

Б. А. ЛЕВЧЕНКО, канд. техн. наук,
Н. Л. ЗЕЛЬДЕС, канд. техн. наук,
Р. Г. АКМЕН, канд. техн. наук

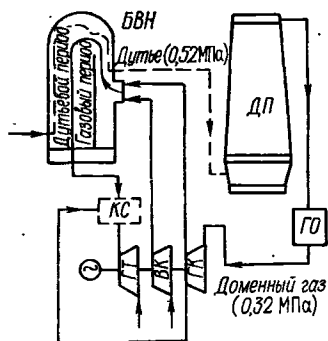
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОВЫХ ТУРБИН В КОМПЛЕКСЕ С ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯМИ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

При проектировании мощных доменных печей (ДП) учитывают перспективную возможность применения дутья с температурой 1400—1500°C. Увеличение температуры дутья, повышение производительности печей и связанное с этим возрастание количества дутья требуют создания воздухонагревателей со значительной поверхностью нагрева. Так, поверхность нагрева одного воздухонагревателя ДП объемом $V=5000 \text{ м}^3$ составляет 125 412 м², а проектная стоимость строительства комплекса воздухонагревателей — более 12 млн. руб. Поэтому интенсификация тепловой работы воздухонагревателей с целью уменьшения их размеров — актуальная задача.

Одним из решений данной проблемы является обеспечение работы воздухонагревателей под давлением не только во время дутья, но и в газовый период [1].

Рассмотрим возможность использования конструктивно подобных воздухонагревателей ДП $V=3000 \text{ м}^3$ для снабжения горячим дутьем печи объемом 5000 м³. Блок воздухонагревателей

ДП 3000 м³ имеет поверхность нагрева насадки 2 720 000 м², что примерно в 1,85 раза меньше, чем у блока печи 5000 м³, а разница в их сметной стоимости равна 5685,4 тыс. руб. Исследования проведем с помощью ЭВМ для условий, когда температура продуктов сгорания под куполом $t_{к} = 1550^{\circ}\text{C}$, температура холодного дутья $t_{х.д} = 150^{\circ}\text{C}$, расход дутья на печь $V_{д} = 9000 \text{ Н}\cdot\text{м}^3/\text{мин}$, время цикла 4 часа.



Принципиальная схема блока воздухогревателей под наддувом в газовый период: БВН — блок воздухогревателей; ДП — доменная печь; ГО — газоочистка; ГТ — газовая турбина; ВК — компрессор воздуха горения; ГК — компрессор отопительного газа; КС — камера сгорания; 1 — дутьевой период; 2 — газовый период.

Воздухогреватели отапливаются смесью доменного и природного газа с $Q_{н} = 7,25 \text{ МДж}/\text{Н}\cdot\text{м}^3$, для которой соотношение компонентов воздух — доменный газ — продукты сгорания составляет соответственно 1,837 : 0,895 : 2,742.

Блок воздухогревателей ДП 5000 м³ может обеспечить температуру дутья 1500°C при расходе отопительного газа $B = 196 000 \text{ Н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$. Воздухогреватели ДП 3000 м³ также дают эту температуру, но необходимо, во-первых, сжигать газ в количестве $B' = 225 000 \text{ Н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$, что на 14,8% больше, чем в основном варианте, а во-вторых, из-за значительного увеличения скорости газов в насадке (примерно вдвое) нужно иметь более мощные вентиляторы воздуха горения. Ухудшаются также

условия работы поднасадочного устройства вследствие резкого возрастания температуры уходящих газов.

При использовании блока воздухогревателей ДП 3000 м³, работающих под наддувом с давлением $P = 0,5 \text{ МПа}$, появляется возможность сокращения времени перекидки клапанов за счет уменьшения времени продувки и наполнения воздухогревателей, а также отсутствия выравнивания давлений. Это, в свою очередь, позволяет применить более короткий оптимальный цикл работы воздухогревателей ($\tau_{ц} = 1 \text{ ч}$). Повышается интенсивность теплообмена в насадке, что приводит к уменьшению расхода топлива ($B'' = 208 000 \text{ Н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$) при средней температуре уходящих газов 375°C и расходе продуктов сгорания $G = 210 \text{ кг}/\text{с}$.

В связи с повышением температуры и давления газов за воздухогревателями возникает необходимость утилизации как тепловой, так и потенциальной энергии продуктов сгорания. Очевидно, наиболее рациональным здесь является размещение за блоком воздухогревателей газовой турбины, которая и может стать приводом турбонаддувочного агрегата (рисунок).

Блок воздухонагревателей ДП-5000 м³ оборудован вентилятором воздуха горения ВДВ-18 с электродвигателем ДСП-140/64-4 мощностью 2000 кВт. При переходе на режим работы с повышенным давлением потребность в таком вентиляторе отпадает и, следовательно, затраты электроэнергии на собственные нужды снижаются.

В качестве приводных турбин турбонаддувочного агрегата можно использовать стационарные силовые ГТУ, газовые утилизационные бескомпрессорные турбины ГУБТ и авиационные газотурбинные двигатели АГТД.

Работа воздухонагревателя под наддувом до 0,5 МПа в газовый период предъявляет к турбине требование ограничить степень расширения $\pi_T \leq 5$ и расход газа ~ 200 кг/с. Из силовых ГТУ наиболее подходящей является турбина ГТ-30-750 ЛМЗ с характеристиками, приведенными в таблице.

Тип турбины	π_T	Число ступеней	G · кг/с	n · об/мин	η_{oi}
ГТ-30-750	6,4	5	206	3000	0,88
АИ-20	7,5	3	20	12300	—
НК-12ПН	7,5	3	50	8000	—
РД-3М-500	3,4	2	164	4700	—
ГУБТ-8	3,5	2	91	3000	—
ГУБТ-12	3,5	2	136	3000	—

Расчет прочной части турбины ГТ-30-750 с целью конвертирования ее для работы в блоке с воздухонагревателями показал, что при удалении 1 и 5 ступеней степень расширения можно снизить до нужной величины с одновременным повышением расхода газа. Общий внутренний КПД турбины сохраняется высоким ($\eta_{oi} = 0,857$), а эффективная мощность на валу турбины при средней температуре продуктов сгорания за воздухонагревателями $t_{yx} = 375^\circ \text{C}$ составляет $N_e \cong 43$ МВт (расход продуктов сгорания для блока воздухонагревателей 210 кг/с).

После несущественных изменений компрессор ГТ-30-750 также можно использовать для сжатия воздуха горения. Необходимая мощность привода компрессора $N_{в.к} \cong 30,5$ МВт при расходе воздуха горения $G_{в.к} = 137$ кг/с. Так как мощность на валу турбины больше мощности компрессора, появляется возможность постановки на валу турбины и компрессора отопительного газа.

В печах, работающих с повышенным давлением на колошнике (до $P_k = 0,32$ МПа), потенциальная энергия доменного газа без применения ГУБТ теряется. Для воздухонагревателей же под наддувом можно использовать энергию газа, идущего на отопление воздухонагревателей (до 40% от его общего выхода).

Поскольку дожатие газа в компрессоре осуществляется примерно от 0,32 до 0,52 МПа, он должен иметь сравнительно небольшую мощность ($N_{г.к} = 3,5$ МВт).

Таким образом, при постановке за блоком воздухонагревателей газовой турбины типа ГТ-30-750 обеспечивается привод компрессоров воздуха горения и отопительного газа и избыток мощности порядка 9 МВт, которую можно использовать для привода электрогенератора.

Отметим, что в борове за блоком воздухонагревателей наблюдаются значительные колебания температуры уходящих газов, что приводит к неустойчивой работе турбины. Одним из способов уменьшения температурной неравномерности во времени может быть установка дополнительной камеры сгорания. Расчеты показали целесообразность такого решения, однако возможны и другие варианты снижения уровня колебания температуры. Этот вопрос, а также работа турбины в условиях определенной заплыненности уходящих газов требуют дополнительного исследования.

Рассмотрим возможность применения АГТД в качестве приводных двигателей для турбонаддувочного агрегата. АГТД по сравнению со стационарными ГТУ обладают меньшими габаритами и благодаря крупносерийному выпуску имеют низкую стоимость. Они успешно используются в различных отраслях промышленности [2]. Исходя из данных АГТД (см. таблицу), для работы в блоке воздухонагревателей с ДП 5000 м³ при указанных выше параметрах можно взять только двигатель НК-12ПН (после соответствующего конвертирования с целью снижения степени расширения газа). Однако малый расход продуктов сгорания на один двигатель требует постановки за блоком воздухонагревателей четырех АГТД типа НК-12ПН, что недостаточно удобно.

При наддуве с более низким давлением (0,3—0,4 МПа) можно применить как АГТД типа РД-3М-500 (два двигателя на блок воздухонагревателей), так и бескомпрессорные турбины типа ГУБТ-12 (две турбины на блок). ГУБТ характеризуется гибкостью регулирования, осуществляемого блоком поворотных диафрагм на входе в турбину. Такое регулирование обеспечивает независимость от переходных режимов в воздухонагревателях. Снижение давления наддува, а также уменьшенные размеры ДП позволяет расширить область изысканий для выбора оптимального варианта использования энергии уходящих газов за блоком воздухонагревателей.

Технико-экономическое сравнение рассмотренных вариантов показывает, что в варианте с воздухонагревателями под наддувом уменьшаются не только капиталовложения, но и возрастает коэффициент использования топлива. На основании работы [3] по расходу топлива на выработку 1 кВт·ч ($B = 440$ г/кВт·ч), можно подсчитать расход топлива на блок воздухонагревателей

с учетом собственных потребностей (затраты мощности на привод вентилятора воздуха горения). Он равен примерно $199000 \text{ Н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$.

Для блока воздухонагревателей под наддувом, который выполняет в нашем случае двойную роль — получение горячего дутья и электроэнергии, затраты топлива на горячее дутье составляют всего $193300 \text{ Н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$, что на $2,86\%$ ниже, чем в основном варианте.

Сравнение затрат по исследуемым вариантам получения горячего дутья показывает, что блок под наддувом может дать заметную экономию (до 500 тыс. руб. в год). Это позволяет сделать вывод о целесообразности его использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнез Я. И. Теория газовых турбин. М., Машгиз, 1950. 386 с.
2. Уваров С. Н. Авиационные газотурбинные двигатели в энергетике. Л., «Энергия», 1971. 79 с.
3. Варшавский Я. И. Результаты испытания головного образца газовой утилизационной бескомпрессорной турбины ГУБТ-8. — «Промышленная энергетика», 1970, № 8, с. 46—49.