

## Консультация №4 по курсовой работе

**Дисциплина «Энергетические установки высокой эффективности»**

# ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ДВУХКОНТУРНОГО КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА

**Макаревич Елена Владимировна,**

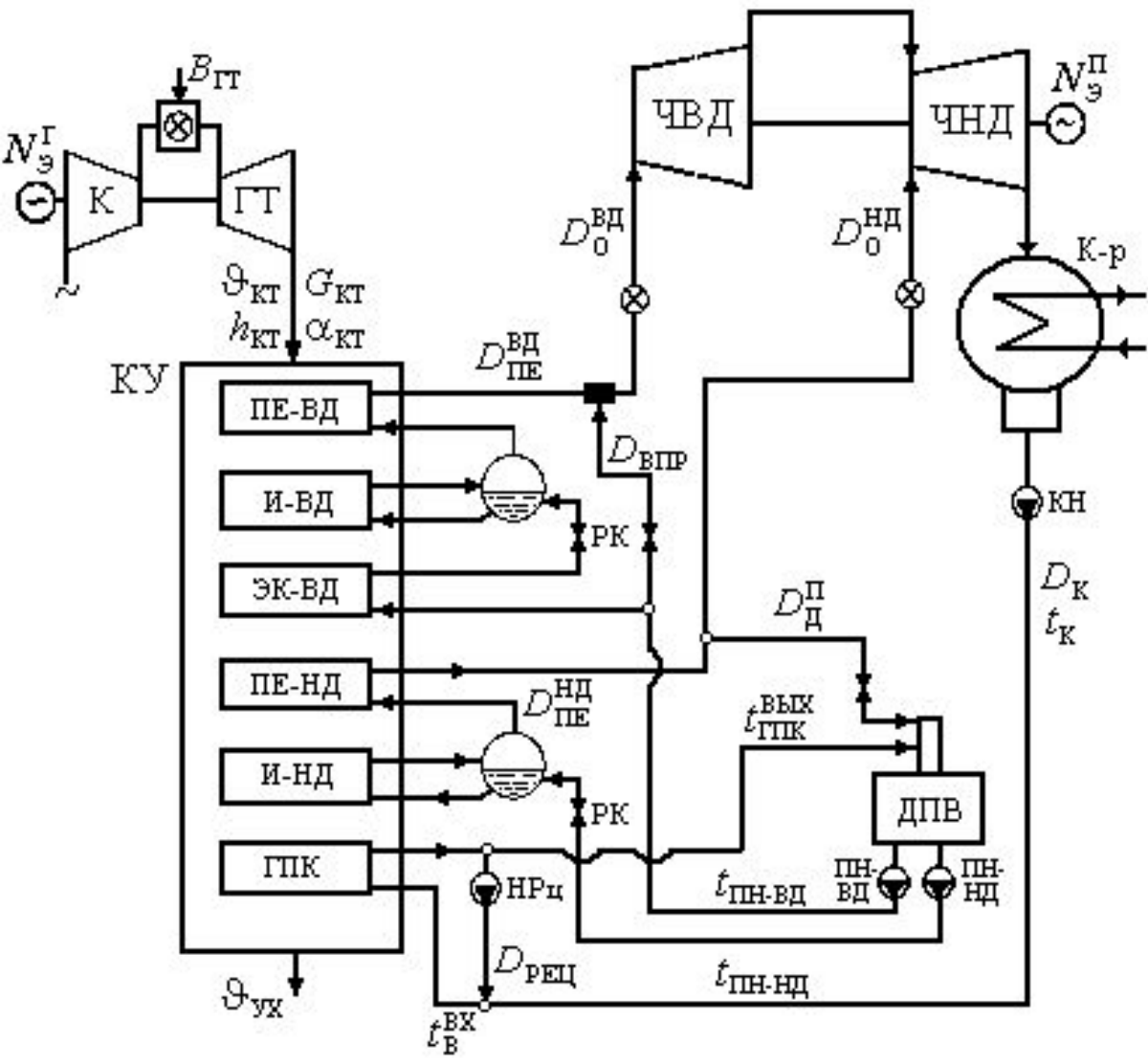
к.т.н., доцент каф. «Тепловые электрические станции». Тел.: (495) 362-71-50,

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



1. тепловая ПГУ-ТЭС с двухконтурным котлом-утилизатором;
2. уравнения тепловых балансов для поверхностей котла-утилизатора;
3. построение  $Q-t$  диаграммы процессов теплообмена двухконтурного котла-утилизатора;
4. задание к следующему занятию





**Принципиальная тепловая схема парогазовой установки с котлами-утилизаторами:**

- ПЕ-ВД, ПЕ-НД – пароперегреватели высокого и низкого давления;
- И-ВД, И-НД – испарительные поверхности высокого и низкого давления;
- Э-ВД – экономайзер высокого давления;
- ГПК – газовый подогреватель конденсата;
- ДПВ – деаэратор питательной воды;
- ЧВД, ЧНД – части высокого и низкого давления паровой турбины;
- К-р – конденсатор;
- КН – конденсатный насос;
- ПН-ВД, ПН-НД – питательные насосы соответственно высокого и низкого давления;
- НРц – насос рециркуляции;
- РК – регулирующий клапан



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>;

$\Delta t_{\text{СР},i}^{\text{ЛОГ}}$

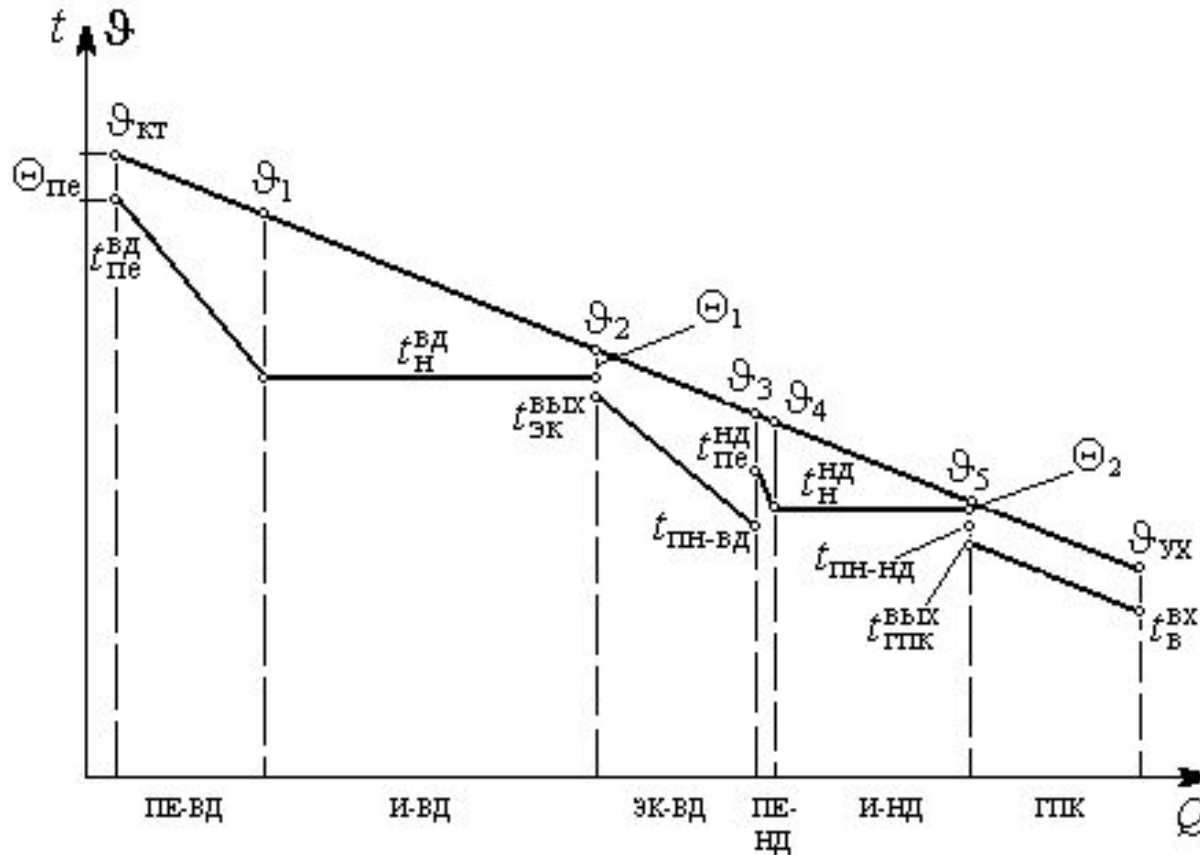
– среднелогарифмический температурный напор в « $i$ -й» поверхности нагрева, градус;

$\varphi$

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



## 2. Контроль правильности выбора параметров и количества генерируемого пара высокого и низкого давления с использованием «Q-t» диаграммы поверхностей нагрева КУ



«Q-t» диаграмма котла-утилизатора ПГУ:

$\vartheta_i$  – соответствующие температуры продуктов сгорания по тракту КУ;  $t_i$  – соответствующие температуры пароводяного теплоносителя по тракту КУ;  $\Theta_i$  – соответствующие температурные напоры



Для повышения энергетических показателей ПГУ и более полной утилизации теплоты уходящих газов, принимаем минимальные температурные напоры на «холодных» концах поверхностей нагрева испарителей ВД и НД:  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  в пределах  $8 \div 10$  °С. Это соответствует проведенным технико-экономическим расчетам и рекомендациям ведущих российских и зарубежных фирм и институтов. Расход пара в контурах ВД и НД рассчитывают по этим задаваемым напорам;

Контролируем температурный напор на горячем конце пароперегревателя ВД  $\Theta_{\text{ПЕ}} \leq 20 \div 30$  °С; уменьшение величины  $\Theta_{\text{ПЕ}}$  увеличивает металлоемкость пароперегревателя, его стоимость, аэродинамическое сопротивление котла-утилизатора. Вместе с тем, это позволяет повысить температуру перегретого пара. Давление пара и его температура являются «сопряженными» начальными параметрами, и их выбор должен обеспечить допустимую влажность пара в последних ступенях паровой турбины.

Контролируем температуру уходящих газов за КУ. С ее понижением улучшаются энергетические показатели ПГУ, но значительно увеличивается суммарная поверхность нагрева. Обычно добиваются того, чтобы:  $\vartheta_{\text{yx}} \approx 80 \div 100$  °С при сжигании природного газа,  $\approx 120 \div 125$  °С при сжигании жидкого газотурбинного топлива.

Для предотвращения коррозии хвостовых поверхностей нагрева КУ принимают температуру конденсата на входе в котел  $t_{\text{в}}^{\text{BX}} \geq 55 \div 60$  °С.



ПЕ ВД:  $G_{КТ} \times (h_{КТ} - h_1) \times \varphi = D_{ПЕ}^{ВД} \times (h_{ПЕ}^{ВД} - h''_{ВД}) = Q_{ПЕ-ВД}$

И ВД:  $G_{КТ} \times (h_1 - h_2) \times \varphi = D_{ПЕ}^{ВД} \times (h''_{ВД} - h_{ЭК}^{ВЫХ}) = Q_{И-ВД}$

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

Расход пара, генерируемого в контуре ВД котла-утилизатора, определяем из соотношения (без учета продувки из барабана ВД):

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

Аналогично проводится расчет контура низкого давления

$$G_{КТ} \times (h_3 - h_4) \times \varphi = D_{ПЕ}^{НД} \times (h_{ПЕ}^{НД} - h''_{НД}) = Q_{ПЕ-НД}$$

$$G_{КТ} \times (h_4 - h_5) \times \varphi = D_{ПЕ}^{НД} \times (h''_{НД} - h_{ПН-НД}) = Q_{И-НД}$$



На этом этапе решаем уравнения теплового и материального балансов деаэратора питательной воды и газового подогревателя конденсата КУ (ГПК). Деаэратор питается обычно паром из коллектора НД котла, что позволяет оценить давление в деаэраторе :

$$p_{\text{Д}} \cong (0,9 \div 0,9) \times p_{\text{ПЕ}}^{\text{НД}}$$

При расчете деаэратора принимаем температуру воды за ГПК котла-утилизатора, чтобы обеспечить устойчивую работу деаэратора.

$$t_{\text{ГПК}}^{\text{ВЫХ}} = t_{\text{Н}}^{\text{Д}} - (8 \div 15), \text{ } ^\circ\text{C}$$

ГПК:

$$G_{\text{КТ}} \times (h_5 - h_{\text{УХ}}) \times \varphi = (D_{\text{К}} + D_{\text{РЕЦ}}) \times (h_{\text{ГПК}}^{\text{ВЫХ}} - h_{\text{В}}^{\text{ВХ}}) = Q_{\text{ГПК}}$$

Д:

$$D_{\text{К}} \times h_{\text{ГПК}}^{\text{ВЫХ}} + D_{\text{Д}}^{\text{П}} \times h_{\text{ПЕ}}^{\text{НД}} = (D_{\text{ПЕ}}^{\text{ВД}} + D_{\text{ПЕ}}^{\text{НД}}) \times h'_{\text{Д}}$$

$$D_{\text{К}} + D_{\text{Д}}^{\text{П}} = D_{\text{ПЕ}}^{\text{ВД}} + D_{\text{ПЕ}}^{\text{НД}}$$

$$D_{\text{К}} = D_0^{\text{ВД}} + D_0^{\text{НД}}$$



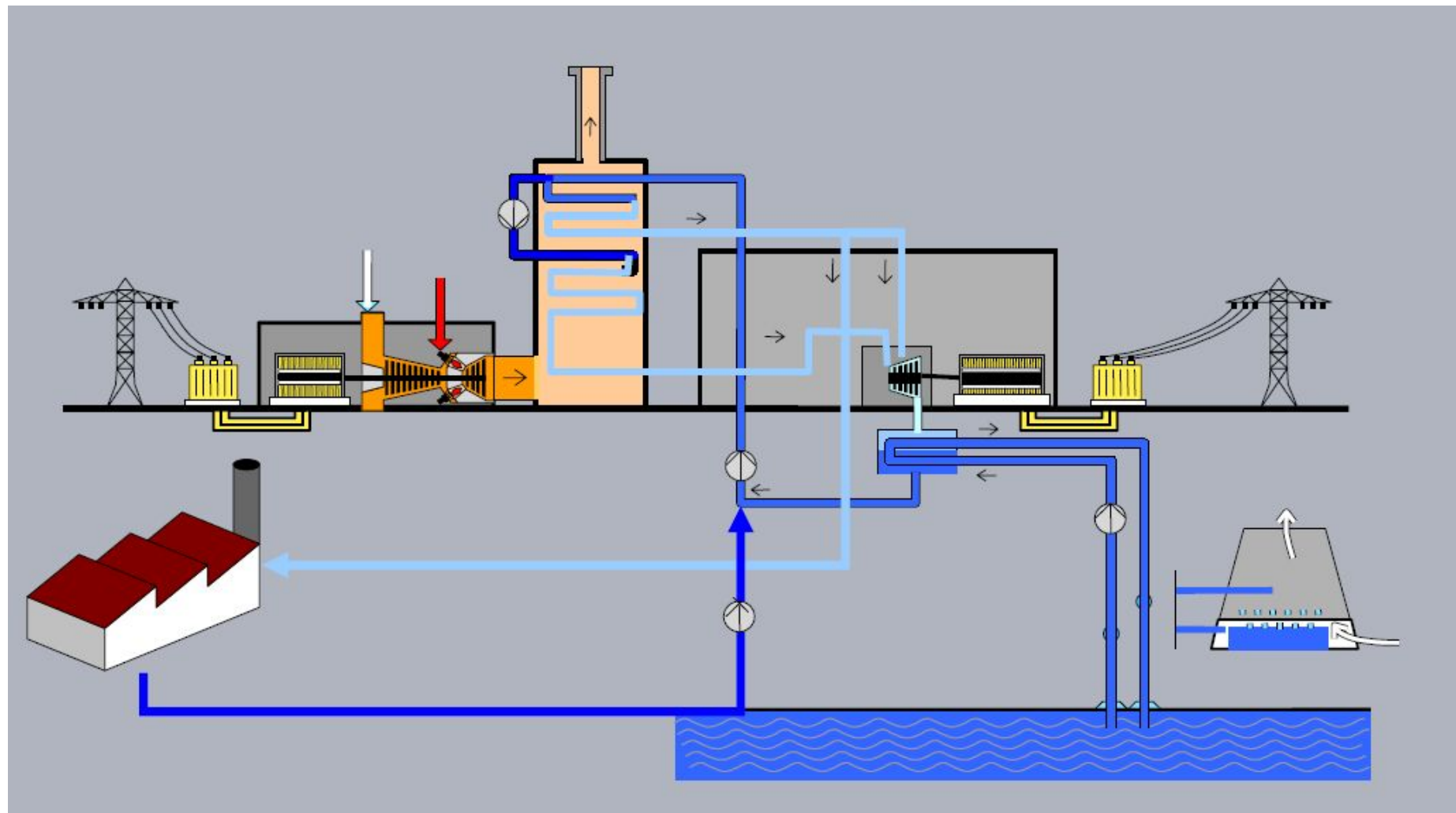


Питание контуров тепловой схемы осуществляется деаэрированной водой с содержанием кислорода  $O_2 < 10$  мкг/кг. Деаэрацию можно осуществить в конденсаторе, деаэраторе питательной воды или в обоих этих элементах тепловой схемы.

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.







1. Уточнение расчета тепловых балансов элементов КУ, корректировка  $Q, T$  – диаграммы теплообмена с учетом замечаний/рекомендаций преподавателя;
2. Уточнение величины расхода пара на деаэратор с учетом особенностей его питания паром;
3. Заполнить таблицу 1.

