

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

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНОЙ ТУРБИНЫ
В СХЕМЕ ТЕПЛОФИКАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ПРОЦЕССОВ**

В работе (1) были выведены основные энергетические характеристики схемы теплофикации высокотемпературных процессов с газовой турбиной и определены условия, при которых эта комбинированная схема может дать оптимальный энергетический эффект.

Воздушная турбина, в отличие от газовой, может работать на любом виде топлива. Это значительно расширяет области применения теплофикации высокотемпературных процессов, в особенности в производствах, где теплоносителем является горячий воздух (доменный процесс и др.).

На рис. 1 представлена известная энергетическая схема теплофикации высокотемпературных процессов с воздушной турбиной. Показатель y (удельная выработка киловаттчасов на 1 Мкал высокотемпературного тепла, отданного технологическому процессу) может быть представлен следующей зависимостью:

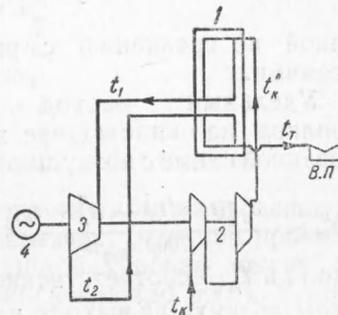


Рис. 1. Принципиальная энергетическая схема теплофикации высокотемпературных процессов с воздушной турбиной: 1 — воздушный котел, 2 — компрессор, 3 — воздушная турбина, 4 — электрогенератор

$$y = \frac{1 \cdot 10^6 n}{c_v (t_T - t_K)} \frac{\text{кВтч}}{\text{Мкал}}, \quad (1)$$

где n — электрическая мощность, при пропуске через установку 1 кг воздуха в час равная разности соответствующих мощностей турбины n_T и компрессора n_K ; c_v — средняя весовая теплоемкость воздуха (кал/кг°С), t_T и t_K — температуры воздуха, покидающего установку и поступающего в компрессор.

При заданной температуре теплоносителя для технологического процесса (t_T) $y = y_{\text{макс}}$ при $n = n_{\text{макс}}$.

Значение начального давления p_1 , соответствующего $n_{\text{макс}}$, можно найти из выражения $dn/dp_1 = 0$, представив n , по известным формулам, в функциональной зависимости от p_1 . Приняв $t_1 = 700^\circ$, $k = 1,4$, $R = 29,27$, $\eta_m = 0,88$, $\eta_K = 0,87$, $\eta_{\text{мех}} = 0,98$, найдем для двухступенчатого сжатия, что максимальное значение n соответствует $p_1 = 7,85$ ата.

На рис. 2 дано семейство кривых, характеризующих изменение y в зависимости от p_1 и t_T . Для $t_1 = 700^\circ$ и $t_T = 400 - 800^\circ$ y изменяется

в пределах 150—380 квтч/Мкал. и резко снижается с ростом t_T . Кривые $y = f(p_1)$ при $t_1 = \text{const}$ имеют совпадающие максимумы. Абсолютный и приведенный к. п. д. η_k и η_k^0 комбинированной энергетической схемы с воздушной турбиной определяются по тем же формулам, которые были предложены нами для схемы с газовой турбиной (1).

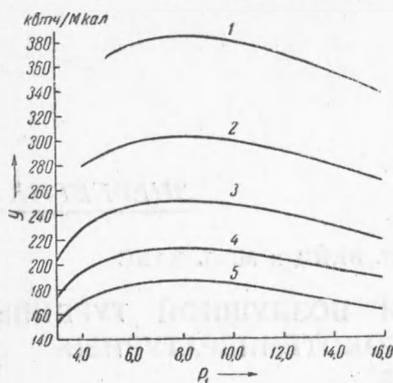


Рис. 2. Зависимость y от p_1 и t_T , $t_1 = 700^\circ$: 1 — $t_T = 400^\circ$, 2 — $t_T = 500^\circ$, 3 — $t_T = 600^\circ$, 4 — $t_T = 700^\circ$, 5 — $t_T = 800^\circ$

биной по сравнению с отдельными схемами.

Удельный расход условного топлива на киловаттчас в комбинированной схеме с воздушной турбиной:

$$b_w^k = \frac{c_a [(t_1 - t_2) - (t_k^* - t_k)]}{7000 \eta_{km} n} \frac{\text{кг}}{\text{кВтч}} \quad * \quad (2)$$

где t_2 и t_k^* — соответственно, температуры воздуха на выходе из турбины и компрессора; η_{km} — к. п. д. воздушного котла.

Анализ формулы (2) показывает на рост величины b_w^k с повышением p_1 , что в первую очередь объясняется снижением при этом t_2 , т. е. большими затратами топлива на нагрев воздуха в котле.

На рис. 4 дано сравнение комбинированной схемы с воздушной турбиной и отдельного производства электроэнергии и тепла при η_n^p — к. п. д. его получения — 0,6 и 0,8, в зависимости от районных условий энергоснабжения (η_{wv}^Δ — к. п. д. производства электроэнергии в районной системе). Для принятых параметров и к. п. д. при $\eta_{wv}^\Delta < 0,43$ энергетически выгоднее применение комбинированных схем для процессов с более низкими температурами теплоносителей. С повышением η_{wv}^Δ работа установки, например, при $t_T = 800^\circ$ может стать экономичнее, чем при $t_T = 400^\circ$, так как с ростом t_T увеличивается доля электроэнергии, поступающей из районной системы с удельным расходом топлива на киловаттчас меньшим, чем в комбинированной схеме.

При высоких значениях $\eta_{wv}^\Delta (\geq 0,5)$ и η_n^p отдельные схемы ста-

На рис. 3 даны приведенные к. п. д. установки η_k^0 в зависимости от p_1 и t_T при b_w^Δ (удельный расход топлива при производстве заменяемой электроэнергии в районной системе), равном 0,5 кг/кВтч и к. п. д. отдельного производства высокотемпературного теплоносителя $\eta_n^p = 0,8$. Там же нанесен приведенный к. п. д. отдельной схемы производства электроэнергии и высокотемпературного тепла η_p^0 . Кривые рис. 3 показывают энергетические преимущества комбинированной схемы с воздушной тур-

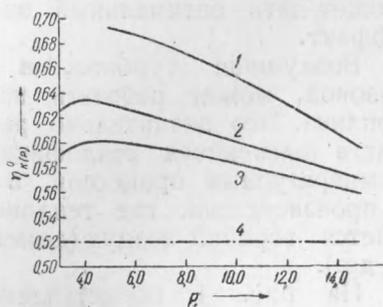


Рис. 3. Сравнение комбинированной схемы с воздушной турбиной и отдельного производства тепла и электроэнергии; $t_1 = 700^\circ$, $b_w^\Delta = 0,5$ кг/кВтч, $\eta_n^p = 0,8$. 1—3 — η_k^0 ; 1 — при $t_T = 400^\circ$, 2 — $t_T = 600^\circ$, 3 — $t_T = 800^\circ$; 4 — η_p^0

* Экономия от комбинирования при определении b_w^k указанным образом относится на выработку электроэнергии.

новятся примерно равноэкономичными комбинированной. Однако практически это не может иметь места, так как уже при $\eta_w^\Delta > 0,3$ комбинированная схема будет замещать электроэнергию, вырабатываемую на ТЭЦ по теплофикационному режиму. Между тем, теплофикация высокотемпературных процессов должна вытеснять выработку электроэнергии не на ТЭЦ (по теплофикационному циклу) или на ГЭС, а только получаемую на конденсационном режиме.

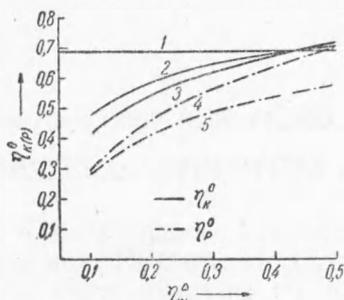


Рис. 4. Сравнение экономичности комбинированной и раздельной установок в зависимости от η_w^Δ .

$t_1 = 700^\circ$; $p = 60$ ата. 1—3 — η_R^0 , 4, 5 — η_P^0 . 1 — при $t = 400^\circ$, 2 — $t_T = 600^\circ$, 3 — $t_T = 800^\circ$, 4 — $r_n^p = 0,8$, 5 — $r_n^p = 0,6$

Сопоставление энергетической эффективности комбинированных схем с газовой и воздушной турбинами показывает, что при прочих равных условиях область применения воздушной турбины лежит в зоне относительно меньших температур теплоносителя (до 500°). В интервале $500-800^\circ$ газовая турбина при работе с высоким коэффициентом избытка воздуха α безусловно экономичнее воздушной турбины. При $t_T \geq 900^\circ$ необходимость перехода на низкие значения α делает обе установки примерно равноэкономичными.

Поступило
22 IX 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Вейц и М. Л. Закс, ДАН, 67, № 1 (1949).