

## Консультация №2 по курсовой работе

Дисциплина «Экологически безопасные технологии на ТЭС»

### РАСЧЕТ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ В СОСТАВЕ ПГУ-ТЭС

### РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

**Макаревич Елена Владимировна**, к.т.н., доцент каф. «Тепловых электрических станций».

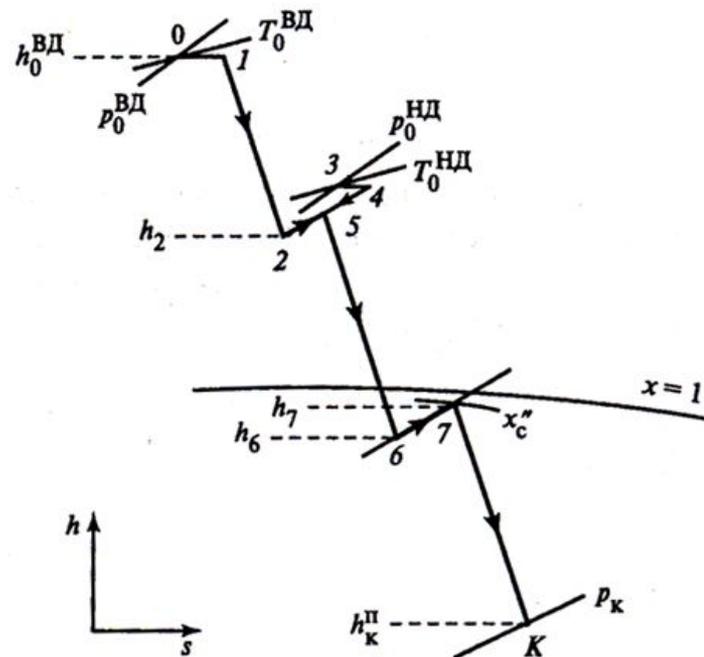
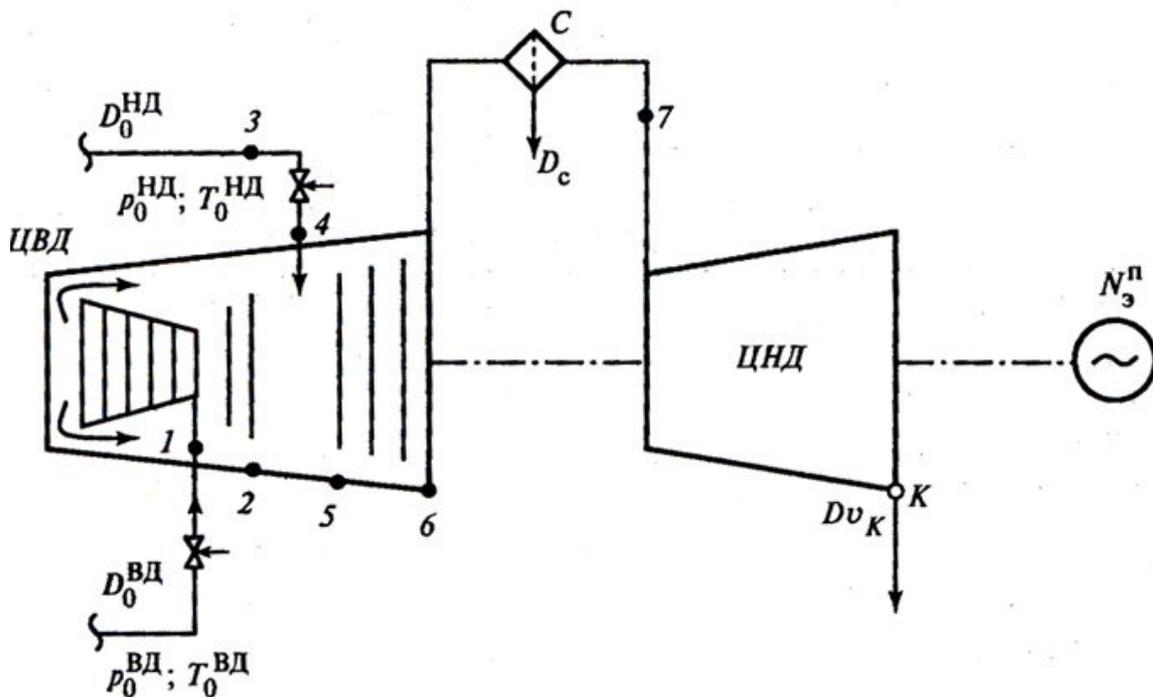
Тел.: (495) 362-71-50,

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



- 1. тепловая схема ПТУ в составе ПГУ;**
- 2. особенности ПТУ для схем ПГУ;**
- 3. порядок расчета ПТУ в составе ПГУ;**
- 4. построение уравнения мощности ПТУ;**
- 5. расчет энергетических показателей**
- 6. задание к следующему занятию**





## Вариант тепловой схемы ПТУ в схеме ПГУ с КУ

С – сепаратор; ЦВД, ЦНД – соответственно цилиндр высокого и низкого давления; 1-7 точки расчетов параметров пара в проточной части паровой турбины

Представление процесса расширения пара в проточной части паровой турбины, сходящей в состав ПГУ с КУ



Параметры пара в точках «1» и «4» при построении процесса его расширения, определены с учетом сопротивления стопорно-регулирующих клапанов.

Параметры пара в точке «5» получены из баланса потоков среды (с учетом ее теплосодержания) со стороны расширяющегося в первой части ЦВД потока пара высокого давления (точка «2») и со стороны подводимого из котла-утилизатора пара низкого давления (точка «4»).

В интервале «5-6» процесс расширения пара определяют с учетом потерь от влажности, линия «6-7» характеризует процесс сепарации в сепараторе влаги.

На интервале «7 - ...к» процесс расширения пара в ЦНД построен также с учетом потерь от влажности пара и потери с выходной скоростью.

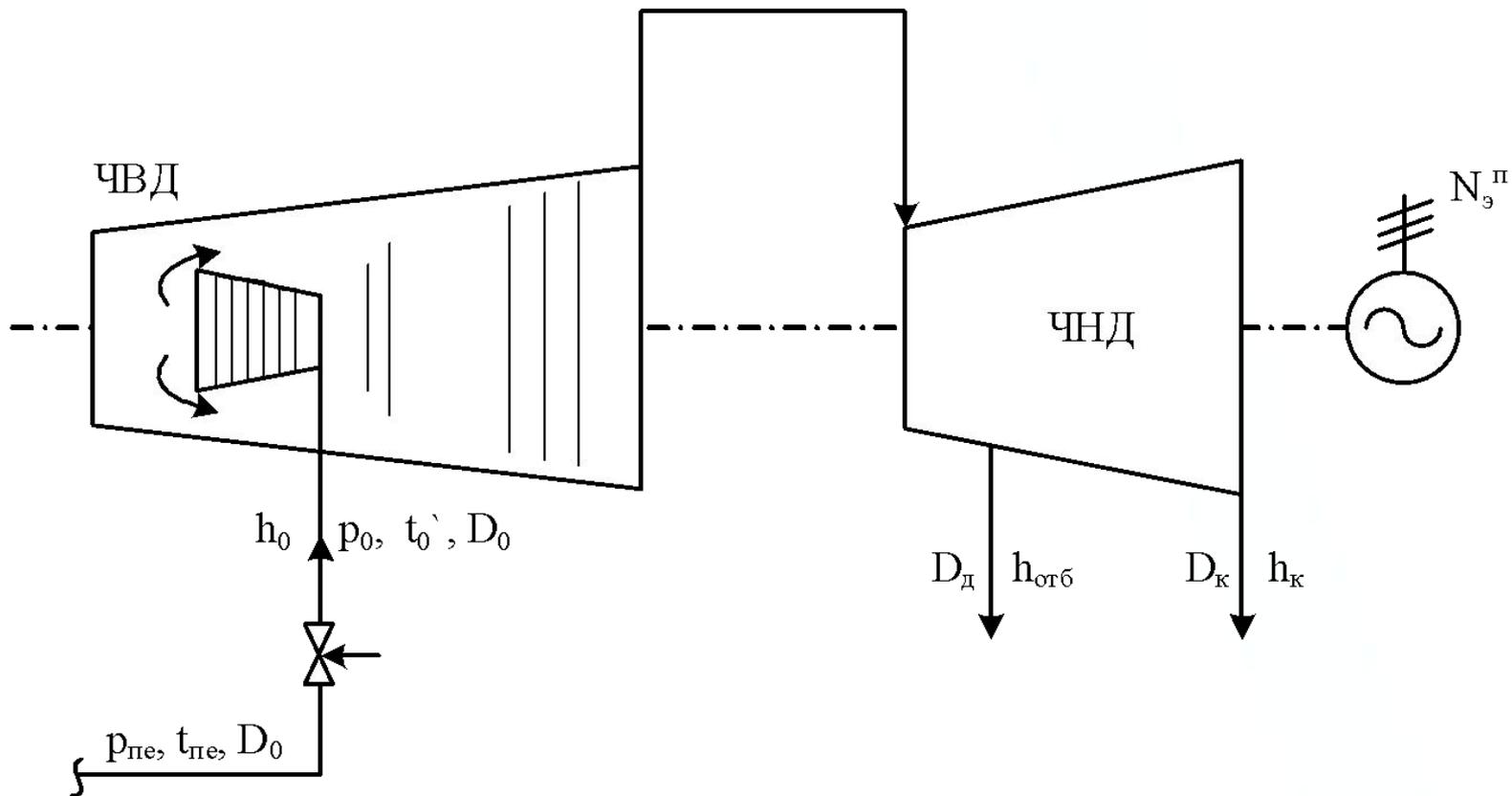


Конструкции паровых турбин для парогазовых установок аналогичны паровым турбинам ТЭС. Они при меньшем располагаемом теплоперепаде за счет более низких значений давления и температуры водяного пара на входе обычно выполняются двухцилиндровыми.

При этом для турбин двух давлений в цилиндре высокого давления выделяется проточная часть высокого (ЧВД) и среднего (ЧСД) давлений, разделение между которыми осуществляется камерой смешения. Поскольку к данным турбинам предъявляются высокие требования по экономичности, то они выполняются с дроссельным парораспределением, исключая наличие регулирующей ступени. Большинство режимов эксплуатации осуществляются на основе скользящих параметров свежего пара.

Главной особенностью тепловой схемы паротурбинной установки ПГУ является отсутствие системы регенеративного подогрева конденсата и питательной воды. В этой связи в конструкциях паровых турбинах ПГУ не предусмотрена организация нерегулируемых отборов пара.

В тепловой схеме обычно присутствуют охладители пара из концевых уплотнений (ОУ) турбины.



## Вариант тепловой схемы ПТУ в схеме ПГУ с КУ

ЧВД, ЧНД – соответственно цилиндр высокого и низкого давления



1. Внутренний относительный КПД проточной части ЦВД/ЧВД до смешения пара определяют по приближенной эмпирической формуле:

$$\eta_{0i}^{ВД} = \left( 0,92 - \frac{0,2}{D_{\Pi}^{ВД} \cdot v_{CP}} \right) \left[ 1 + \frac{H_0^{ВД} - 7 \cdot 10^2}{2 \cdot 10^4} \right]$$

$H_0^{ВД}$ , кДж/кг – располагаемое (изоэнтропийное) теплопадение группы ступеней  $Z$  ЦВД до смешения.

$v_{CP} = 0,5(v_0 + v_Z)$ , м<sup>3</sup>/кг – средний удельный объем пара группы средней ступени  $Z$  в ЦВД до смешения, определяемый с использованием  $h,S$  – диаграммы;

Теплопадение пара в ЦВД до смешения, кДж/кг  $H_i^{ВД} = H_0^{ВД} \cdot \eta_{0i}^{ВД}$

2. Внутренний относительный КПД проточной части ЦНД определяют по приближенной эмпирической формуле:

$$\eta_{0i}^{НД} = 0,87 \cdot \left( 1 + \frac{H_0^{НД} - 400}{10^4} \right) \cdot K_{ВЛ} - \frac{\Delta H_{ВС}}{H_0^{НД}}$$

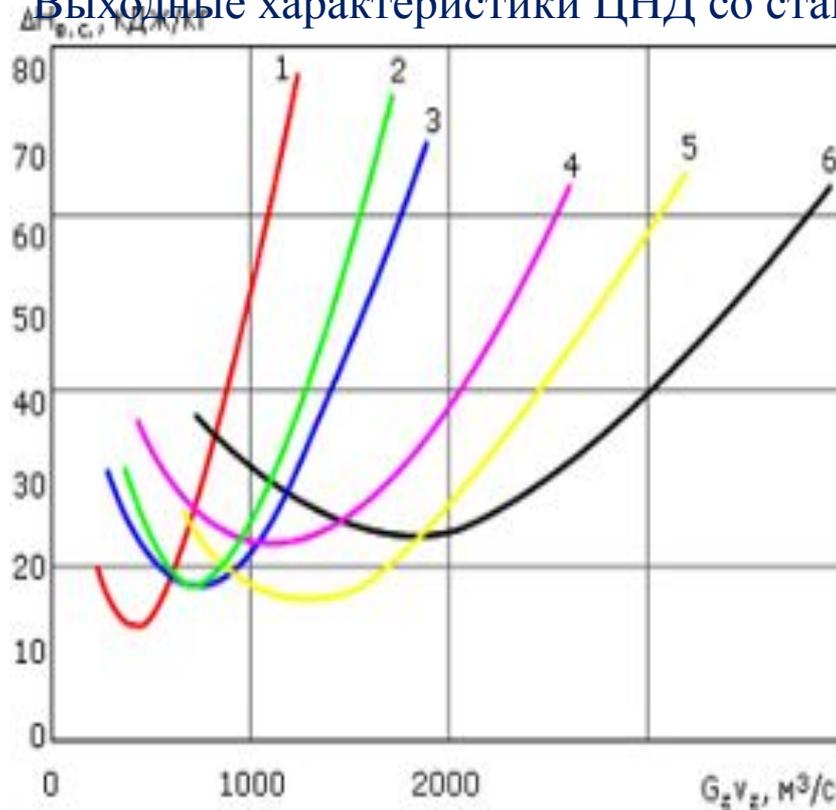
Поправочный коэффициент влажности пара  $K_{ВЛ} = 1 - 0,4 \cdot (1 - \beta_{ВЛ}) \cdot (y_0 + y_Z) \cdot \frac{H_0^{ВЛ}}{H_0^{НД}}$

$\beta_{ВЛ}$  – коэффициент учета влияния средней влажности на величину  $\eta_{0i}$  в зависимости от конструкции проточной части ( $\beta_{ВЛ} = 0,1 \div 0,2$ );

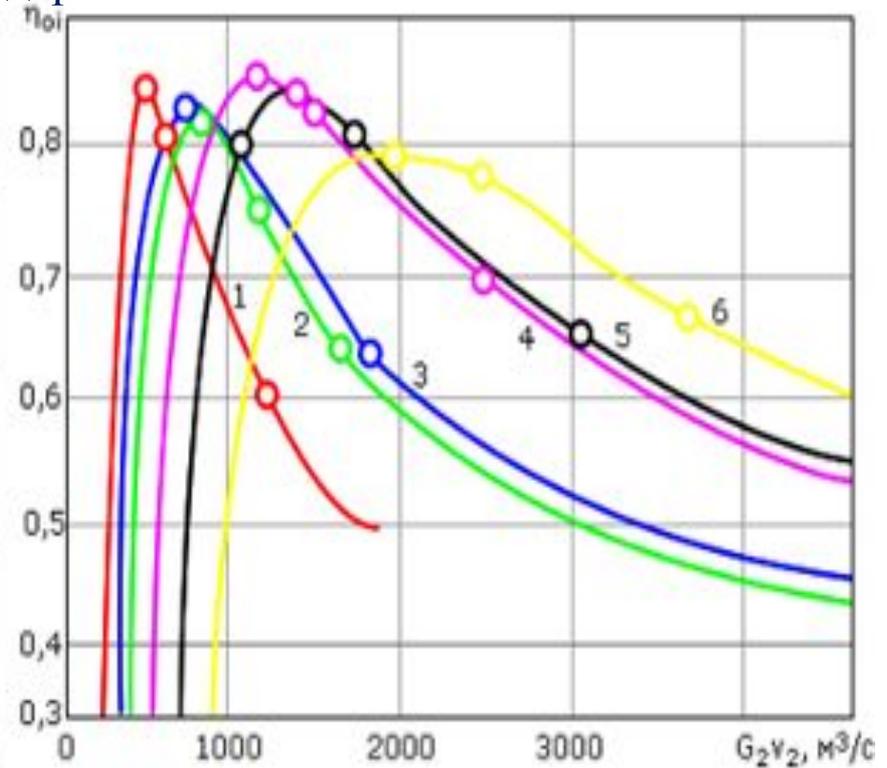
$y_0, y_Z$  – влажность пара в начале и в конце группы ступеней  $Z$ .



## Выходные характеристики ЦНД со стандартными лопатками ОАО «ЛМЗ»



Потери с выходной скоростью пара в зависимости от объемного расхода



КПД последней ступени в зависимости от объемного расхода



## Выходные характеристики ЦНД

Номер кривой	Высота лопатки $l_z$	Корневой диаметр $d_k$
1	550 мм	1350 мм
2	755 мм	1350 мм
3	755 мм	1520 мм
4	960 мм	1520 мм
5	1000 мм	1800 мм
6	1200 мм	1800 мм



Давление пара на выходе в ЧВД  $=0,3 \div 0,4$  МПа;

Давление пара на входе в ЧНД (за сепаратором влаги)  $p_{\text{ЧНД}} = 0,25 \div 0,35$  МПа;

Давление в конденсаторе паровой турбины 4 – 7 кПа

Степень сухости пара после сепаратора влаги  $x_c'' \approx 0,99$

Потери давления в стопорно-регулирующих клапанах на потоках пара высокого и низкого давления  $\Delta p \approx 3 \div 5 \%$

Потери давления в ресиверах на тракте ЧВД - сепаратор – ЧНД  $\Delta p \approx 2 \%$

Целью расчета тепловой схемы паротурбинной установки в составе ПГУ является определение электрической нагрузки турбогенератора в соответствии с поступающим из котла паром

$$N_{\text{Э}}^{\text{ПГУ}} = [D_{\text{ПЕ}} \times (h_0 - h_2) + D_{\text{ПЕ}} \times (h_2 - h_3) + (D_{\text{ПЕ}} - D_{\text{д}}) \times (h_3 - h_{\text{к}})] \times \eta_{\text{МЕХ}} \times \eta_{\text{ЭГ}}$$





- *Подразделяются на две основные группы:*
- *Технико-экономические показатели*
- *Показатели коммерческой эффективности*

*Технико-экономические показатели (ТЭП) электростанции* - система удельных параметров, характеризующая эффективность принятых проектных решений и отражающая соответствие вновь сооружаемого энергообъекта передовому отечественному и зарубежному уровню развития науки и техники.

Эти показатели отражают совершенство технологического процесса производства электрической и тепловой энергии на электростанции и эффективность использования энергоресурсов





## ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ

1. ФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД
2. МЕТОД «ОРГРЭС» (пропорциональный)
3. ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД

## ЗАРУБЕЖНЫЕ МЕТОДЫ

1. МЕТОД РАЗДЕЛЬНОЙ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛИ ОБЩИХ ЗАТРАТ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО СЕБЕСТОИМОСТИ
3. ЦЕНОВОЙ МЕТОД



Электрическая мощность ПГУ-ТЭЦ:  $N_{\text{Э}} = n_{\text{БЛ}} \times N_{\text{Э}}^{\text{ГТУ}} + N_{\text{Э}}^{\text{ПТУ}}$

КПД по производству электроэнергии (брутто):  $\eta_{\text{Э}}^{\text{брутто}} = \frac{N_{\text{Э}}}{B \times Q_{\text{H}}^{\text{P}} - Q_{\text{T}}^{\text{ГВТО}} / \eta_{\text{т}}}$

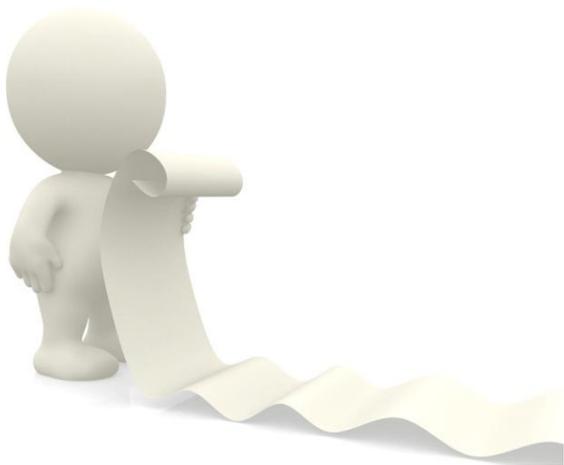
Коэффициент использования теплоты топлива (брутто):  $\eta_{\text{КИТТ}} = \frac{N_{\text{Э}} + Q_{\text{T}}^{\text{ГВТО}}}{B \times Q_{\text{H}}^{\text{P}}}$

Удельный расход условного топлива (брутто) на единицу вырабатываемой электроэнергии, г/(кВт·ч):

$$b_{\text{Э}}^{\text{брутто}} = 122,8 / \eta_{\text{Э}}^{\text{брутто}}$$

Удельный расход условного топлива (брутто) на единицу вырабатываемой тепловой энергии, кг/(Гкал):

$$b_{\text{Т}}^{\text{брутто}} = 142,8 / \eta_{\text{т}}$$



1. Составить принципиальную тепловую схему паротурбинной установки.
2. Рассчитать величины внутреннего относительного КПД  $\eta_{0i}$  ЧВД и ЧНД паровой турбины и построить процесс расширения пара в паровой турбине в  $h,s$ -диаграмме.
3. Составить энергетическое уравнение паротурбинной установки и определить ее электрическую мощность
4. Рассчитать основные 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.
5. Заполнить таблицу 2.

