

М. Л. ЗАКС

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМБИНИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ С РТУТНОЙ ТУРБИНОЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА

(Представлено академиком А. В. Винтером 7 VI 1951)

В работах (1, 2) были выведены энергетические характеристики схем высокотемпературной теплофикации с применением газовой и воздушной турбин.

Комбинированная установка с ртутной турбиной, обладая известными преимуществами перед указанными схемами (возможностью использования любого вида топлива, большей освоенностью ртутных парогенераторов по сравнению с воздушными котлами), расширяет область применения высокотемпературной теплофикации.

Установка с ртутной турбиной впервые была рассмотрена В. Д. Пашковым (3) применительно к процессу доменного дутья. На ее эффективность в условиях металлургического комбината указывают также А. Н. Ложкин и А. А. Канаев (4).

В настоящем сообщении дается энергетическая оценка ртутной установки и производится сравнение ее с раздельным производством и с комбинированной схемой с газовой турбиной, позволяющее установить область применения рассматриваемых схем.

На рис. 1 представлена схема со ступенчатым нагревом теплоносителя (воздуха) ртутным паром из противодавления и из отбора с последующим догревом его дымовыми газами.

Основным показателем, определяющим энергетическую эффективность схемы, является выработка электроэнергии на 1 Мкал высокотемпературного тепла, отпущенного установкой. Для турбины без промежуточного отбора эта величина определится из выражения

$$y = \frac{1162 (t'_{вп} - t_{вх}) \eta_m \eta_r}{(t_{вп} - t_{вх}) \eta_{пг}} \frac{i_1 - i_2}{i_2 - q} \text{ квтч} \cdot \text{Мкал} \quad (1)$$

Здесь: $t_{вх}$, $t'_{вп}$ и $t_{вп}$ — соответственно, температуры теплоносителя: поступающего на подогрев, на выходе из ртутного подогревателя и

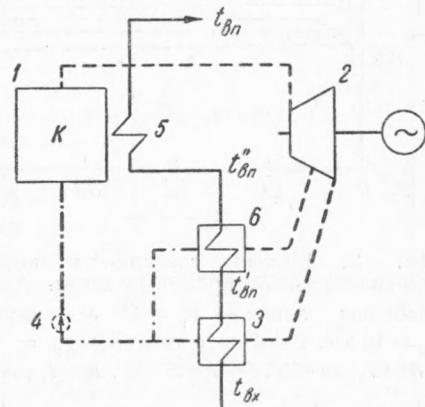


Рис. 1. Схема комбинированной установки с ртутной турбиной. 1 — котел, 2 — турбина, 3, 6 — ртутные подогреватели, 4 — насос, 5 — газовый подогреватель.

покидающего установку; i_1, i_2 и q — теплосодержания: пара, поступающего в турбину, пара в противодавлении, кипящей ртути в подогревателе в ккал/кг; η_m, η_p, η_n — к. п. д. механический турбины, генератора и подогревателя. Удельные расходы топлива на выработку электроэнергии (b_e) и тепла (b_q) определяются из выражений:

$$b_e = \frac{0,123}{\eta_m \eta_g \eta_{кт}} \frac{\text{кг}}{\text{кВтч}}, \quad (2)$$

$$b_q = \frac{143}{\eta_{кт} \eta_n} \frac{\text{кг}}{\text{Мкал}}, \quad (3)$$

где $\eta_{кт}$ — к. п. д. котельной установки.

Энергетическая эффективность установки, производящей теплофикационную электроэнергию, будет наивысшей при максимальной величине выработки (y). Величина y растет с повышением начальных параметров турбины (p_n) и падает при повышении температуры процесса ($t_{вп}$) и температуры теплоносителя, поступающего в установку ($t_{вх}$).

Снижение противодавления, увеличивая выработку электроэнергии на 1 Мкал, отпускаемую из турбины, уменьшает вследствие снижения температуры пара часть тепла, производимого в ртутном подогревателе.

На рис. 2 представлен характер изменения y в зависимости от противодавления (p_n) при следующих значениях отдельных постоянных: $\eta_m \eta_g = 0,95$; $\eta_n = 0,98$, $t_{вх} = 27^\circ$ и $\eta_{от} = 0,8$.

Рассмотрение кривых позволяет установить весьма пологий характер их протекания в зоне, лежащей правее оптимума.

Энергетическая эффективность схемы резко повышается при осуществлении промежу-

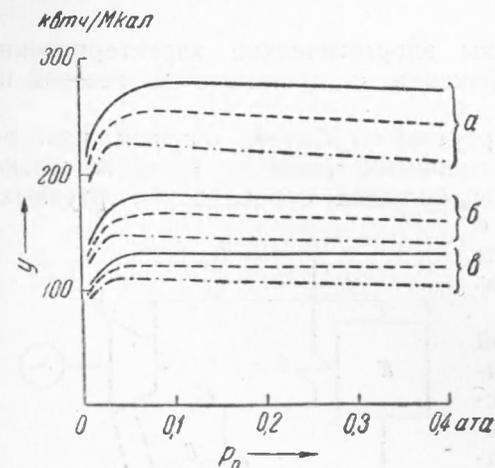


Рис. 2. График зависимости выработки электроэнергии от противодавления. $t_{вх} = 27^\circ$, сплошная линия — $p_n = 20$ ата, пунктир — $p_n = 14$ ата, пунктир с точкой — $p_n = 10$ ата, a — $t_{вп} = 400^\circ$, b — $t_{вп} = 600^\circ$, $в$ — $t_{вп} = 800^\circ$

точного отбора в ртутной турбине, используемого для дополнительного нагрева теплоносителя. Установка подогревателя $З$ (рис. 1) на высоте, обеспечивающей защиту от перелива в него конденсата из подогревателя $б$, позволяет отказаться от каскадного перепуска, снижающего выработку электроэнергии.

Величина y определится здесь из выражения

$$y = \frac{1162 \eta_m \eta_g}{(t_{вп} - t_{вх}) \eta_n} \left[(t'_{вп} - t_{вх}) \frac{i_1 - i_2}{i_2 - q} + (t''_{вп} - t'_{вп}) \frac{i_1 - i'_2}{i'_2 - q'} \right] \frac{\text{кВтч}}{\text{Мкал}}, \quad (4)$$

где $t''_{вп}$ — температура теплоносителя на выходе из ртутного подогревателя $б$, i_2 и q' — теплосодержание пара в отборе и жидкости в подогревателе $б$ (рис. 1).

На рис. 3 нанесены абсолютный к. п. д. схемы с ртутной турбиной при $p_n = 14$ ата и противодавлении $p_n = 0,04$ ата, (η_k) и приведенные к. п. д. установок при $p_n = 10$ ата, $p_n = 0,04$ ата (η_0^n) и $p_n = 10$ ата, давлении отбора $p_o = 1$ ата, $p_n = 0,04$ ата ($\eta_0^{оп}$) в зависимости от к. п. д.

замещаемой электроэнергией (η_c). Кривые рис. 3 отражают эффективность повышения начальных параметров и применения промежуточного отбора.

Сравнение по энергетической эффективности установок с ртутной турбиной и раздельного производства (η^p) показывает, что даже при высоком к. п. д. производства высокопотенциального тепла ($\eta_{11}^p = 0,8$) комбинированная схема оказывается экономичнее раздельной. Преимущества комбинирования возрастают в условиях низких к. п. д. районной энергосистемы.

Особый интерес представляет сравнение комбинированных схем с газовой и ртутной турбинами, позволяющее выявить их сравнительную энергетическую эффективность.

Энергетические показатели ртутной установки при известных к. п. д. агрегатов, принятых начальных параметрах и температурах теплоносителя, заданных технологическим процессом, определяются величиной противодействия (и давления в отборе). Для комбинированной газотурбинной установки (¹) при тех же известных величинах экономичность схемы определяется температурой продуктов сгорания, покидающих установку, t_0 и коэффициентом избытка воздуха α .

Сравнение схем должно производиться при оптимальном для заданных температур теплоносителя противодействии ртутной турбины, обеспечивающем максимальную выработку теплофикационных квтчасов, и тех значениях t_0 и α , при которых для рассматриваемых условий энергоснабжения района величина приведенного к. п. д. максимальна.

Величина к. п. д. замещаемой электроэнергии, при котором схемы оказываются энергетически равноценными, определится из выражения

$$\eta_c = \frac{0,123 (y_1 - y_2)}{b_{a_1} y_1 - b_{a_2} y_2 + b_{g_1} - b_{g_2}}, \quad (5)$$

где y_1 и y_2 — удельные выработки квтчасов в сравниваемых схемах; b_{a_1} , b_{g_1} и b_{a_2} , b_{g_2} — расходы топлива на квтч и на Мкал в первой и второй схемах.

На рис. 3 нанесены приведенные к. п. д. η_0^r комбинированной схемы с газовой турбиной ($t_T = 700^\circ$, $p_1 = 6$ ата, $\eta_{ад}^r = 0,88$, $\eta_{ад}^k = 0,87$, $\eta_{мех} = 0,98$) при различных величинах α (топливо-доменный газ). Величина t_0 выбиралась из условий обеспечения температурного перепада между продуктами сгорания и теплоносителем в низкотемпературном теплообменнике $\sim 50-60^\circ$.

Сравнение схем с ртутной и газовой турбинами по расходу топлива показывает, что область применения последней лежит в зоне невысоких к. п. д. районной системы. Комбинированные ртутные

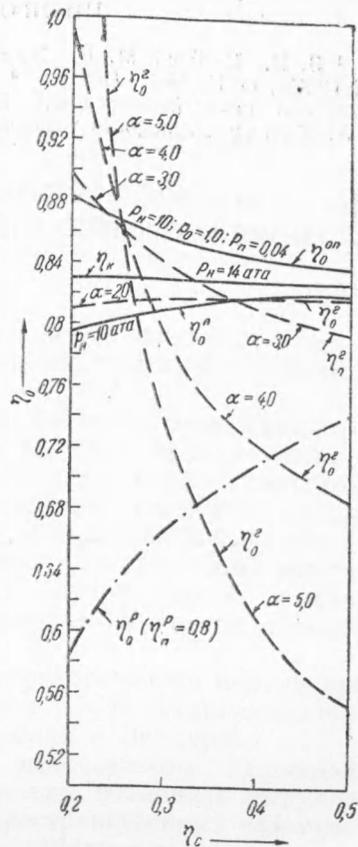


Рис. 3. Сравнение схем производства высокопотенциального теплоносителя, $t_{вп} = 600^\circ$, $t_{вх} = 27^\circ$

установки оказываются энергетически эффективнее газотурбинных при сооружении их в зоне действия районных систем с конденсационными станциями высокого давления или систем, сочетающих КЭС среднего давления и теплоэлектроцентрали.

Поступило
28 V 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Вейц и М. Л. Закс, ДАН, 67, № 1 (1949). ² М. Л. Закс, Изв. АН СССР, ОТН, № 2 (1951). ³ В. Д. Пашков, Энергетическая модернизация доменного цеха (диссертация), ЭНИН АН СССР, 1946. ⁴ А. Н. Ложкин и А. А. Канаев, Бинарные установки, М., 1946.