

Член-корреспондент АН СССР В. И. ВЕЙЦ и М. Л. ЗАКС

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СХЕМЫ ТЕПЛОФИКАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Теплофикация — комбинированное использование топлива для целей получения электроэнергии и тепла — является, как известно, одной из основ технической политики советской энергетики. Теория и техника теплофикации низкотемпературных процессов и ее народнохозяйственная эффективность всесторонне исследованы в советских работах и проверены на практике развития социалистической энергетики. Теплофикация охватывает процессы, требующие теплоноситель с температурой не свыше 200° , и использует водяную паротехнику.

Применение в энергетических схемах газовой и воздушной турбин, а также неводяной паротехники позволяет решить задачу теплофикации высокотемпературных (свыше 200°) процессов, занимающих значительный удельный вес в топливном балансе ряда производств. Это новое направление в энергетике промышленности обеспечит повышение энергетического кпд и экономичность производства в целом.

На рис. 1 дана принципиальная энергетическая схема теплофикации высокотемпературных процессов с применением газовой турбины.

Повышение энергетического кпд комбинированной энергетической схемы по сравнению с отдельными схемами получения электроэнергии на электростанции и высокотемпературного тепла для технологических процессов в печах или в специальных топках обеспечивается: сокращением удельных потерь холостого расхода; возможностью, при определенных условиях, более глубокого охлаждения уходящих газов и более высоким кпд подогревателей высокотемпературного теплоносителя (по сравнению с отдельным способом получения тепла).

Важнейшими энергетическими показателями, определяющими выбор областей применения и оптимальные параметры схемы теплофикации высокотемпературных процессов, являются: u — количества квтч, вы-

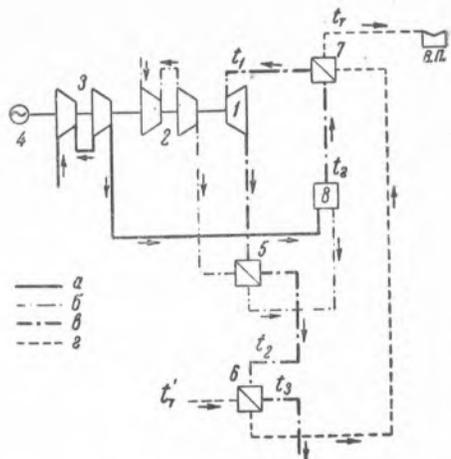


Рис. 1. Принципиальная энергетическая схема теплофикации высокотемпературных процессов с газовой турбиной. 1 — газовая турбина, 2 — компрессор, 3 — газодувка, 4 — электрогенератор, 5 — регенератор, 6 — низкотемпературный подогреватель, 7 — высокотемпературный подогреватель, 8 — камера горения. a — газ, b — воздух для горения, v — продукты сгорания, z — теплоноситель для высокотемпературного процесса (В. П.)

работываемых на 1 Мкал. высокотемпературного тепла, отданного технологическому процессу; η_k^0 — приведенный кпд комбинированной схемы и η_p^0 — приведенный кпд раздельной схемы; b_w^k — удельный расход топлива на квтч электроэнергии в комбинированной схеме и Δb — абсолютная величина экономии топлива в комбинированной энергетической схеме по сравнению с раздельной.

Величина y может быть выражена в зависимости от начальных параметров газовой турбины — температуры t_1 , давления p_1 (полагая конечное давление p_2 постоянным и близким к 1 ата) и от коэффициента избытка воздуха α . Последний, в свою очередь, находится в определенной зависимости от температуры теплоносителя для высокотемпературного процесса t_T .

$$y = \frac{10^6 n_0}{c_n (1 + \alpha L_0) [(t_2 - t_1) + (t_2 - t_3)]} \frac{\text{кВтч}}{\text{Мкал}}, \quad (1)$$

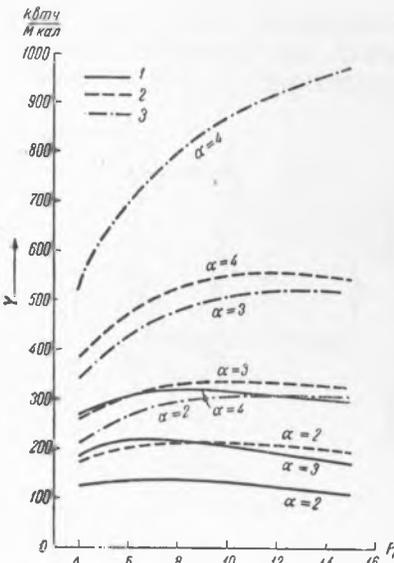


Рис. 2. Изменение показателя y в зависимости от p_1 , t_1 и α . 1 — $t_1 = 600^\circ$, 2 — $t_1 = 700^\circ$, 3 — $t_1 = 800^\circ$

Для указанных на графике рис. 2 параметров y изменяется в пределах $100 \div 1000$ квтч/Мкал. Кривые $y = f(p_1)$ имеют максимумы, различные для разных t_1 и α . Абсолютная величина y резко растет с повышением t_1 и α и падает при переходе к высоким температурам теплоносителя, что связано с необходимостью в этих условиях снижения α .

Абсолютный кпд комбинированной схемы может быть выражен формулой (2):

$$\eta_k = \frac{860 n_0 + \frac{c_T (t_T - t'_T)}{\mu}}{Q_H^p}, \quad (2)$$

или, в зависимости от y :

$$\eta_k = \frac{860 y + 10^6}{(b_w^k y + b_q^k) 7000}, \quad (2a)$$

где c_T — средняя весовая теплоемкость теплоносителя (кал/кг $^\circ$ С); t_T и t'_T — температуры теплоносителя, покидающего установку и вхо-

где c_n — средняя весовая теплоемкость продуктов сгорания (кал/кг $^\circ$ С); α и L_0 — коэффициент избытка воздуха и теоретический его расход (кг/кг); t_2 , t_1 , t_3 — соответственно, температуры: горения, продуктов сгорания, поступающих в турбину, за регенератором и покидающих низкотемпературный теплообменник; n_0 — удельная электрическая мощность, отдаваемая на сторону при сжигании 1 кг топлива в час. Обозначая соответствующие удельные мощности: турбины — n_m компрессора — n_k и газодувки — n_2 , величину n_0 можно определить из выражения

$$n_0 = n_m (1 + \alpha L_0) - n_k \alpha L_0 - n_2.$$

На рис. 2 дано семейство кривых, характеризующих изменение y в зависимости от t_1 , p_1 и α (при $\eta_m = 0,88$, $\eta_k = 0,87$, $\eta_{max} = 0,98$ и топливе — газе с $Q_H^p = 675$ кал/кг и $\eta_{квм.гор.} = 0,98$).

дящего в низкотемпературный подогреватель; μ — отношение веса газа к весу теплоносителя; Q_n^p — теплотворная способность газа (кал/кг); b_w^* и b_q^* — удельные расходы топлива в комбинированной схеме, соответственно на квтч и на Мкал. в кг.

Для сравнительной оценки энергетической эффективности комбинированной схемы необходим анализ относительного энергетического кпд η_{κ}^0 , определяемого условиями приведения к одинаковому в количественном и качественном отношении составу продукции, как это исследовано в работе (1).

В рассматриваемой схеме, в зависимости от параметров p_1 , t_1 и α , величина выработки электроэнергии при отпуске 1 Мкал, высокотемпературного тепла будет изменяться в различных вариантах. В указанной работе (1) дано в общем виде выражение приведенного энергетического кпд сравниваемых комбинированных производств. Применительно к рассматриваемой схеме приведенный энергетический кпд может быть представлен:

$$\eta_{\kappa}^0 = \frac{\eta_{\kappa} K_1 + \eta_w^{\Delta} K_2}{K_1 + K_2},$$

где

$$K_1 = b_w^* y + b_q^*;$$

$$K_2 = (y_6 - y) b_w^{\Delta};$$

y_6 — удельная выработка электроэнергии на Мкал. в базовом варианте, т. е. в том из рассматриваемых вариантов, где y является максимальным; η_w^{Δ} и b_w^{Δ} , — соответственно, кпд и удельный расход топлива для производства заменяемой электроэнергии в районной энергосистеме. В этих обозначениях

$$\eta_{\kappa}^0 = \frac{(b_w^* y + b_q^*) \eta_{\kappa} + (y_6 - y) b_w^{\Delta} \eta_w^{\Delta}}{b_w^* y + b_q^* + (y_6 - y) b_w^{\Delta}}. \quad (3)$$

На рис. 3 дана сравнительная характеристика энергетической эффективности комбинированной схемы с газовой турбиной при $p_1 = 6$ ата, $t_1 = 700^\circ$ и различных α (от 2 до 5), в зависимости от кпд производства заменяемой электроэнергии в районной системе.

Для $\alpha = 5$ (базовый вариант), в соответствии с уравнением (3), $\eta_{\kappa}^0 = \eta_{\kappa}$, т. е. не зависит от η_w^{Δ} .

На рис. 3 видно, что для принятых условий повышение α энергетически выгодно при $\eta_w^{\Delta} < 0,3$; при $\eta_w^{\Delta} = 0,3$ α не влияет на величину η_{κ}^0 , а при $\eta_w^{\Delta} > 0,3$ эффективны схемы с низкими значениями α .

Пунктирными линиями представлены приведенный энергетический кпд в условиях раздельного производства электроэнергии и тепла (η_{κ}^0): верхняя линия для кпд производства высокотемпературного теп-

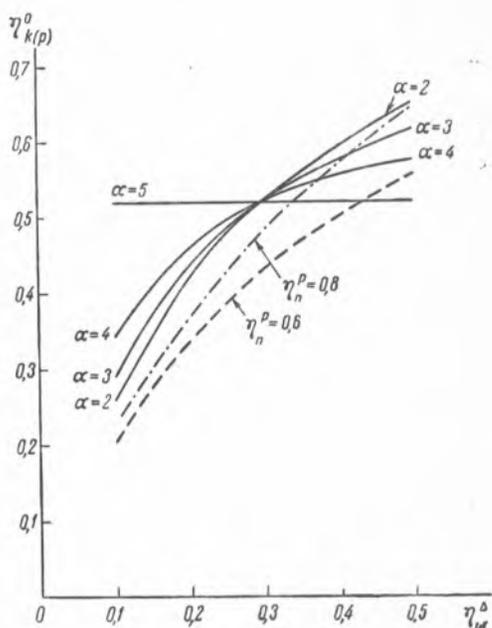


Рис. 3. Сравнение экономичности работы установок: комбинированной (при разных α) и раздельной — в зависимости от η_w^{Δ} и η_n^p .
 $t_1 = 700^\circ$, $p_1 = 6$ ата

ла $\eta_n^p = 0,8$, нижняя — для $\eta_n^p = 0,6$. Сопоставление с этими кривыми определяет эффективность и области применения комбинированных энергетических схем с газовой турбиной.

Определяющее влияние на η_w^Δ оказывают условия районного энергоснабжения и, в частности, структура районной системы.

Удельный расход топлива на 1 квтч электроэнергии в комбинированной схеме может быть представлен следующей зависимостью*:

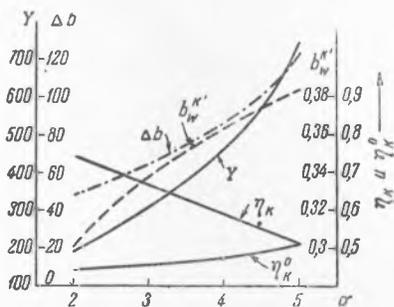
$$b_w^x = \frac{1 - \frac{c_n(1 + \alpha L_0)[(t_2 - t_1) + (t_2 - t_3)]}{Q_n^p \eta_n^x}}{n_0} a \frac{\text{кг}}{\text{кВтч}}, \quad (4)$$

где η_n^x — кпд подогревателя в комбинированной схеме, a — коэффициент перевода в условное топливо.

Анализ формулы (4) показывает, что в комбинированной установке удельный расход топлива на выработку электроэнергии, а следовательно, и ее кпд, в отличие от отдельных газотурбинных установок, не зависят от степени регенерации, с увеличением которой растет t_2 и в той же степени снижается t_2 . Регенерация оказывает влияние только на распределение тепловой нагрузки между подогревателями.

Величина b_w^x заметно увеличивается с ростом p_1 , однако выбор оптимальных параметров может быть произведен только на основании сопоставления величин расхода топлива, вырабатываемой электроэнергии и характеристики заменяемой электроэнергии в районной системе.

Рис. 4. Зависимость основных энергетических показателей от α . $p_1 = 6$ ата, $t_1 = 700^\circ$, $b_w^\Delta = 0,55$ кг/квтч



Экономия топлива при комбинированной схеме по сравнению с раздельной определяется из выражения

$$\Delta b = (b_w^\Delta - b_w^x) y + 143 \left(\frac{1}{\eta_n^p} - \frac{1}{\eta_n^x} \right) \frac{\text{кг}}{\text{Мкал}}. \quad (5)$$

При условии $b_w^x < b_w^\Delta$ экономия топлива тем больше, чем выше y , т. е., при принятых начальных параметрах, чем больше α .

На рис. 4 даны основные показатели установки в зависимости от α , причем расход топлива b_w^x вычислен в предположении равенства кпд нагрева высокотемпературного теплоносителя в комбинированной и раздельной схемах ($\eta_n^p = \eta_n^x = 0,85$).

В сообщении выведены основные энергетические характеристики (y , η_n^0 и η_n^x , b_w^x и Δb) схемы теплофикации высокотемпературных процессов с газовой турбиной, установлена методика определения областей применения новой схемы в зависимости от параметров турбины, температуры технологического процесса и условий энергоснабжения района размещения производства.

Поступило
3 V 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Вейц, Изв. АН СССР, ОТН, № 11 (1946).

* Экономия топлива, получаемая в результате комбинирования, относится здесь условно на тепло.