

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПГУ КЭС

И.И. Просин\*, И.А. Ростунцова\*

\* Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,  
Россия, Саратов, [rostunzeva@mail.ru](mailto:rostunzeva@mail.ru)

*Аннотация.* Представлены схема и методика оценки эффективности газового промперегрева пара на ПГУ-КЭС двухконтурного типа.

*Ключевые слова:* газотурбинная установка, промперегрев пара, эффективность схемы, двухконтурная ПГУ.

## FUTURE DIRECTIONS ENERGY EFFICIENCY PSU IES

I.I. Prosin \*, I.A. Rostuntsova \*

\* Yuri Gagarin state technical university of Saratov,  
Saratov, Russia, [rostunzeva@mail.ru](mailto:rostunzeva@mail.ru)

*Annotation.* A scheme of assessment methodology and the efficiency of gas reheat steam bypass PGU-IES type.

*Keywords:* gas turbine, the exhaust gases, the efficiency of the circuit evaporative cooling tower.

Перспективным направлением развития современной энергетики России является внедрение парогазовых технологий. Это связано с необходимостью строительства и внедрения более совершенных энергетических блоков в плане тепловой экономичности по сравнению с паротурбинными установками [1-3]. В двухконтурных парогазовых установках коэффициент полезного действия (КПД) по выработке электрической энергии достигает 45...50%. КПД трехконтурной ПГУ с промежуточным перегревом пара, в которой температура газов перед газовой турбиной находится на уровне 1450°C, достигает 60%. Дальнейшее совершенствование парогазовых установок сопряжено с применением промежуточного перегрева пара, тем самым увеличивая КПД паровой турбины в составе ПГУ за счет подвода к пару дополнительной теплоты. Поэтому разработка схемы промежуточного газового перегрева пара на парогазовых установках КЭС двухконтурного типа в плане повышения КПД цикла является актуальной задачей.

Представлены результаты анализа работы парогазовой установки с введением газового промперегрева пара на базе блока ПГУ-170 КЭС путем теплового расчёта.

Для повышения надёжности и экономичности работы ПГУ станции предлагается с наружной стороны камеры сгорания ГТУ разместить кольцевой канал для промежуточного перегрева водяного пара. Промежуточный перегрев позволит повысить располагаемый теплоперепад пара в части низкого давления паровой турбины за счёт подвода к нему дополнительной теплоты, что увеличивает мощность турбины. Основное отличие от стандартного принципа работы ПГУ заключается в том, что отработавший пар на выходе из цилиндра высокого давления с пониженными значениями температуры и давления поступает по паропроводу в расположенный с наружной стороны камеры сгорания газотурбинной установки кольцевой канал, где перегревается до заданной температуры. Затем по трубопроводу перегретый пар направляется в цилиндр низкого давления, куда также подается генерируемый в котле-утилизаторе пар низкого давления. Принципиальная тепловая схема энергоблока ПГУ-170 с газовым перегревом пара представлена на рис.1.

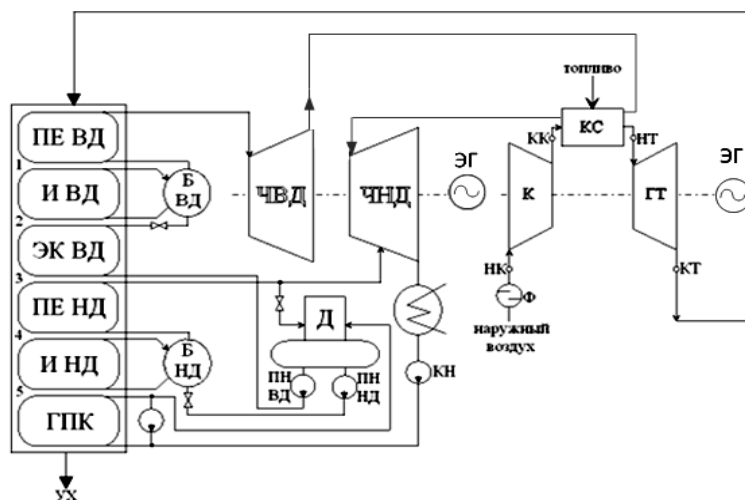


Рис.1. Принципиальная тепловая схема энергоблока ПГУ-170 с газовым промпрегревом пара: ПЕ ВД, ПЕ НД – пароперегреватель высокого и низкого давлений; К – конденсатор; И ВД, И НД – испаритель высокого и низкого давлений; ЭГ – электрический генератор; ЭК ВД – экономайзер высокого давления; ГПК – газовый подогреватель конденсата; Б ВД, Б НД – барабан высокого и низкого давлений; Г – электрогенератор; ПН ВД, ПН НД – питательный насос высокого и низкого давлений; ГТ – газовая турбина; ЧВД, ЧНД – часть высокого и низкого давлений; Д – деаэратор; КН – конденсатный насос; К – воздушный компрессор; Ф – воздушный фильтр; КС – камера сгорания топлива

Аналогом камеры сгорания используемой для промпрегрева является камера с кольцевым каналом [4] рис. 2.

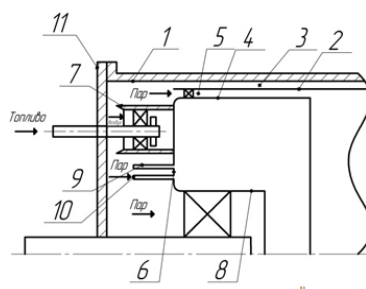


Рис. 2. Конструктивные особенности камеры сгорания ГТУ

Как видно из рисунка камера сгорания содержит цилиндрический корпус 1, соосную с ним жаровую трубу 2, образующих проточную полость для подвода воздуха 3, цилиндрический экран 4, расположенный соосно внутри жаровой трубы и образующий с ней кольцевой канал 5 для прохода пара, фронтное устройство 6, периферийные горелочные устройства 7, расположенные равномерно по окружности во фронтном устройстве, центральное горелочное 8, расположенную на оси жаровой трубы и задвинутую в жаровую трубу глубже, чем периферийные горелочные устройства, охлаждающие глушители 9, установленные на фронтном устройстве, выполненные в виде полых тел произвольного поперечного сечения, направленных открытым торцом к зоне горения, при этом противоположные торцы охлаждающих глушителей закрыты крышками 10, крышку камеры сгорания 11, закрывающую корпус камеры сгорания с торца.

Для оценки эффективности ПГУ с вводом газового промпрегрева составлен материально тепловой баланс камеры сгорания (рис.3).

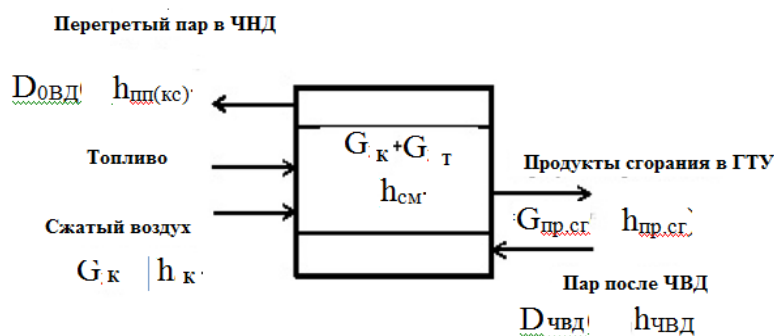


Рис. 3. Баланс камеры сгорания с введением газового промпрегрева пара

Получено следующее выражение:

$$D_{0ВД} \cdot (h_{пп(кС)} - h_{чвд}) = G_{пр.сг} \cdot (h_{см} - h_{пр.сг}), \quad (1)$$

где  $D_{0ВД}$  – расход пара отбираемый из ЧВД, кг/с;  $h_{пп(кС)}$  – энтальпия перегретого пара, кДж/кг;  $h_{чвд}$  – энтальпия пара, отбираемого из ЧВД, кДж/кг;  $G_{пр.сг}$  – расход продуктов сгорания подаваемый в ГТ, кг/с;  $h_{см}$  – энтальпия топливо-воздушной смеси, кДж/кг;  $h_{пр.сг}$  – энтальпия продуктов сгорания, кДж/кг;  $h_{см} = f(t_{см}) = 34056,3$  кДж/кг (по таблице энтальпий продуктов сгорания).

Из баланса определяется энтальпия продуктов сгорания на выходе из камеры сгорания:

$$h_{пр.сг} = (D_{0ВД} \cdot (h_{пп(кС)} - h_{чвд}) - G_{пр.сг} h_{см}) / G_{пр.сг} \quad (2)$$

Показатели эффективности парогазовой установки с газовым промежуточным перегревом (ГПП) приведены в табл.1.

Таблица 1. Показатели эффективности парогазовой установки до и после введения газового перегревателя пара

Показатели	Размерность	Без ГПП (данные из расчета тепловой схемы основной части)	С введением ГПП
КПД парогазовой установки, $\eta_{ПГУ}$	%	49,06	53,96
Электрическая мощность ПГУ, $N_{ПГУ}$	МВт	165,9	175,93
КПД паротурбиной установки, $\eta_{ПТУ}$	%	35,48	38,95
Электрическая мощность ПТУ, $N_{ПТУ}$	МВт	55,11	62,76
КПД газотурбиной установки, $\eta_{ГТУ}$	%	35,85	31,95
Электрическая мощность ГТУ, $N_{ГТУ}$	МВт	110,8	113,21
Потребляемая мощность компрессором, $N_K$	МВт	97,53	144,96
Расход продуктов сгорания, $G_{вх.Г}$	кг/с	257,97	376,45
Температура продуктов сгорания на входе в ГТ, $t_{нт}$	°С	1210	1016
Температура продуктов сгорания на выходе из ГТ, $t_4$	°С	625,8	507,6
Работа расширения в ГТ, $L_{ГТ}$	кДж/кг	838,95	708,12
Работа сжатия в компрессоре $L_K$	кДж/кг	361,07	361,07
Работа газотурбинного цикла, $L_{ГТУ}$	кДж/кг	423,89	302,04
Расход воздуха в компрессор, $G_K$	кг/с	280,61	413
Расход воздуха на входе в камеру сгорания, $G_{кС}$	кг/с	251,15	369,63
Подводимое количество тепла в камере сгорания, $q_{кС}$	кДж/кг	1216,16	945,45

Изменение КПД и электрической мощности ПГУ без промпрегрева (вариант 1) и при внедрении газового промпрегрева (вариант 2) показано на рис.4.

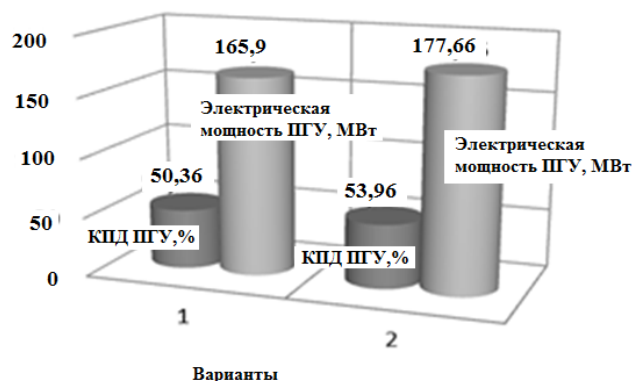


Рис.4. Изменение КПД и электрической мощности ПГУ

В результате введения газового промперегрева пара температура на входе в газовую турбину снизится на  $194^{\circ}\text{C}$ , что приведет к снижению КПД ГТУ, но при неизменном расходе газа будет наблюдаться увеличение мощности ГТУ, КПД ПТУ, мощности ПТУ. Это в свою очередь приведет к увеличению мощности и КПД парогазовой установки в целом.

Таким образом, повышение энергетической эффективности теплоэлектрогенерирующих установок требует повышения начальных параметров рабочей среды. Газовый промежуточный перегрев пара на ПГУ повышает коэффициент полезного действия и электрическую мощность парогазовой установки.

#### Библиографический список

1. Степанов И. Р. Парогазовые установки. Основы теории, применение и перспективы. Апатиты: изд. Кольского научного центра РАН, 2000. 706 с.
2. Ольховский Г. Г. Энергетические газотурбинные установки. М.: Энергоатомиздат, 1985. 298 с.
3. Цанев С. В., Буров В. Д., Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Под. ред. С. В. Цанева. М.: МЭИ, 2002. 584 с.
4. Система впрыска топлива в камеру сгорания газотурбинного двигателя, камера сгорания, оснащенная такой системой, и газотурбинный двигатель: пат. №2468297. Опубл. 27.11.2012 Авторы: Сандели Дени (FR), ДЕЗОЛЬТИ Мишель (FR), БОДУЭН Кристоф (FR).