

## Консультация №2 по курсовой работе

Дисциплина «Экологически безопасные технологии на ТЭС»

### ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПГУ-ТЭС

**Макаревич Елена Владимировна,**

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

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

**Олейникова Евгения Николаевна,**

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

[E-mail: OleynikovaYN@mpei.ru](mailto:OleynikovaYN@mpei.ru)



- 1. тепловая схема промышленно-отопительной ГТУ-ТЭЦ;**
- 2. уравнения тепловых балансов для поверхностей котла-утилизатора;**
- 3. построение  $Q-t$  диаграммы процессов теплообмена одноконтурного котла-утилизатора.**



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 1.1 – Результаты теплового расчета котла-утилизатора

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



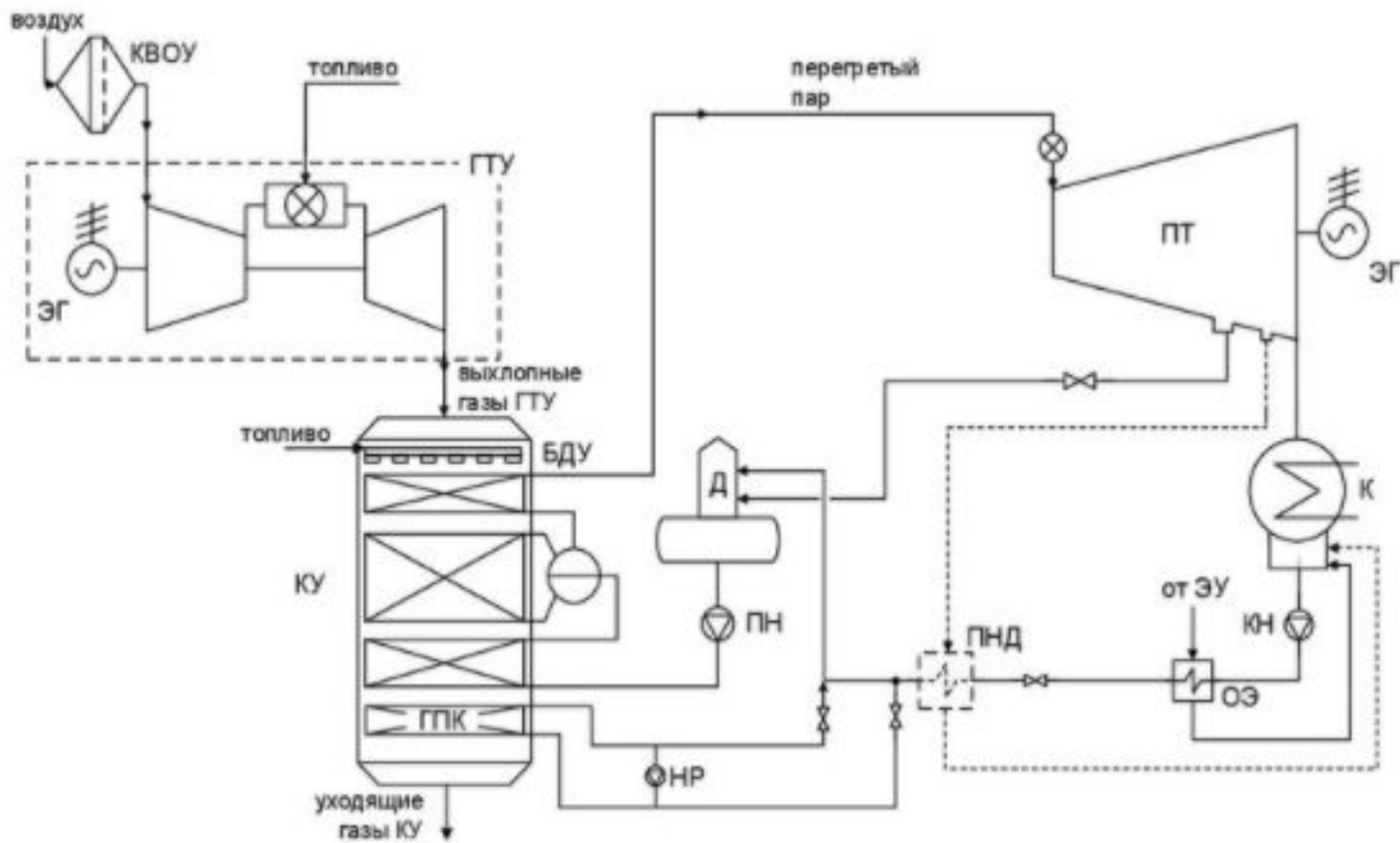
### Необходимые рисунки в тексте записки

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

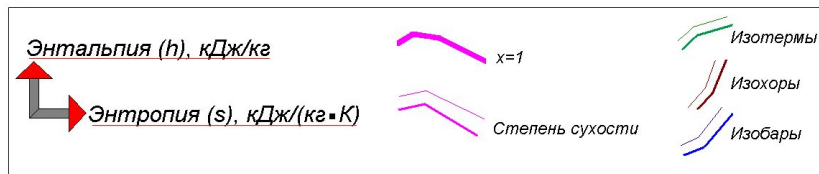
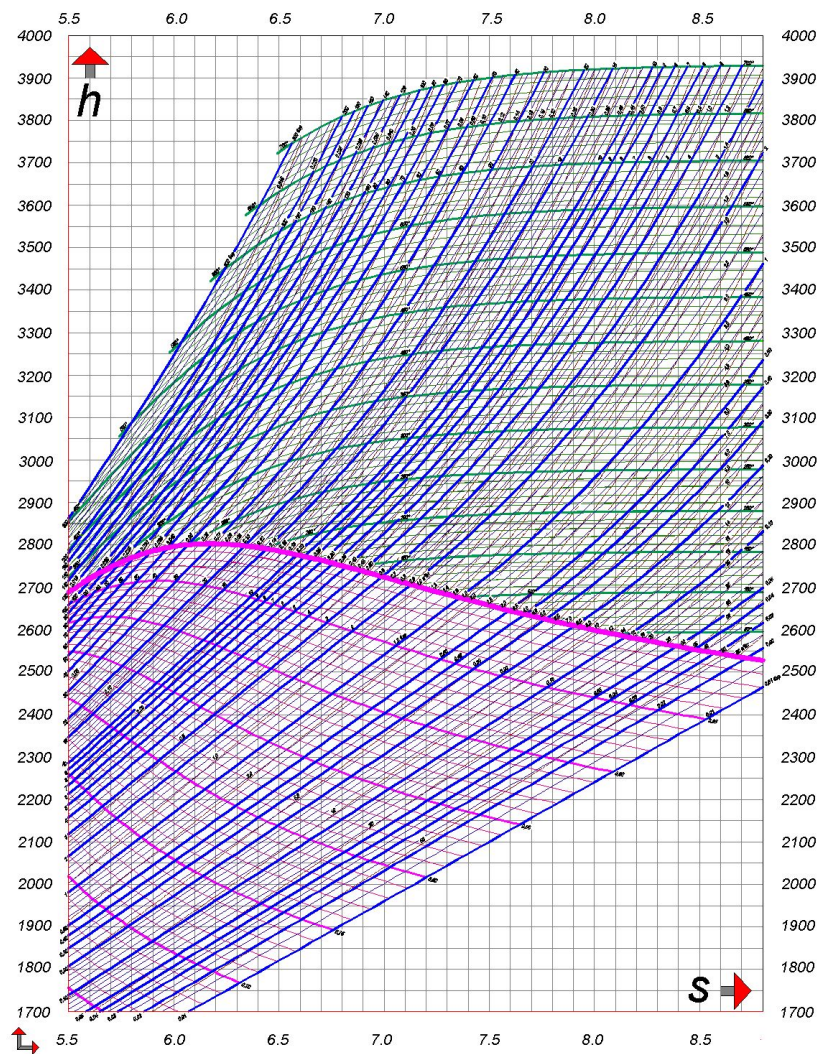


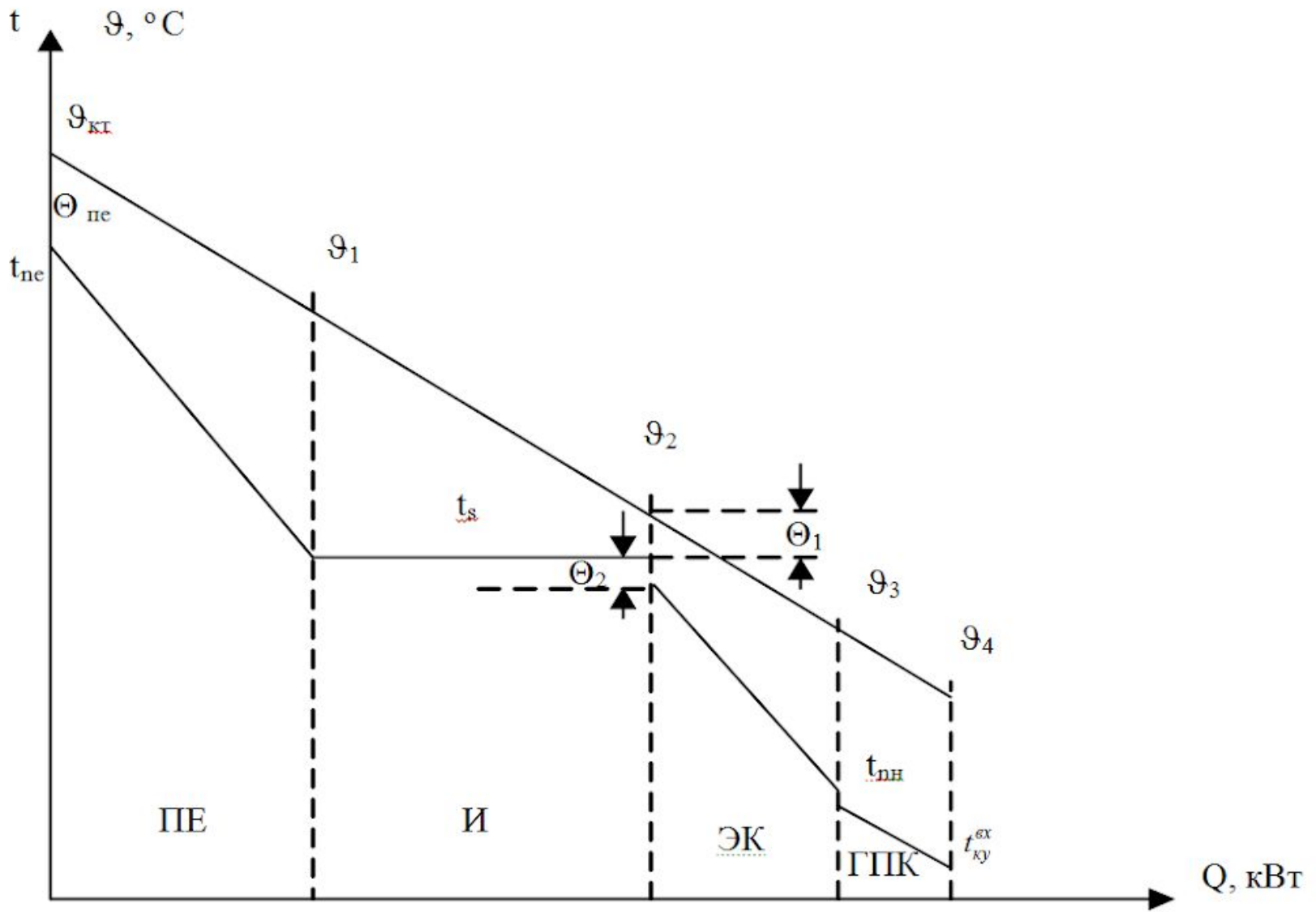
### Чертежи - А3

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)



# h, s - диаграмма ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА





Предусмотреть установку ГВТО !!!



# ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА





1. Для любой из поверхностей нагрева котла-утилизатора (пароперегревателя, испарителя и т.д.) можно записать уравнение количества теплоты, передаваемой выхлопными газами ГТУ пароводяному рабочему телу:

$$Q_i = G_{\text{КТ}} \times \Delta h_{\text{Г},i} \times \varphi = D_{\text{ПВ},i} \times \Delta h_{\text{ПВ},i} = k_i \times F_i \times \Delta t_{\text{СР},i}^{\text{ЛОГ}}$$

$G_{\text{КТ}}$

$D_{\text{ПВ},i}$  – расходы газов за ГТУ и пароводяного рабочего тела, кг/с;

$\Delta h_{\text{ПВ},i}$

$\Delta h_{\text{Г},i}$  – разности энтальпий, соответственно, газов и пароводяного рабочего тела, кДж/кг;

$k_i$

– средний коэффициент теплопередачи в « $i$ -й» поверхности нагрева, [кВт/м<sup>2</sup>К];

$F_i$

– площадь « $i$ -й» поверхности нагрева, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{\text{СР},i}^{\text{ЛОГ}}$

– среднелогарифмический температурный напор в « $i$ -й» поверхности нагрева, градус;

$\varphi$

– коэффициент сохранения теплоты в КУ ( $\varphi = 0,994 \div 0,996$ ).



Уравнения тепловых балансов парогенерирующей части котла-утилизатора

ПЕ 
$$G_{\text{КУ}} (h_{\text{КД}} - h_1) \times \varphi = D_{\text{ПЕ}} \times (h_{\text{ПЕ}} - h_{\text{Б}}^{\text{II}}) = Q_{\text{ПЕ}}$$

И 
$$G_{\text{КУ}} \times (h_1 - h_2) \times \varphi = D_{\text{ПЕ}} \times (h_{\text{Б}}^{\text{II}} - h_{\text{ЭК}}^{\text{ВЫХ}}) = Q_{\text{И}}$$

ЭК 
$$G_{\text{КУ}} \times (h_2 - h_3) \times \varphi = D_{\text{ПЕ}} \times (h_{\text{ЭК}}^{\text{ВЫХ}} - h_{\text{ПН}}) = Q_{\text{ЭК}}$$

Основные допущения и ограничения:

1. гидравлическое сопротивление пароперегревателя, что позволяет определить температуру насыщения в барабане котла-утилизатора, принимаем 0,2-0,4 МПа :
2. задаемся температурным напором на «горячем» конце пароперегревателя (по исходным данным)
3. задаемся температурным напором на «холодном конце испарителя» :
4. задаемся некоторым запасом по температуре воды за экономайзером (защита от вскипания жидкости)

$$\Delta p_{\text{ПЕ}}^{\Gamma} = p_{\text{Б}} - p_{\text{ПЕ}}$$

$$\Theta_{\text{ПЕ}} = \vartheta_{\text{КД}} - t_{\text{ПЕ}} = 20 \div 50 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Theta_1 = \vartheta_2 - t_{\text{Н}}^{\text{Б}} = 8 \div 16 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Theta_2 = t_{\text{Н}}^{\text{Б}} - t_{\text{ЭК}}^{\text{II}} = 8 \div 16 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$



Расход пара, определяем из соотношения (без учета продувки из барабана):

$$D_{\text{ПЕ}} = \frac{G_{\text{КУ}} \times (h_{\text{КД}} - h_2) \times \varphi}{h_{\text{ПЕ}} - h_{\text{ЭК}}''}$$

Уравнения теплового баланса ГПК

$$G_{\text{КУ}} \times (h_3 - h_4) \times \varphi = (D_{\text{ПЕ}} - D_{\text{Д}}) \times (h_{\text{ГПК}}^{\text{6bлx}} - h_{\text{КУ}}^{\text{BX}}) = Q_{\text{ГПК}}$$

Уравнения теплового баланса ГВТО

$$G_{\text{КУ}} \times (h_4 - h_{\text{УХ}}) \times \varphi = G_{\text{СВ}} \times (h_{\text{ПС}} - h_{\text{КУ}}^{\text{BX}}) = Q_{\text{ГВТО}}$$

Из уравнения теплового баланса рассчитываем расход сетевой воды

Материальный баланс деаэратора (продувкой барабана котла-утилизатора пренебрегаем):

$$D_{\text{ПЕ}} = D_{\text{Д}} + D_{\text{ГПК}}$$

Тепловой баланс деаэратора:  $D_{\text{ПЕ}} \times h_{\text{Д}}' = D_{\text{Д}} \times h_{\text{ОТБ}} + (D_{\text{ПЕ}} - D_{\text{Д}}) \times h_{\text{ГПК}}^{\text{6bлx}}$

**Расход на рециркуляцию:**

$$(D_{\text{К}} + D_{\text{рец}}) h_{\text{ГПК}}^{\text{BX}} = D_{\text{рец}} h_{\text{ГПК}}^{\text{ВЫХ}} + D_{\text{К}} h_{\text{К}}$$

$$G_{\text{рец}} = \frac{D_{\text{К}} (h_{\text{ГПК}}^{\text{BX}} - h_{\text{К}})}{h_{\text{ГПК}}^{\text{ВЫХ}} - h_{\text{ГПК}}^{\text{BX}}}$$



Питание контуров тепловой схемы осуществляется деаэрированной водой с содержанием кислорода  $O_2 < 10$  мкг/кг. Деаэрацию можно осуществить в конденсаторе, деаэраторе питательной воды или в обоих этих элементах тепловой схемы.

Возможны несколько технических решений:

- создается водяной деаэраторный контур (испаритель деаэратора), где вырабатывается определенное количество пара. Давление в контуре определяется тепловой нагрузкой этого испарителя в зависимости от расхода и температуры газов перед ним. Работа деаэратора на пароводяной смеси может создать определенные трудности, что отражается на его конструкции;
- питание паром деаэратора из магистрали пара низкого давления;
- питание паром из отбора паровой турбины, что может снизить экономичность ПГУ.





К котлу-утилизатору предъявляются следующие требования:

1. Безопасность и надежность;
2. Получение номинальной паропроизводительности всех контуров, требуемых параметров пара и его качества;
3. Высокие маневренные характеристики;
4. Экологическая безопасность.

КУ поставляется блоками заводского изготовления. Котел-утилизатор оснащается системами контроля технологических параметров, защит и блокировок, автоматического регулирования, необходимыми для оперативного управления, безопасной эксплуатации и экономичной работы.

Рабочий диапазон изменения нагрузки КУ соответствует диапазону нагрузок ГТУ 100-30% от номинальной. Изменение нагрузки КУ достигается изменением расхода топлива и воздуха в ГТУ. При этом изменяется расход и температура газов на входе в КУ.

Обшивка КУ должна быть покрыта теплоизоляцией. При температуре наружного воздуха 25 °С температура наружной поверхности котла должна быть не выше 45 °С.

Конструкция поставочных блоков КУ проверена расчетом на прочность и обеспечивает безопасность погрузочно-разгрузочных работ.



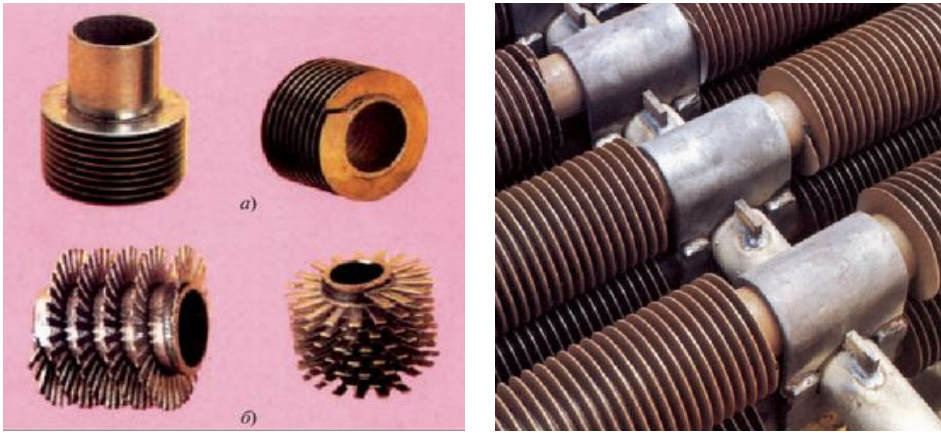
а) конструктивные схемы КУ

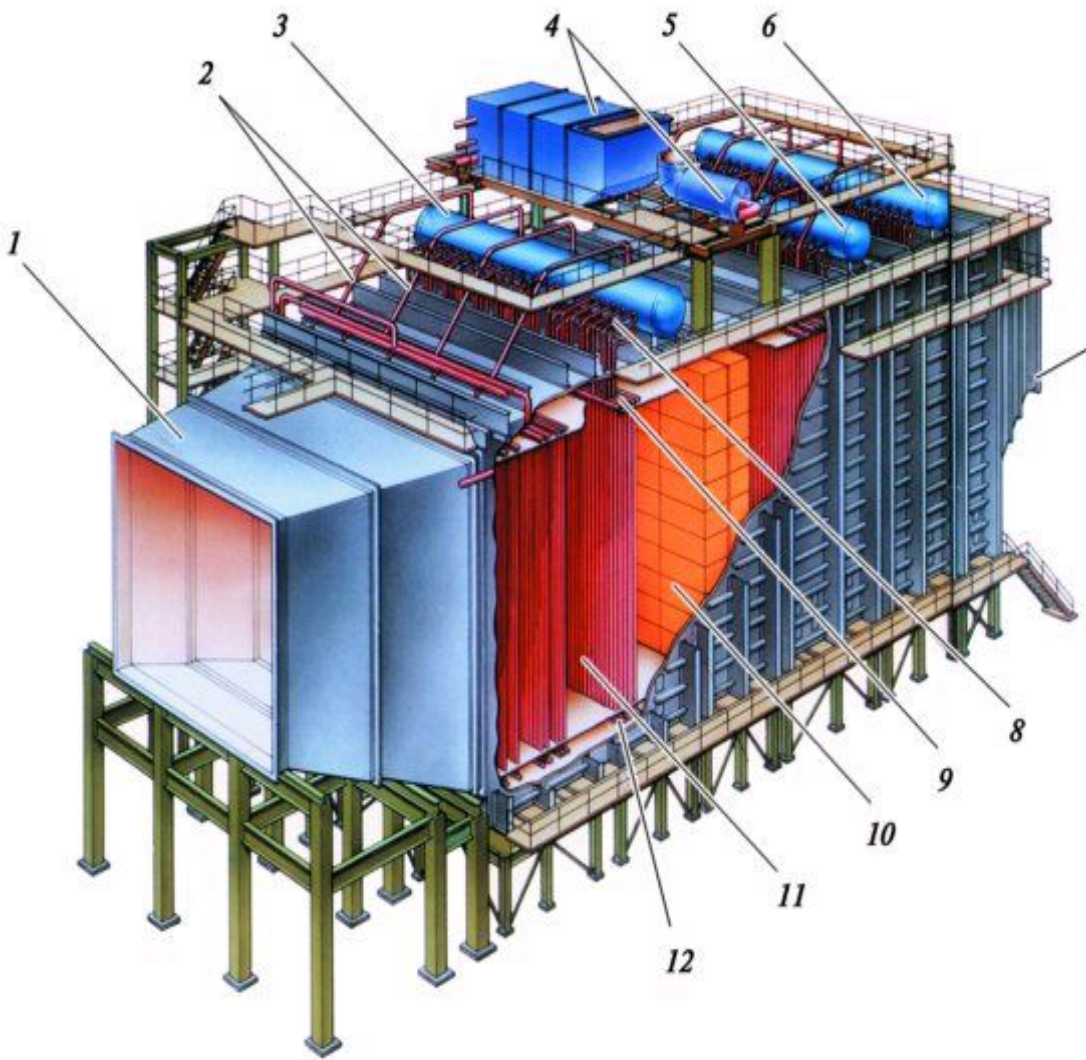
- горизонтальной или вертикальной конструкции;
- с естественной или принудительной циркуляцией – барабанные; прямоточные;
- паровые или водяные;
- КУ с дожиганием топлива.

б) примеры конструктивных схем КУ

**Элементы поверхностей нагрева КУ ПГУ**

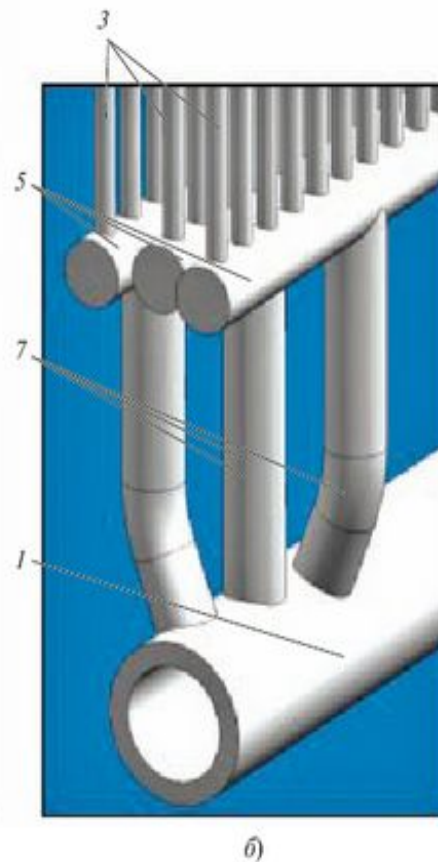
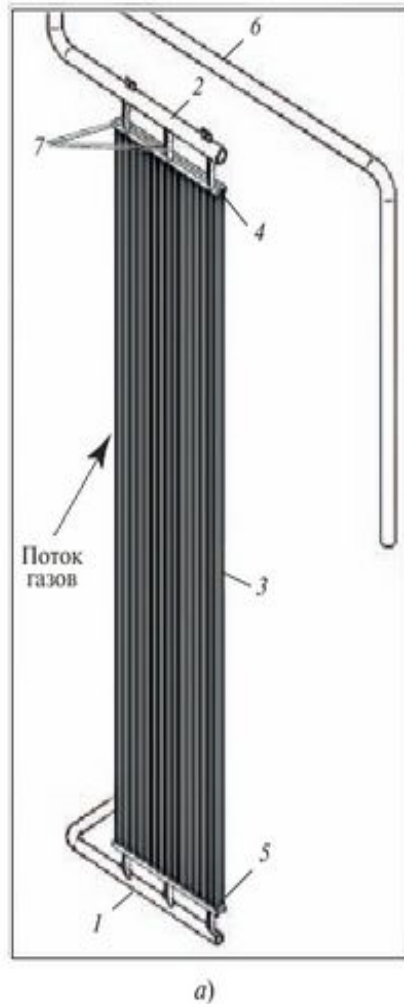
а – наружное оребрение труб; б – крепление труб шахматного трубного пучка





## Общий вид трехконтурного котла-утилизатора фирмы Тошиба:

- 1 – входной диффузор газохода;
- 2 – трубы, направляющие пар в ППВД;
- 3,5,6 – соответственно, БВД, БСД и БНД;
- 7 – выходной конфузор газохода;
- 8 – трубная система испарителя;
- 9 – коллекторы испарительных труб контура ВД;
- 10 – каталитический реактор;
- 11 – ИВД;
- 12 – нижние коллекторы труб поверхностей нагрева;
- 13 – нижний «теплый ящик»;
- 14 – колонны каркаса

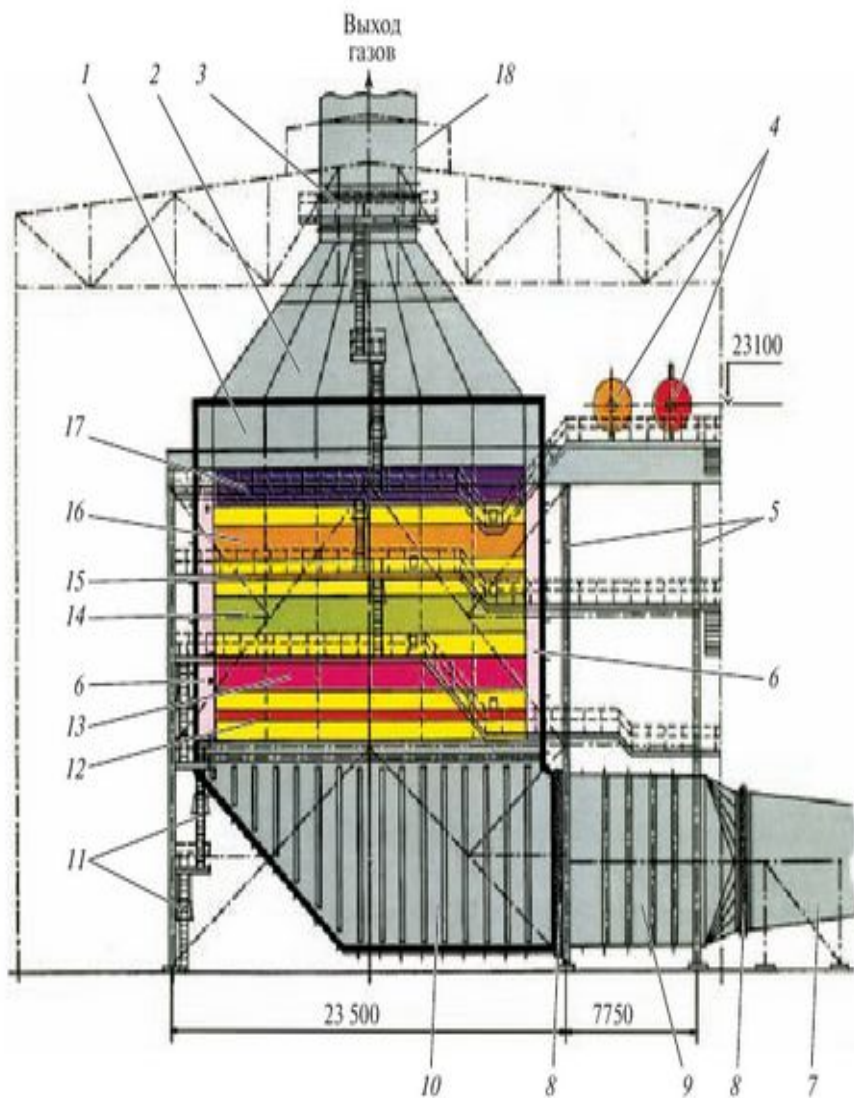


**Конструкция последней секции ПШ ВД горизонтального котла-утилизатора с однорядными трубными системами теплообменных труб:**

- а – общий вид пароперегревателя;
- б – фрагмент нижней части;
- 1 – нижний коллектор поставочного блока;
- 2 – верхний коллектор поставочного блока;
- 3 – теплообменные трубы;
- 4,5 – собирающий и раздающий коллекторы трубной системы;
- 6 – паропровод пара ВД;
- 7 – перепускные трубы.







## Разрез котла-утилизатора

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



Конструкция КУ и его элементов, а также применяемые материалы соответствуют требованиям Правил устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

Расчетный ресурс работающих под давлением элементов котла-утилизатора с расчетной температурой, соответствующей области ползучести, не менее:

-150000 часов - для труб поверхности нагрева и выходных коллекторов пароперегревателя высокого давления;

-200000 часов - для остальных элементов.

Расчетный срок службы котла-утилизатора - 40 лет.

Средняя наработка на отказ - 6600 ч.

Срок службы между капитальными ремонтами - 6 лет.

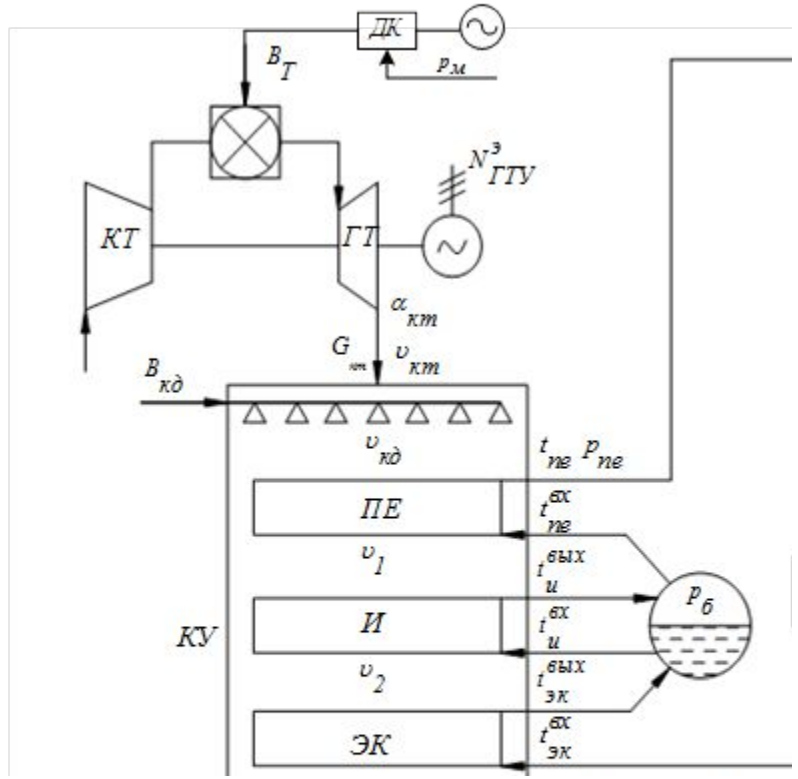
Коэффициент готовности - 98%.



Для обеспечения требований надежности и долговечности в зависимости от температуры газов, поступающих в пароперегреватель, его выполняют из жаропрочных низколегированных или хромистых сталей. Остальные теплообменные поверхности, как правило, выполняют из качественных углеродистых сталей.



# ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КАМЕРЫ ДОЖИГАНИЯ



Температура продуктов сгорания за КД  $\vartheta_{\text{ДОЖ}}$   
 В первом приближении избыток воздуха в КД

$$\alpha_{\text{кд}} = \alpha_{\text{кт}} \quad h_{\text{кд}} = \frac{\mu h}{\mu_2} \left[ \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

Уравнение теплового баланса КД:

$$G_{\text{кт}} \cdot h_{\text{кт}} + B_{\text{кд}} \cdot Q_{\text{н}}^p \cdot \eta_{\text{кд}} = (G_{\text{кт}} + B_{\text{кд}}) \cdot h_{\text{кд}}$$

Расход топлива на дожигание (1 приближение):

$$B_{\text{кд}} = G_{\text{кт}} \cdot \frac{h_{\text{кд}} - h_{\text{кт}}}{Q_{\text{н}}^p \cdot \eta_{\text{кд}} - h_{\text{кд}}}, \left[ \frac{\text{кг}}{\text{с}} \right]$$

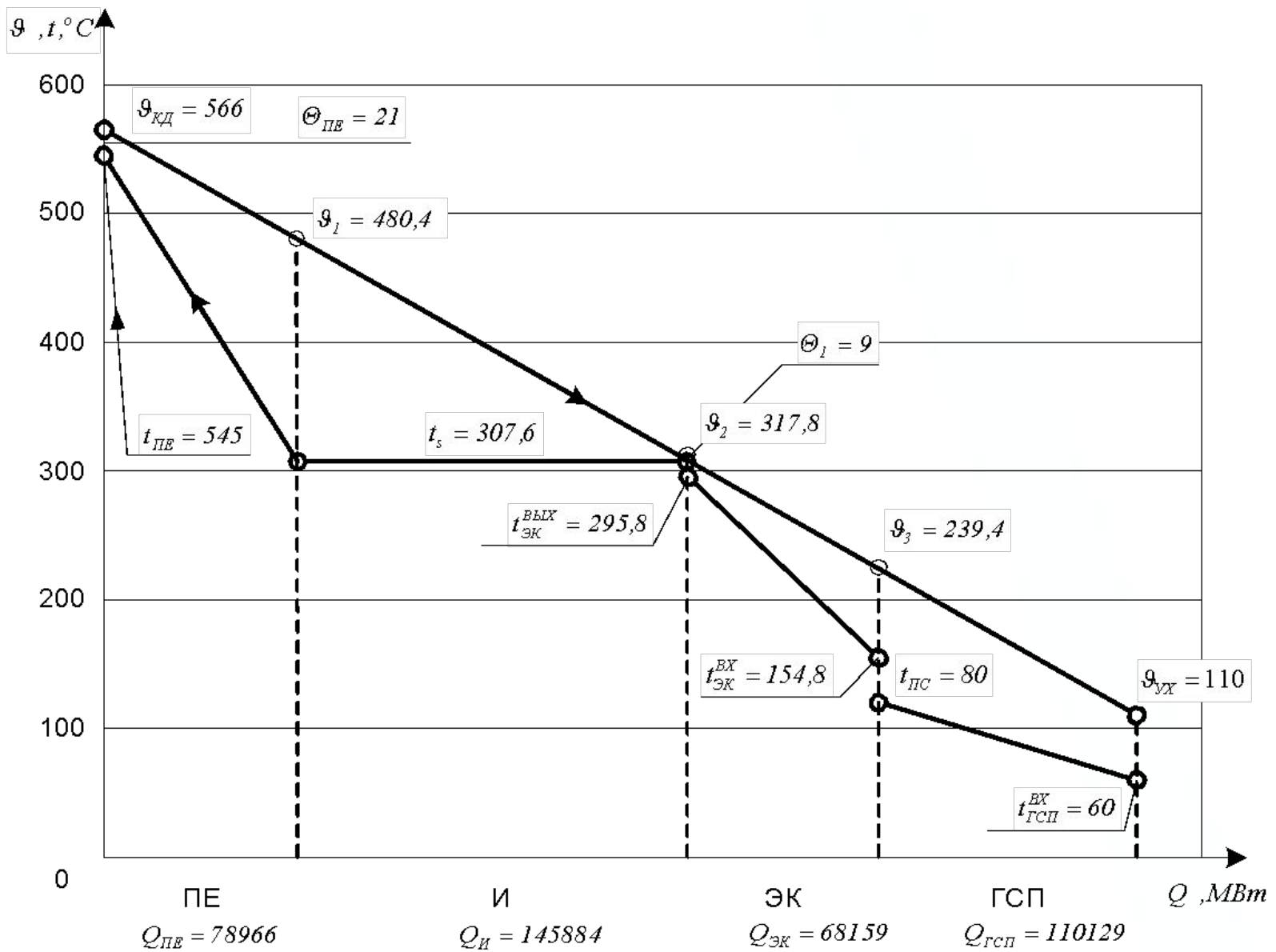
Уточнение коэффициента избытка воздуха за КД:

$$\alpha_{\text{кд}} = \frac{G_{\text{кт}} \cdot \alpha_{\text{кт}}}{G_{\text{кт}} + B_{\text{кд}} \cdot (1 + \alpha_{\text{кт}} \cdot L_0)}$$

Пересчет объемного состава продуктов сгорания, параметра  $\beta$  и молекулярной массы продуктов сгорания . **Уточнение расхода топлива на дожигание!**

Расход продуктов сгорания в котле утилизаторе после камеры дожигания:

$$G_{\text{ку}} = G_{\text{кт}} + B_{\text{кд}}, \left[ \frac{\text{кг}}{\text{с}} \right]$$





1. Выполнить расчет тепловых балансов элементов КУ с составлением  $Q, T$  – диаграммы теплообмена. Совместить эти расчеты с тепловым и материальным балансами деаэратора;
2. Заполнить таблицу 1.1 (Результаты теплового расчета КУ) и составить  $Q-t$  диаграмму.

