

## Консультация №2 по курсовой работе

**Дисциплина «Энергетические установки высокой эффективности»**

# УЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА, РАСЧЕТ КАМЕРЫ ДОЖИГАНИЯ

**Макаревич Елена Владимировна,**

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

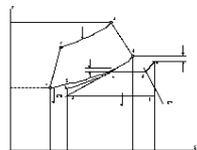
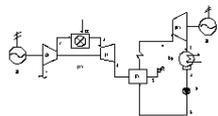
[E-mail: iufemia@mail.ru](mailto:iufemia@mail.ru) , [MaikarevichYV@mpei.ru](mailto:MaikarevichYV@mpei.ru)



1. **примеры тепловых схем, алгоритм расчета;**
2. **учет влияния аэродинамического сопротивления КУ;**
3. **расчет камеры дожигания;**
4. **коррекция основных характеристик продуктов сгорания газообразного топлива**
5. **задание к следующему занятию**



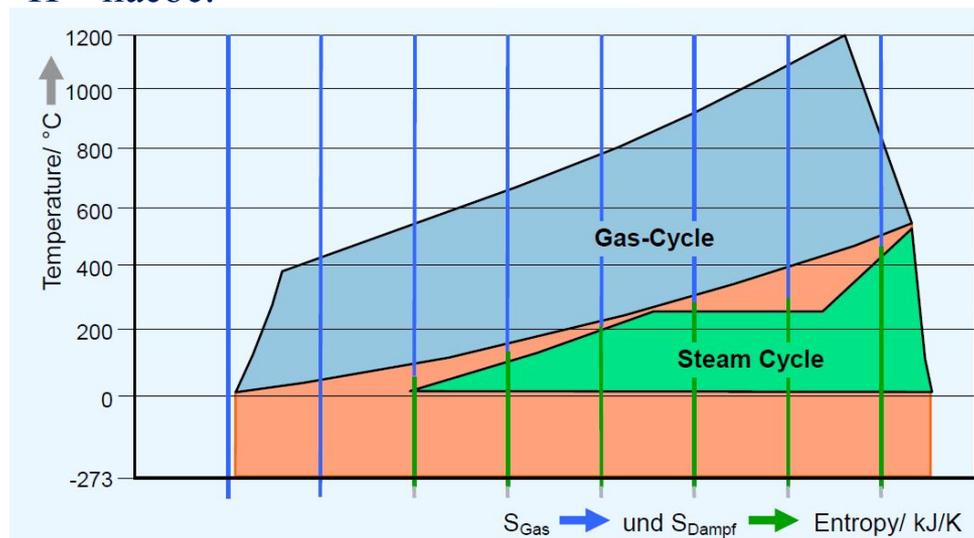




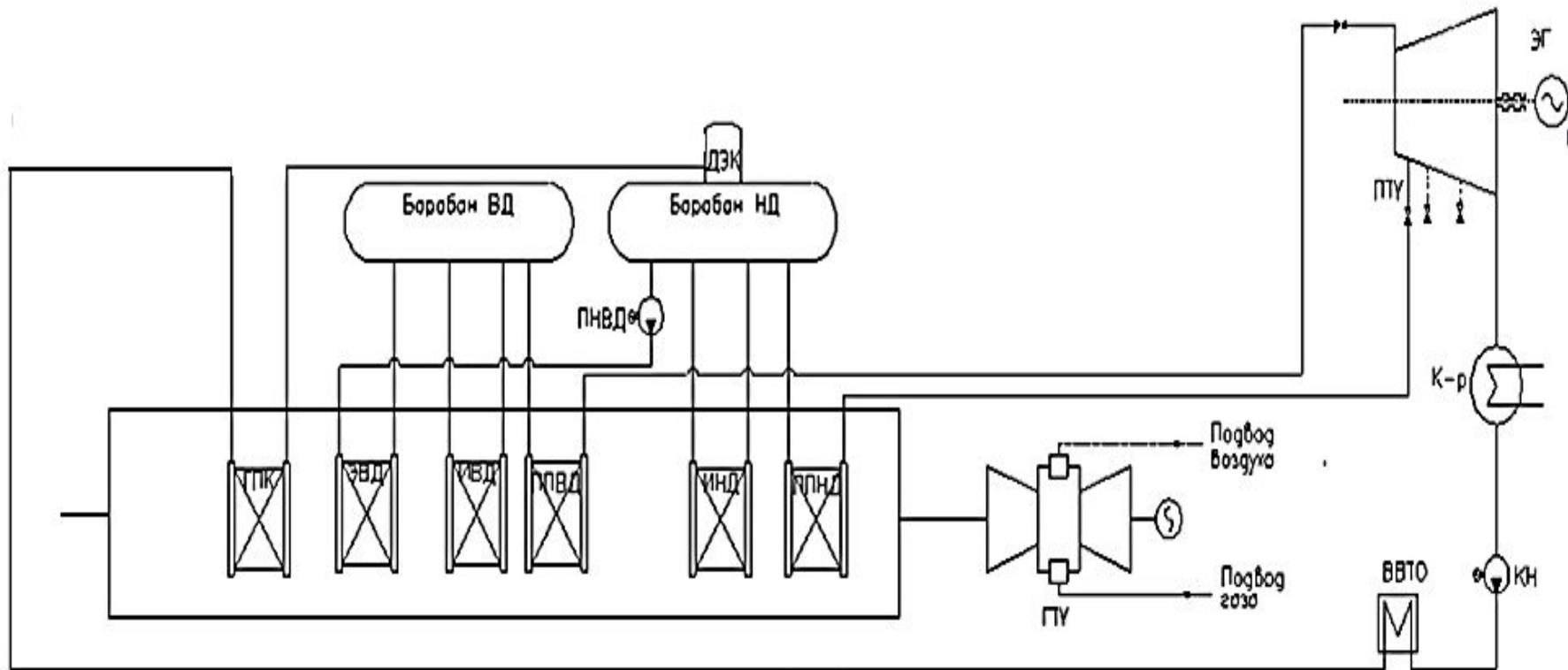
(a)

**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;  
ПТУ – паротурбинная установка;  
К – конденсатор;  
Н – насос.

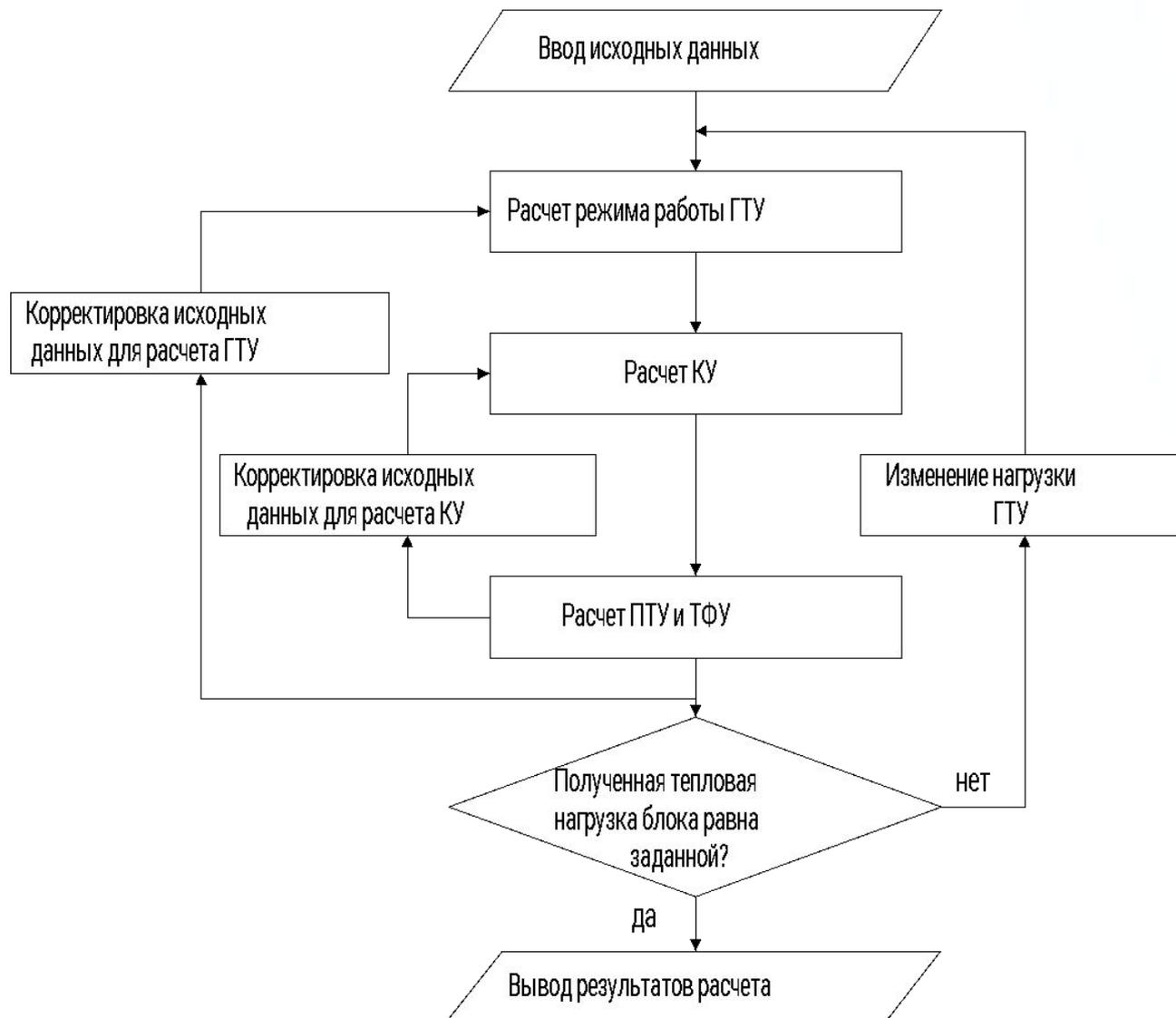


(б)



## 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





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 за счет установки котла-утилизатора от 3 до 5 кПа  $\Delta p_{\text{ВЫХ}}^{\text{ГТ}}$

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:  $N_{\text{ГТУ}}^{\vartheta} = K_N \cdot N_{\text{ГТУ}}^{\vartheta-\text{авт}}$





Выхлопные газы энергетических газотурбинных установок имеют достаточно высокую температуру, а содержание окислителя в них составляет  $O_2 = 13-16\%$  (объем). Следовательно, их можно рассматривать в качестве малоактивного окислителя процесса горения.

В ряде случаев в парогазовых установках целесообразно дожигание некоторого количества топлива (обычно природного газа) в среде выхлопных газов ГТУ. Это позволяет повысить их температуру, мощность ПГУ (энергетический дожиг) и стабилизировать параметры генерируемого в котле-утилизаторе пара (параметрический дожиг).

Организация такого дожигания предъявляет довольно жесткие требования к горелочным устройствам камеры дожигания. Они должны :

- ✓ обеспечить высокую полноту сгорания топлива,
- ✓ устойчивое горение при высоких скоростях набегающего потока выхлопных газов ГТУ,
- ✓ надежное воспламенение дожигаемого топлива,
- ✓ создание равномерного температурного поля после горелок,
- ✓ их малое гидравлическое сопротивление.

Обычно этим условиям отвечают микрофакельные горелки, выгорание топлива в которых осуществляется в зоне рециркуляции за плохо обтекаемыми телами.

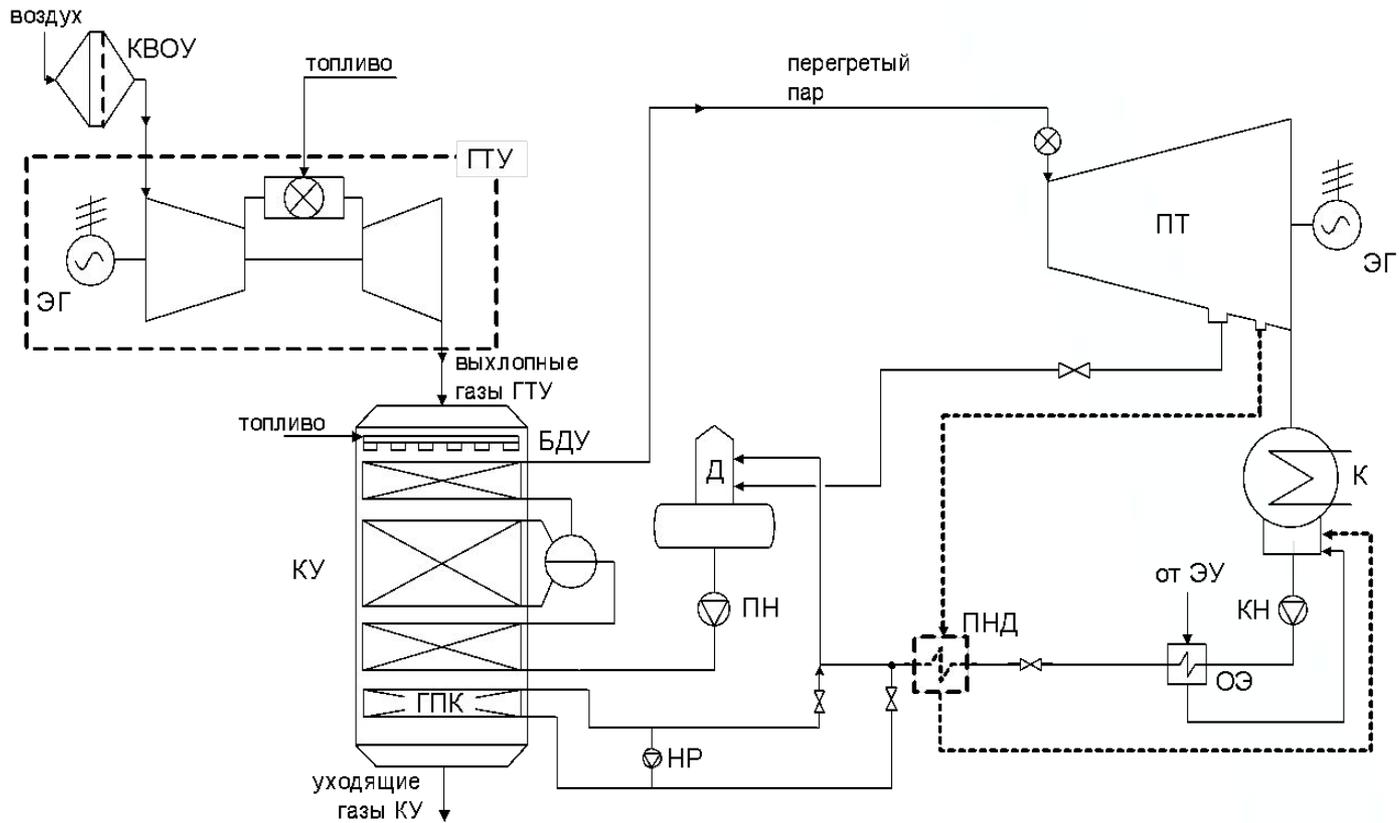


В тепловых схемах парогазовых установок с котлами-утилизаторами эксплуатация горелочных устройств камер дожигания возможна при  $O_2 \geq 12-14\%$  и  $\alpha > 2$ .

При дожигании топлива в среде выхлопных газов ГТУ на входе в котел-утилизатор ПГУ, уровень избыточного воздуха в этих газах достаточно высок –  $\alpha_{КТ} = 3-4$  (в зависимости от начальной температуры газов перед газовой турбиной). Следовательно, подача атмосферного воздуха для сгорания дополнительно дожигаемого топлива не нужна.

Горелочные элементы системы дожигания топлива размещают в газоходе между диффузором газовой турбины и котлом-утилизатором с одинаковыми промежутками поперек его сечения, что обеспечивает равномерность температурного профиля в процессе работы. Расположение горелочных устройств выполняют таким образом, чтобы их сопротивление не превышало 100-130 Па. Температура газов после камеры дожигания не должна превышать 750-800°C, чтобы избежать повреждения корпуса котла и других его элементов.





**Принципиальная тепловая схема ПГУ-КЭС с дополнительным сжиганием топлива (дожиганием) перед одноконтурным КУ:**

БДУ – блок дожигающих устройств



Уравнение теплового баланса камеры дожигания:

$$G_{КТ} \cdot h_{КТ} + B_{КД} \cdot (Q_{Н}^P + h_T) \cdot \eta_{КД} = (G_{КТ} + B_{КД}) \cdot h_{КД}$$

- где:
- $G_{КТ}$  - расход газов за газовой турбиной (на входе в камеру дожигания КУ), кг/с;
  - $B_{КД}$  - расход топлива дожигаемого в БДУ, кг/с ;
  - $h_{КТ}$  - энтальпия газов за газовой турбиной (на входе в камеру дожигания), МДж/кг;
  - $h_{КД}$  - энтальпия газов на выходе из камеры дожигания, МДж/кг;
  - $h_T$  - энтальпия топлива на входе в камеру дожигания, МДж/кг.
  - $Q_{Н}^P$  - низшая теплотворная способность топлива, МДж/кг;
  - $\eta_{КД}$  - КПД камеры дожигания.



1. задаемся температурой газов на выходе из камеры дожигания КУ;  $t_{\text{КД}}$
2. принимая в первом приближении избыток воздуха в газах за камерой дожигания равным избытку воздуха до нее, рассчитываем энтальпию газов;  $h_{\text{КД}}$
3. решая уравнение (слайд 11) определяем расход дожигаемого в камере топлива;
4. уточняем значение избытка воздуха в газах за камерой дожигания

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

где:  $\alpha_{\text{КТ}}$  - избыток воздуха за ГТУ (на входе в камеру дожигания);  
 $L_0$  - теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива, кг/кг.

5. повтор пунктов 3) и 4) для необходимой точности (как показали расчеты, для определения расхода топлива с точностью до 0,01 требуется 3-5 итерации).

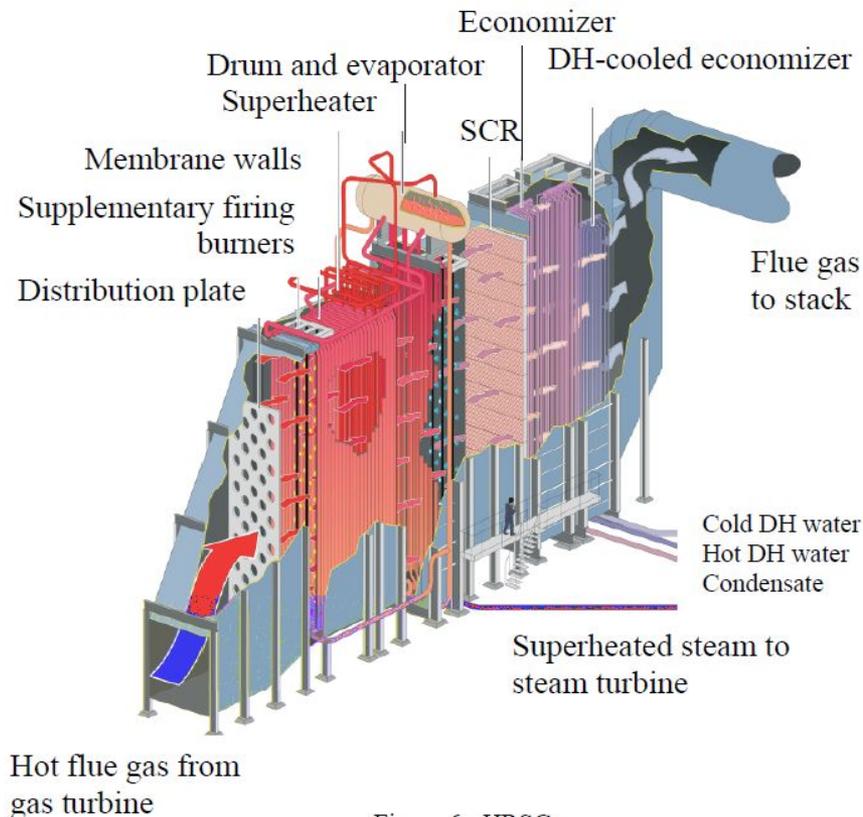
Точность такого расчета камеры дожигания топлива в котле-утилизаторе достаточна для оценки тепловых балансов элементов тепловой схемы ПГУ.

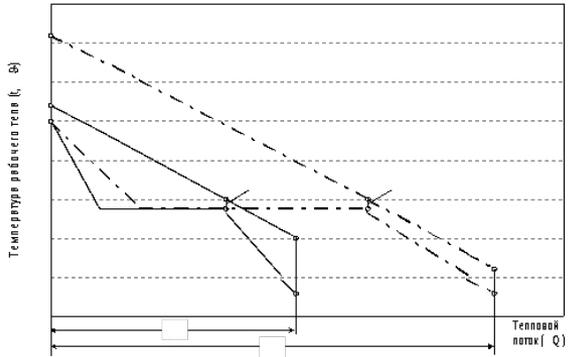


Максимальное значение температуры газов на выходе из блока дожигающих устройств определяется требованиями к поверхностям нагрева (для камер сгорания с неэкранированными стенками не выше  $750^{\circ}\text{C}$ ).

Повышение температуры газов на входе в котел влечет за собой такое перераспределение теплового потока газов между поверхностями нагрева КУ, которое способствует более глубокой (по сравнению со схемой без дожига) утилизации теплового потенциала газов ГТУ.

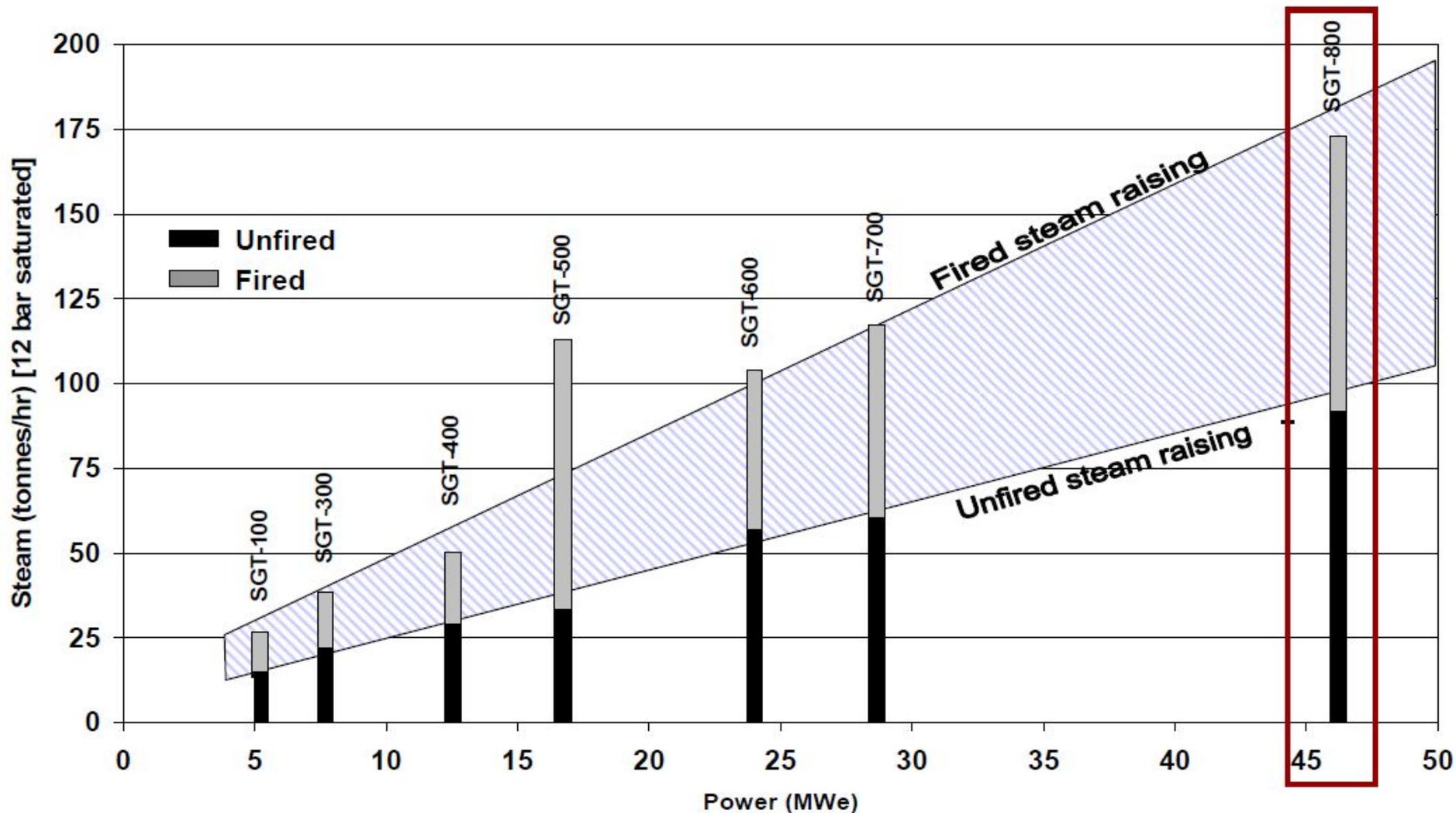
Увеличение степени дожига топлива перед КУ приводит к снижению температуры уходящих газов. При определенном значении температура газов на выходе из котла-утилизатора достигает минимально допустимого по условиям коррозии значения (для природного газа -  $80-100^{\circ}\text{C}$ , для жидкого газотурбинного топлива -  $120-130^{\circ}\text{C}$ ).





$$D_{ПЕ} = \frac{G_{КД} (h_{КД} - h_2) \varphi}{(h_{ПЕ} - h_{ЭК}^{ВЫХ})}$$

«Q-t»-диаграммы процессов теплообмена, происходящих в одноконтурном КУ, для схемы ПГУ без ( — ) и с использованием дожигания ( — · ) при неизменных начальных параметрах пара в ПТУ





1. Провести корректировку основных характеристик с учетом принятого аэродинамического котла-утилизатора;
2. Доработать принципиальную тепловую схему и ее описание с учетом замечаний/рекомендаций преподавателя;
3. Выполнить расчет камеры дожигания (при необходимости).

