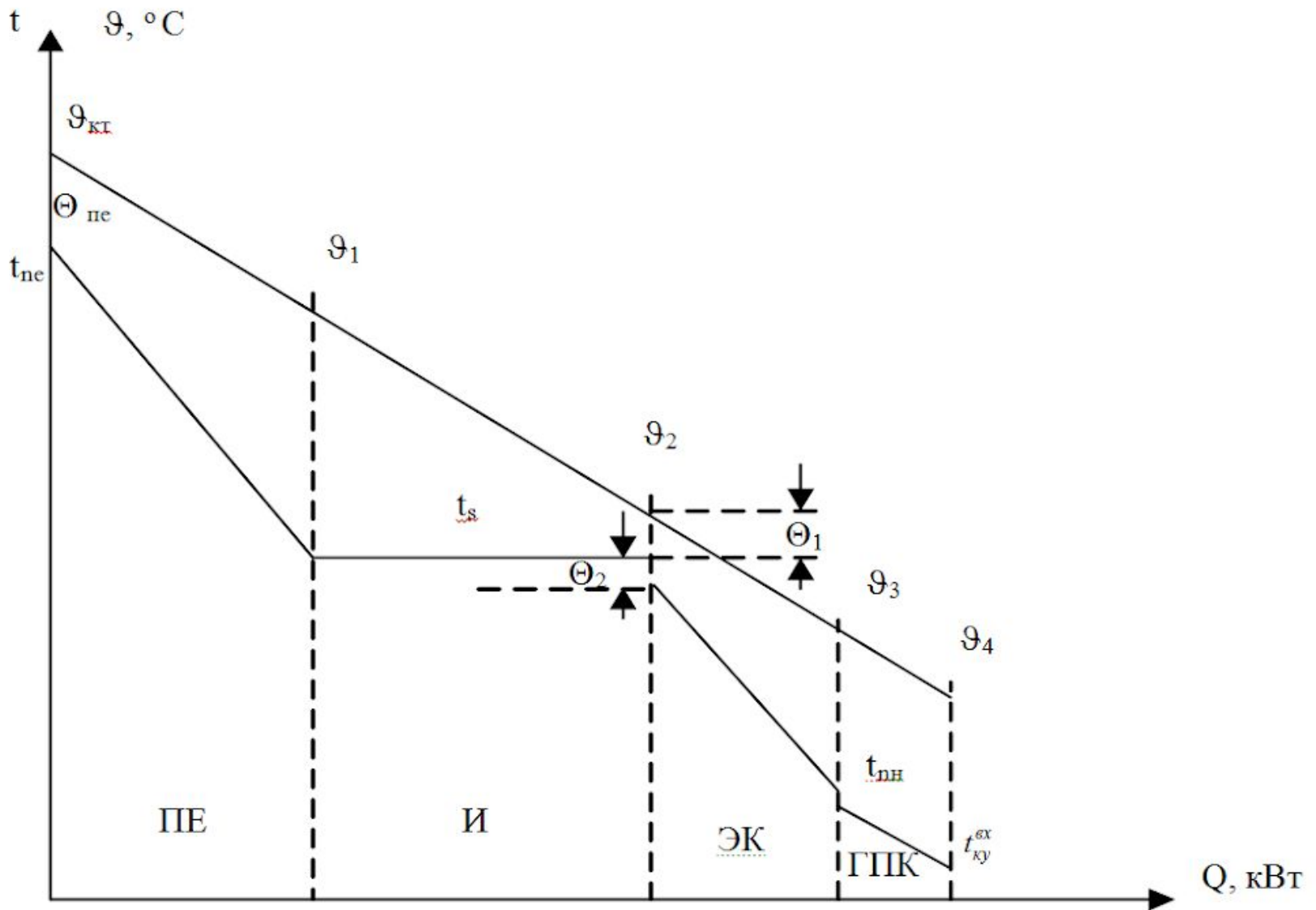
- ОК – осевой компрессор;
- КС – камера сгорания;
- ГТ – газовая турбина;
- ЭГ – электрогенератор;
- ГТУ – газотурбинная установка;
- КУ – котел-утилизатор;
- К – конденсатор;
- Н – насос.



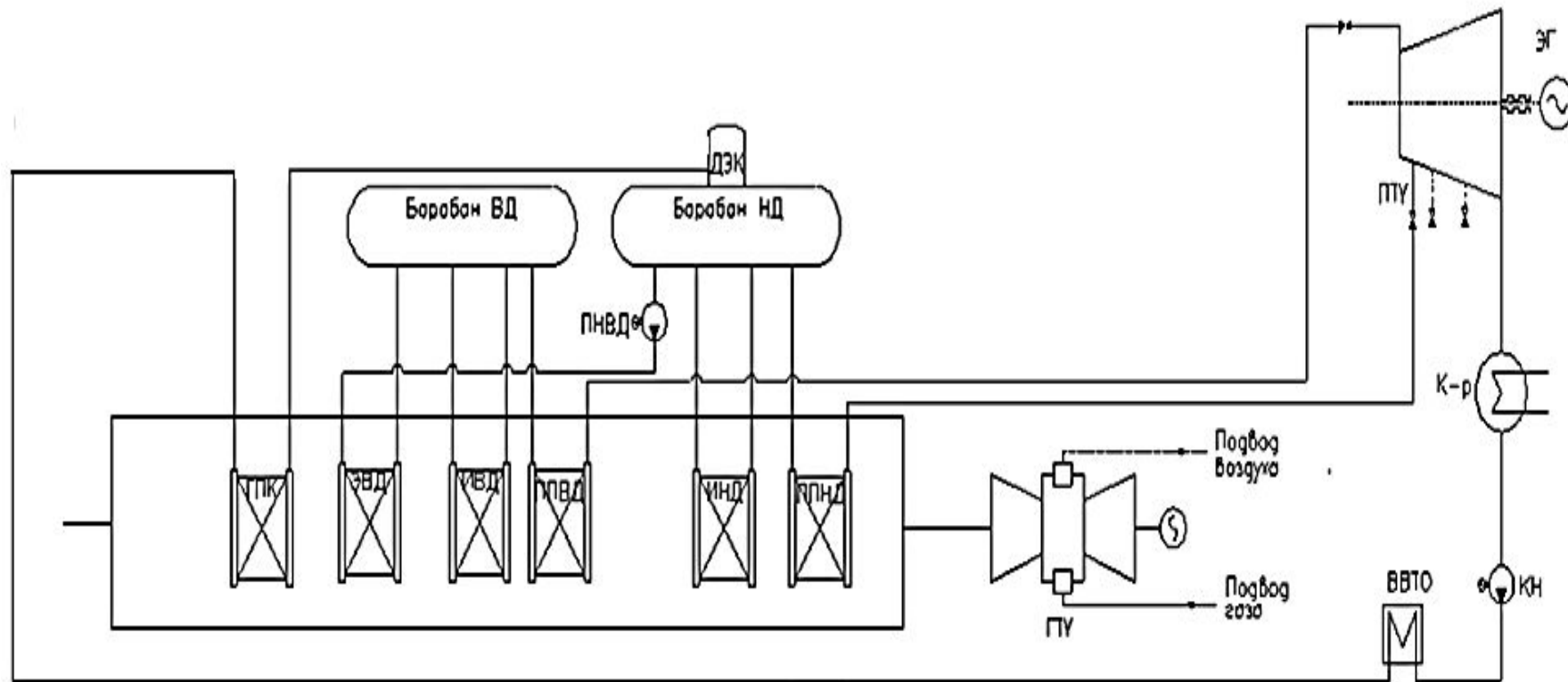
(б)







Предусмотреть установку ГВТО !!!



## Принципиальная тепловая схема энергоблока ПГУ-60

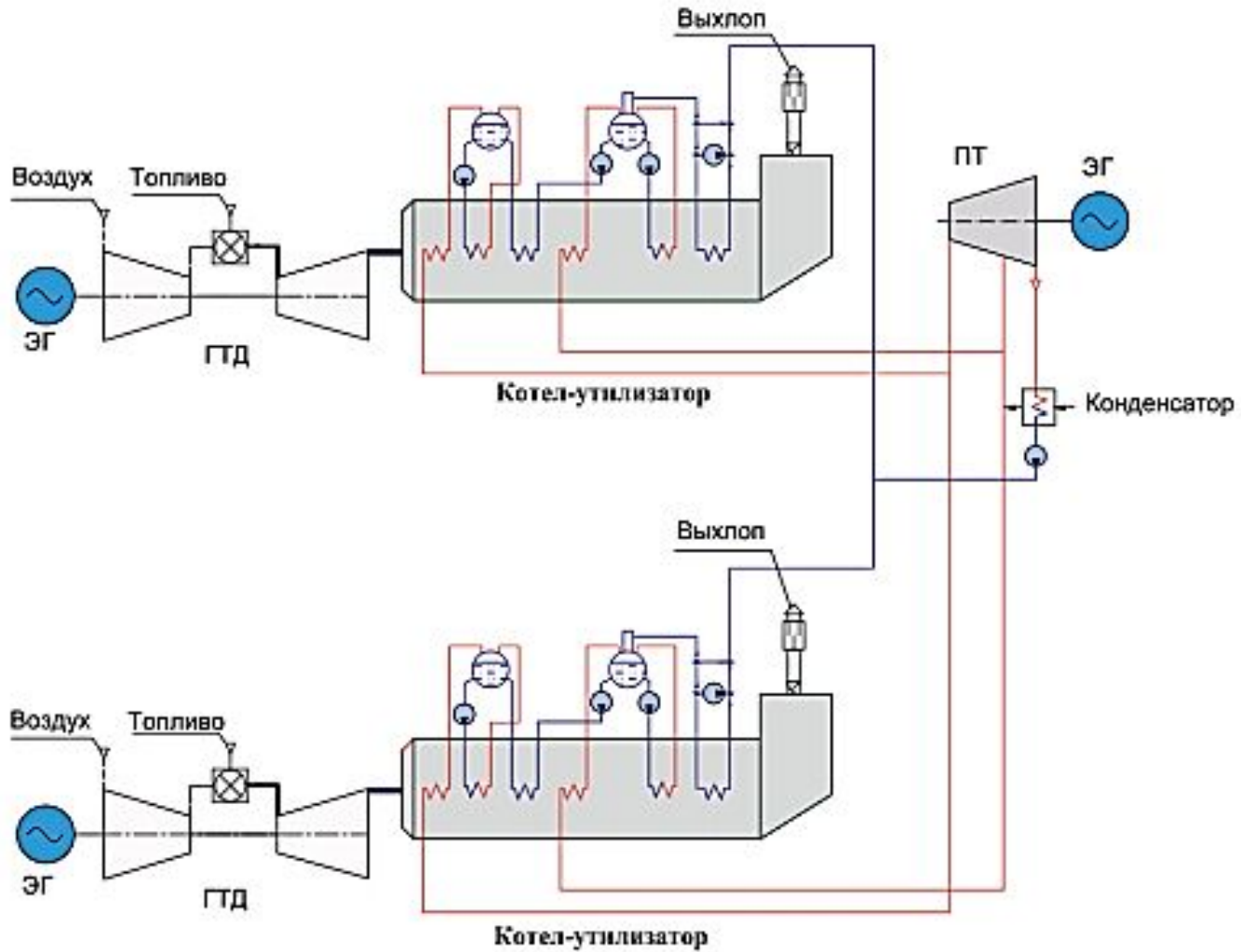
ДЭК – колонка деаэрационная, ИВД (ИНД) – испаритель высокого, низкого давления; К-р – конденсатор, барабан НД (ВД) – барабан низкого давления (высокого давления), КН – конденсационный насос, (высокого давления), ППВД (ППНД) – перегреватель высокого давления (низкого давления), ВВТО – водоводяной теплообменник



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ МЭИ  
КАФЕДРА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ



# КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ









# РАСЧЕТ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗОВ



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:

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



# УЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА



Утилизация части теплоты уходящих газов ГТУ в тепловых схемах ПГУ связана с некоторым повышением сопротивления выхлопного тракта и ростом давления газов за газовой турбиной, что приводит к небольшому снижению электрической нагрузки, а соответственно и КПД, и к незначительному увеличению температуры газов за ГТУ.

Принимаем дополнительное аэродинамическое сопротивление на выхлопе ГТУ:  $\Delta p_{\text{ВЫХ}}^{\text{ГТ}}$

- ✓ за счет установки камеры дожигания – 1 кПа;
- ✓ за счет установки котла-утилизатора от 1 до 2 кПа.

Относительная величина потери давления на выхлопе турбины:  $\delta p_{\text{ВЫХ}}^{\text{ГТ}} = \frac{\Delta p_{\text{ВЫХ}}^{\text{ГТ}}}{p_{\text{атм}}}$

Коэффициент повышения температуры:  $K_g = 1 + 0,272 \cdot \delta p_{\text{ВЫХ}}^{\text{ГТ}}$

Температура продуктов сгорания на выходе из турбины, работающей с КУ:  $\vartheta_{\text{кт}} = K_g \cdot \vartheta_{\text{кт}}^{\text{авт}}$

Коэффициент снижения мощности и КПД:  $K_N = 1 - 0,55 \cdot \delta p_{\text{ВЫХ}}^{\text{ГТ}}$

Мощность ГТУ с котлом утилизатором:  $N_{\text{ГТУ}}^{\vartheta} = K_N \cdot N_{\text{ГТУ}}^{\vartheta-\text{авт}}$





1. Составить и дать описание принципиальной тепловой схемы парогазовой ТЭС с одноконтурным котлом-утилизатором (КУ) с газовым подогревателем конденсата (ГПК) и газовойводяным теплообменником (ГВТО). Предусмотреть атмосферный деаэратор питательной воды, питательный насос, конденсатный насос, паротурбинную установку с конденсатором с регенеративным отбором пара на деаэратор, а также насос рециркуляции воды на входе конденсата в КУ и другие необходимые элементы;
2. Выполнить расчет теплофизических свойств газов ГТУ;
3. Оценить влияние аэродинамического сопротивления КУ на параметры выхлопных газов ГТУ;

