

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПЕРЕХОДА ТУРБИНЫ ПТ-60-130 НА ПАРОГАЗОВЫЙ ЦИКЛ

В.С. Долиный¹, О.Ю. Ромашова², Б.Г. Ринчинов¹
Томский политехнический университет^{1,2}
ИШЭ, НОЦ Бутакова^{1,2}, группа 5БМ02¹

В России эксплуатируется около 300 паровых турбин мощностью 60–110 МВт, которые принципиально можно и целесообразно включить в ПГУ.

Цель работы – сравнение показателей тепловой экономичности двух вариантов ПГУ-ТЭЦ с турбиной ПТ-60-130 на базе SGT5-4000F, применяется «физический» метод разделения затрат топлива.

Рассматривается два подхода работы паровой турбины ПТ-60-130 в составе ПГУ-ТЭЦ:

1. Схема с двухконтурным котлом утилизатором (КУ). Давление пара контура низкого давления (НД) соответствует значению давления пара в производственном отборе турбины. Часть низкого давления (ЧНД) турбины модернизирована. Данная схема изображена на рисунке 1.
2. Схема с двухконтурным КУ и дополнительной теплофикационной турбиной, в которую отправляется пар контура НД котла утилизатора (давление контура низкого давления котла утилизатора оптимизировано). В схеме организован двухступенчатый подогрев сетевой воды. Пар из теплофикационного отбора дополнительной теплофикационной турбины направляется в нижний сетевой подогреватель (СП1), а пар из теплофикационного отбора турбины ПТ-60-130 направляется в верхний сетевой подогреватель (СП2).

Данная схема изображена на рисунке 2.

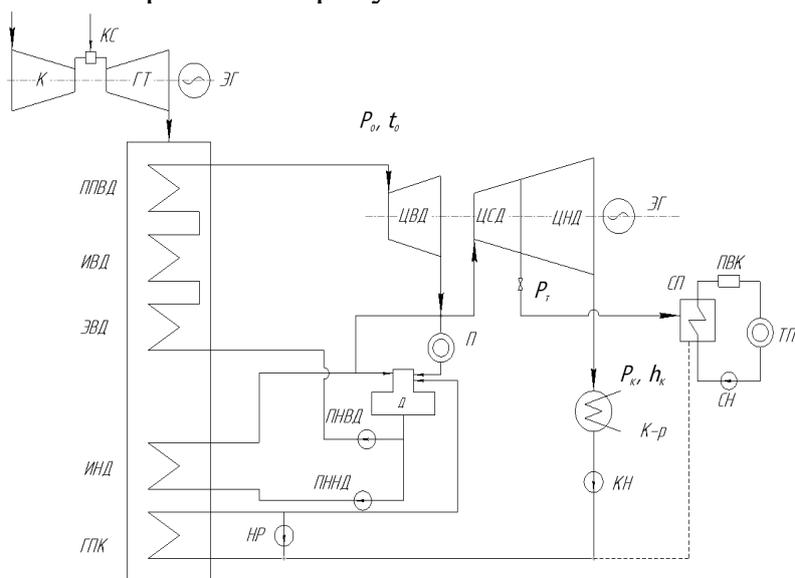
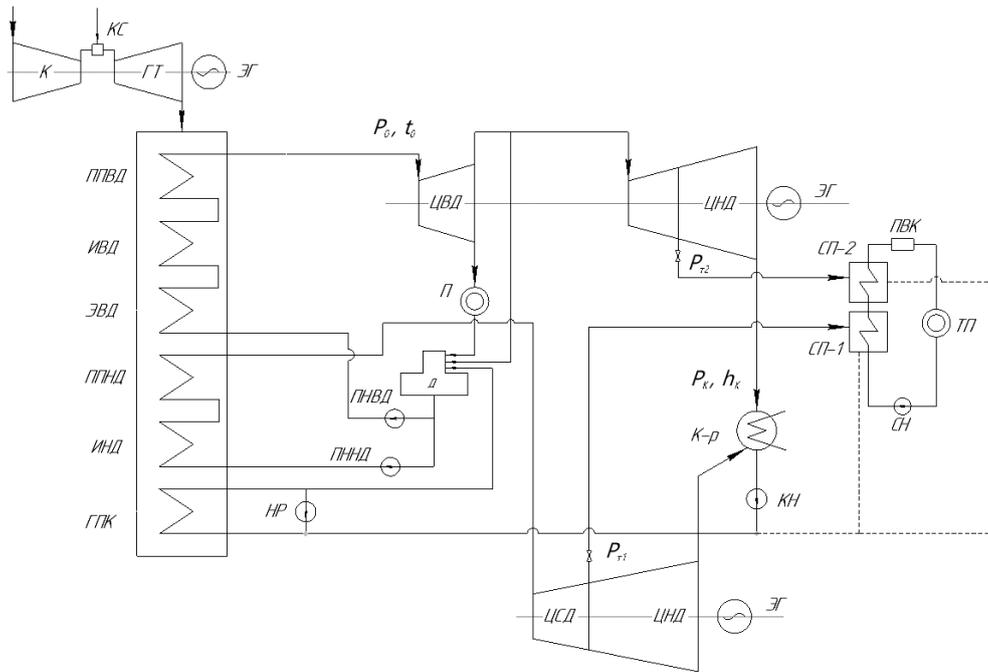


Рис. 1. Принципиальная схема ПГУ-ТЭЦ с модернизацией ЦНД



Рису. 2. Принципиальная схема ПГУ-ТЭЦ с дополнительной турбиной:

Исходные данные: давление пара контура высокого давления (ВД) перед стопорными клапанами $P_0^{ВД} = 13 \text{ МПа}$; мощность ГТУ $N_{ГТУ} = 275 \text{ МВт}$; температура наружного воздуха $t_{нв} = -11 \text{ }^\circ\text{C}$ (соответствует наибольшему числу часов работы теплофикационной турбины с номинальной нагрузкой отопительного отбора в условиях г. Томска по температурному графику теплосети 150/70 $^\circ\text{C}$ с коэффициентом теплофикации 0,5), температура прямой и обратной сети при $t_{нв} = -11 \text{ }^\circ\text{C}$ соответственно $t_{пс} = 84 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{ос} = 44 \text{ }^\circ\text{C}$; температура продуктов сгорания [1] $\theta_d = 542 \text{ }^\circ\text{C}$, расход топлива в камере сгорания (КС) $V_{КС} = 15,66 \text{ кг/с}$; номинальная производственная нагрузка ПТ-60-130 $D_{п} = 115 \text{ т/ч}$; давление в деаэраторе $P_d = 0,6 \text{ МПа}$; номинальное давление производственного отбора $P_{п} = 1,3 \text{ МПа}$; конденсат производственного отбора возвращается в деаэратор с температурой $70 \text{ }^\circ\text{C}$; паровая турбина работает по тепловому графику с максимальным пропуском теплоты из регулируемого отопительного отбора, при этом в ЦНД сохраняется вентиляционный расход пара, для ПТ-60-130 $D_{вент} = 5,03 \text{ кг/с}$ [2].

Для второй схемы исходные данные те же, за исключением: давление контура НД $P_0^{НД} = 0,6 \text{ МПа}$; $P_d = 0,54 \text{ МПа}$; дополнительная паровая турбина работает по тепловому графику с максимальным пропуском теплоты из регулируемого отопительного отбора в первый по ходу воды сетевой воды подогреватель, при этом в ЦНД сохраняется вентиляционный расход пара в 5% от $D_0^{НД}$.

Выполнен расчет показателей двух вариантов тепловой схемы. Для расчета теплофизических характеристик выхлопных газов использованы зависимости [3]:

$$I_{\Gamma} = 0,9304 \cdot \theta^{1,0282},$$

$$\theta = 1,0731 \cdot I_{\Gamma}^{0,9725},$$

где I_{Γ} – энтальпия дымовых газов, θ – температура дымовых газов.

Дополнительные исходные данные, принятые для расчета КУ: температурный напор на выходе из ППВД $\delta t_0^{ВД} = 30^\circ\text{C}$; температурный напор на выходе из ППНД $\delta t_0^{НД} = 20^\circ\text{C}$; гидравлические сопротивления ППВД и ППНД $\xi_{ВД} = \xi_{НД} = 0,05$, температурный напор в пинч-точке ВД и НД $\delta t_s^{ВД} = \delta t_s^{НД} = 10^\circ\text{C}$.

Результаты расчета уравнений теплового баланса со стороны греющей и нагреваемой сред КУ сведены в табл.1.

Результаты расчета паротурбинной установки представлены в виде h,s -диаграммы процесса расширения пара в турбине – рис. 3.

Показатели тепловой экономичности ПГУ-ТЭЦ для двух вариантов паросиловой части также представлены в табл.1.

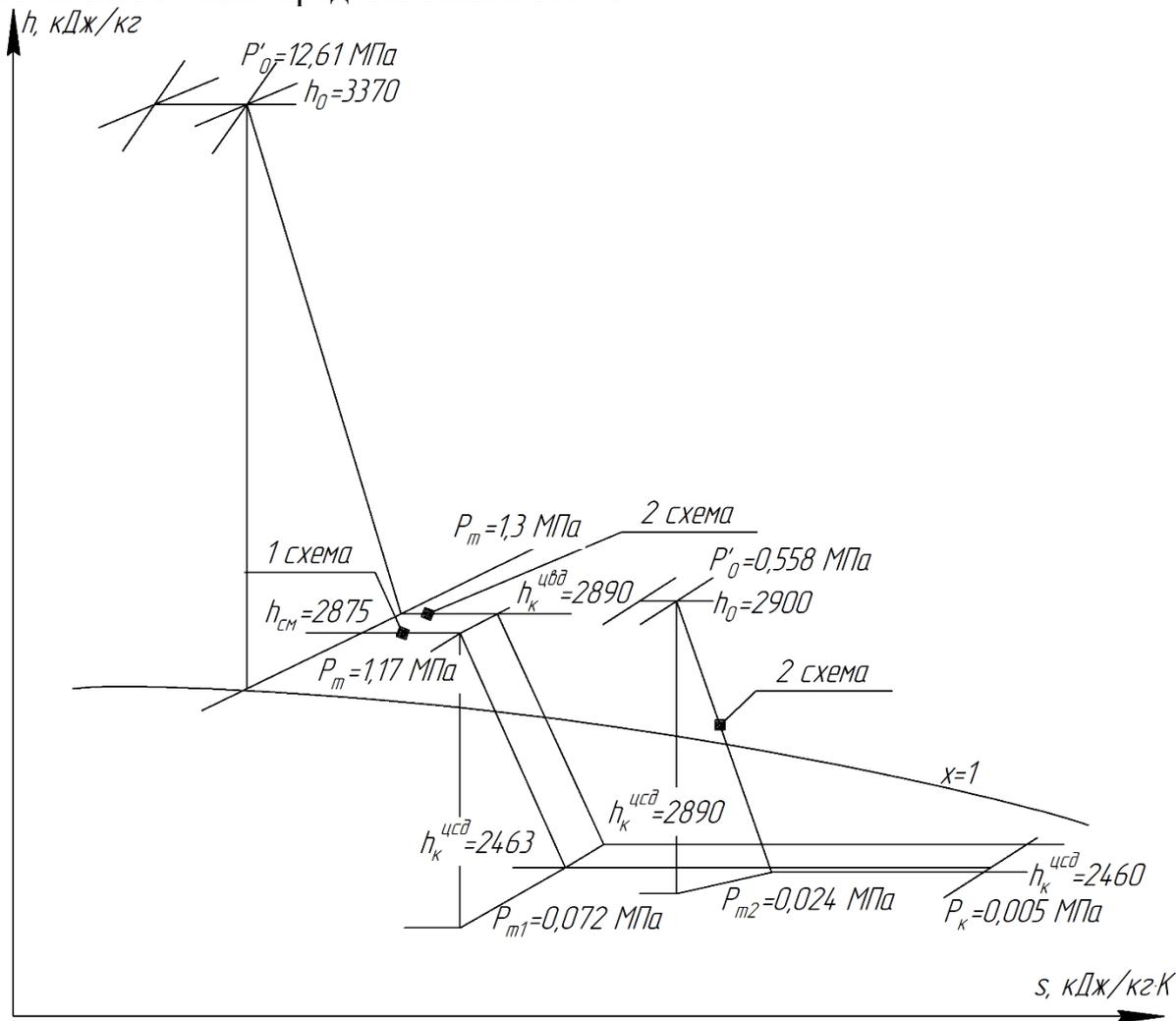


Рис. 3. h,s -диаграмма процесса расширения в паровой турбине для двух вариантов (работа по тепловому графику)

Таблица 1. Результаты расчета ПГУ-ТЭЦ

Результаты расчета КУ			Показатели тепловой экономичности ПГУ-ТЭЦ		
Показатель	Варианты		Показатель	Варианты	
	С модернизацией ЦНД	С дополнительной турбиной		С модернизацией ЦНД	С дополнительной турбиной
$D_0^{ВД}$, кг/с	89,63	89,63	Q_T , МВт	141,99	166,3
$D_0^{НД}$, кг/с	15,41	26,12	$N_9^{ПСУ}$, МВт	68,8	74,25
I_d , кДж/кг	602,24	602,24	$N_9^{ПГУ}$, МВт	343,69	349,25
$I_{ПП}^{ВД}$, кДж/кг	512,86	512,86	V , кг/с	15,66	15,66
$I_s^{ВД}$, кДж/кг	378,12	378,12	V_T , кг/с	5,38	5,92
$I_{ух}^{ВД}$, кДж/кг	265,84	263,66	$V_э$, кг/с	10,28	9,74
$I_{ПП}^{НД}$, кДж/кг	-	258,56	$\eta_{пгу}^э$	0,733	0,809
$I_s^{НД}$, кДж/кг	220,36	183,64	$b_э, \frac{\text{г у. т.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	167,89	152,01
$I_{ух}^{КУ}$, кДж/кг	192,92	149,68	$b_T, \frac{\text{г у. т.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	35,92	35,92
$\eta_{ку}$	0,6797	0,751	$\eta_{пгу}^{китт}$	0,819	0,862
$Q_{ку}$, кВт	296752	329346	$\varepsilon_{пгу}^T, \frac{\text{МВт} \cdot \text{ч}}{\text{Гкал}}$	0,355	0,346

При переходе схемы ПГУ-ТЭЦ с модернизацией ТП-60-130 к схеме с дополнительной турбиной прирост электрической мощности ПСУ $N_{псу}$ составляет 7,92% (от 68,8 до 74,25 МВт), электрической мощности ПГУ $N_{пгу}$ – 1,62% (с 343,69 до 349,25 МВт), тепловой нагрузки Q_T – 17,12% (со 141,99 до 166,3 МВт), выработки пара в контуре НД – 69,5% (с 15,41 до 26,12 кг/с), суммарного расхода пара через КУ – 10,2% (с 105,04 до 115,75 кг/с), давление в контуре НД снизилось с 1,3 до 0,6 МПа.

Вариант схемы ПГУ-ТЭЦ с дополнительной турбиной обеспечивает двухступенчатый подогрев сетевой воды паром из двух отборов. Прирост коэффициента использования теплоты топлива $K_{пгу}^{ит}$ составляет 5,25% (с 81,9 до 86,2%). КПД ПГУ по выработке электроэнергии возрастает на 10,37% (с 73,3 до 80,9%). Расход условного топлива на единицу генерируемой электроэнергии сократился на 9,46% (со 167,89 до 152,01 г у.т./кВт·ч).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Диаграмма режимов ГТУ SGT5-4000F. – Энергетические характеристики ПГУ-800 Киришской ГРЭС, 2014 – 83 с.
2. РД 34.30.711 Типовая нормативная характеристика турбоагрегата ПТ-60-130-13 ЛМЗ.

3. Цанев С.В. и др. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 584 с.

Научный руководитель: О.Ю. Ромашова, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ВВЭР-1200 В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ ТОЛЕРАНТНОГО ТОПЛИВА

С.В. Конончук

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ Бутакова, группа 5061

На сегодняшний день атомная энергетика развивается стремительными темпами, ключевыми аспектами которой являются энергоэффективность, экологичность и высокий уровень безопасности производства. Для соответствия все составляющие объекты на АЭС должны непрерывно совершенствоваться. Тем не менее, вероятность тяжёлых аварий на данном этапе развития техники сохраняется.

В настоящий момент каждая страна, которая занимается развитием атомной энергетикой, а началось это после событий 2011 года на «Фукусиме-1», интенсивно работает над созданием толерантного топлива.

Сейчас рассматривается несколько направлений создания активной зоны, готовой к последствию тяжёлых аварий. Оболочка твэла и топливо должно быть более устойчивыми к высокотемпературному окислению. Поэтому решить данную проблему можно: доработать уже имеющийся материал оболочки – консервативное решение, или изменив материал оболочки – радикальное решение; а также использовать новые виды топлива, которые позволяют снизить энерговыделение в случае нарушения нормальных условий эксплуатации ядерного реактора, повышая его безопасность и устойчивость к аварийным ситуациям.

Консервативное решение основано на том, чтобы сохранить цирконий двумя путями: разработка защитных покрытий из металла или сплавов; изменения структурно-фазового состояния его поверхности для повышения коррозионной стойкости.

Радикальное решение основано на замещении циркония материалами, более толерантными к аварийным условиям, то есть теми, у которых реакция с паром идет с меньшим энерговыделением и нарабатывается меньше водорода. Это могут быть сплавы на основе железа, керамики, хрома, молибдена и пр.

В работе был взят проверенный хромоникелевый сплав 42ХНМ (ЭП630У). Данный тип решения был выбран не случайно, так как по данному сплаву уже имеется положительный опыт эксплуатации, он используется на атомных ледоколах, а также используется в ряде ТВС реакторов ВВЭР в качестве оболочки ПЭЛов, и его нейтронно-физические характеристики удовлетворяют условиям работы в активной зоне.