

В.И.Большаков, Г.Н.Голубых, А.И.Лаврик, Г.М.Каненко

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВЫХ УТИЛИЗАЦИОННЫХ
БЕСКОМПРЕССОРНЫХ ТУРБИН
В РОССИИ, УКРАИНЕ, ЯПОНИИ И ЕВРОПЕ**

*Институт черной металлургии НАН Украины
УкрГНТИ «Энергосталь»*

Приведен опыт применения газовых утилизационных бескомпрессорных турбин, использующих избыточное давление сжатого доменного газа для выработки электроэнергии. Показано, что эффективность работы ГУБТ зависит от стабильности работы доменных печей на повышенном давлении газа, степени очистки доменного газа, конструкции засыпных аппаратов.

Современное состояние вопроса.

В настоящее время в связи с увеличением стоимости природного газа и электроэнергии, для металлургических предприятий Украины важнейшей задачей является внедрение энергосберегающих технологий, в том числе использование избыточного давления доменного газа для выработки электроэнергии при установке газовых утилизационных бескомпрессорных турбин (ГУБТ). Сегодня в Украине эксплуатируется 30 доменных печей объемом более 1300 м³, которые могут быть оборудованы ГУБТ. В России работают две газовые утилизационные бескомпрессорные турбины в ОАО «Северсталь». Основные трудности обеспечения эффективной работы ГУБТ вызваны низким качеством отечественных железорудных материалов и кокса, несовершенством конструкции конусных загрузочных устройств, работой доменных печей с пониженным давлением газа на колошнике, неудовлетворительной очисткой газа перед ГУБТ. В то же время значительные успехи в области строительства и освоения установок по использованию потенциальной энергии доменного газа для выработки электроэнергии достигнуты в Западной Европе и особенно в Японии, где практически на всех доменных печах установлены газовые утилизационные бескомпрессорные турбины.

Изложение основных материалов аналитического исследования.

Современные доменные печи работают при повышенном давлении газа на колошнике. Эффективность такой системы теоретически обосновал инженер П.М.Есманский в 1915г., предложив повысить давление газа в доменной печи, чтобы увеличить время пребывания газа в печи, улучшить его распределение по сечению и расширить зону восстановления металла, а следовательно, повысить интенсивность плавки и производительность печи [1]. В 1938г. в США Д.М.Эвери получил патент на способ работы доменной печи при повышенном давлении газа на колошнике с установкой турбины, использующей избыточное давление газа в энергетических

целях. Первая утилизационная газовая турбина была установлена в 1947г. в США на заводе в г.Юнгстон [2]. Однако, опыт ее эксплуатации на горячем (~300⁰С), грубо очищенном (5–6 г/м³) доменном газе оказался неудачным, и работы по созданию бескомпрессорных газорасширительных турбин в США были прекращены.

Первые промышленные опыты в СССР по работе доменных печей с повышенным давлением газа были проведены в 1940г. на металлургическом заводе им. Г.И.Петровского по инициативе И.И.Коробова. Опыты были продолжены в 1945г. на том же заводе, причем давление колошниковога газа было увеличено до 0,15–0,25 ати [3]. Уже тогда доменщики обратили внимание на газодинамические преимущества работы печи при повышенном давлении. Перевод доменной печи №6 Магнитогорского металлургического комбината в 1950г. на повышенное давление газа на колошнике стал началом широкого применения этого способа на металлургических заводах нашей страны и за рубежом. Начиная со второй половины прошлого столетия, в СССР началось строительство доменных печей большого объема, в подготовке строительства и освоении которых Институт черной металлургии (ИЧМ) принимал непосредственное участие. Под руководством академика АН УССР З.И.Некрасова в крупных промышленных масштабах велись исследования по изучению работы доменных печей с повышенным давлением газа на колошнике, применением природного газа и комбинированного дутья, использованием сырьевых материалов улучшенного качества, подтвердившие высокую эффективность этих мероприятий для совершенствования технологии и улучшения показателей доменного процесса. Если в 1960г. с повышенным давлением газа работала 41 доменная печь (ДП), при среднем давлении 0,7 ати и максимальном 1,46 ати на печи №6 завода «Азовсталь», то в 1965г. соответственно 52 ДП (из 57) работали при 1,16 и 1,62 ати, а в 1970г. – 54 печи (из 58) при среднем давлении 1,27 ати и максимальном – 1,82 ати (на заводе «Запорожсталь»), из них 26 ДП работали с давлением 1,5 ати и выше. К 1975г. среднее давление газа на колошнике доменных печей возросло до 1,4 ати, а максимальное (на ДП–9 завода «Криворожсталь») до 2,0 ати. С давлением газа на колошнике 1,5 ати и выше в 1975г. работала 21 ДП, в том числе 9 – с давлением 1,6–2,0 ати. Вместе с тем на отдельных заводах максимальное давление газа на колошнике снижалось из-за недостаточной эксплуатационной надежности конусных засыпных аппаратов, что требовало замены их более совершенными бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ) с большим сроком службы, высокой ремонтпригодностью, способными стабильно поддерживать давление газа на колошнике 2,0–2,5 ати [4].

Во второй половине прошлого столетия в СССР при строительстве новых доменных печей была решена проблема их работы на повышенном давлении. Помимо этого возросли требования к качеству доменного газа – остаточная его запыленность не должна превышать 10 мг/м³. Система

очистки доменного газа в процессе развития сложилась таким образом, что ее аппараты четко разделились на три последовательные группы: первичной грубой очистки, полутонкой очистки и окончательной тонкой очистки газа (рис.1). С переводом доменных печей на повышенное давление газа на колошнике в тракт газоочистки была включена дроссельная группа, регулирующая перепад давления между печью и газовой сетью завода. Очистка доменного газа на печах, работающих на повышенном давлении, с начальной температурой доменного газа 120–350⁰С и запыленностью 15–30 г/м³ производилась по следующей схеме: сухой пылеуловитель, скруббер, трубы Вентури (установлены не на всех металлургических предприятиях), дроссельная группа (рис.2). В период освоения повышенного давления на доменных печах трубы Вентури устанавливались после скруббера, чтобы получить более качественную очистку газа в периоды перехода доменных печей на низкое давление. Когда же доменные печи начали устойчиво работать на повышенном давлении газа, то считалось, что уменьшение его на колошнике обеспечивается уменьшением расхода воздушного дутья и в этом случае применение труб Вентури не оправдано [5].

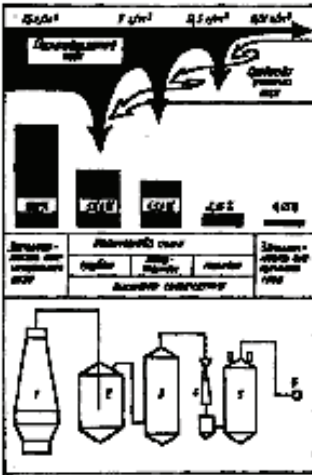


Рис.1. Схематический процесс очистки доменного газа: 1 – доменная печь; 2 – сухие пылеуловители; 3 – скруббер; 4 – труба Вентури; 5 – электрофильтр.

Одновременно с практическим решением проблемы перевода доменных печей на работу с повышенным давлением газа на колошнике увеличилась актуальность использования избыточного давления сжатого доменного газа для выработки электроэнергии. Работа по созданию газовых утилизационных бескомпрессорных турбин (ГУБТ) осуществлялась в основном в Советском Союзе. В 1948г. В.Д.Пашков (Гипромез) предложил установить газовую турбину на чистом доменном газе, подогретом до 400–600⁰С в поверхностных теплообменниках с последующим использованием отработанного горячего газа в котлах, доменных воздухонагревателях и других печах [6]. При работе установок весь колошниковый газ направляется на мокрую электростатическую газоочистку, с требуемым понижением содержания пыли до 10 мг/м³.

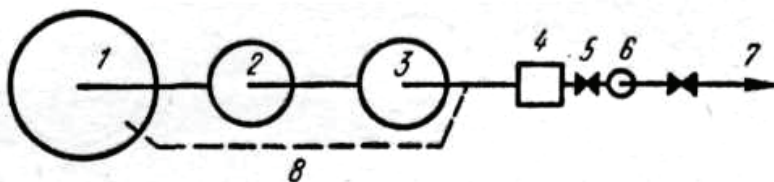


Рис.2. Схема очистки доменного газа повышенного давления: 1 – доменная печь; 2 – сухие пылеуловители; 3 – скруббер повышенного давления; 4 – дроссельная группа; 5 – листовая задвижка; 6 – каплеуловитель; 7 – сеть чистого доменного газа; 8 – уравнильный (байпасный) газопровод

По предлагаемым схемам весь сжатый очищенный газ поступает по газопроводам уменьшенного сечения в централизованные или децентрализованные утилизационные установки, где подогревается, после чего расширяется в специальных газовых турбинах–расширителях с понижением давления до необходимого потребителям. В зависимости от назначения утилизационной установки энергия газа может быть использована по трем принципиальным схемам: для привода доменной воздуходувки; для привода электрического генератора; для снабжения энергией отдельных цехов–потребителей газа [7]. В 1951г. Б.В.Сазанов (МЭИ) разработал технологию работы такой турбины на избыточном давлении доменного газа, нагретого до 80–100⁰С доменного газа, в результате сжигания части его непосредственно перед турбиной в подогревателе смешанного типа с целью повышения КПД и предотвращения возможного обмерзания турбины на выхлопе [8].

В результате проведенных научных исследований Невский машиностроительный завод изготовил первую газовую утилизационную бескомпрессорную турбину радиального типа мощностью 6 МВт (ГУБТ–6) для работы на чистом холодном (35⁰С) доменном газе с возможностью подогрева его перед турбиной до 450⁰С. Первая газотурбинная расширительная станция (ГРС) с ГУБТ–6 была построена в 1956г. на Магнитогорском металлургическом комбинате. В 1962г. ГУБТ была пущена за одной из доменных печей и работала с такими показателями: объем печи 1370 м³; выход газа 230 тыс.м³/ч; температура газа на колошнике 350⁰С; давление газа на колошнике 1,3 ати; температура газа после газоочистки 35⁰С; давление газа перед ГУБТ 1,2 ати, за ГУБТ – 0,12 ати; температура газа перед ГУБТ 95⁰С, за ГУБТ – 40⁰С; расход газа через ГУБТ 180 тыс.м³/ч; мощность на клеммах генератора 2250 кВт; среднесуточная выработка электроэнергии 54 тыс.квт·ч. Несмотря на колебания давления газа перед турбиной, остановки печи, недостаточную пропускную способность турбины, была подтверждена возможность надежной совместной работы ГУБТ с доменной печью. Изменения режимов работы ГУБТ компенсировались открытием клапанов дроссельного устройства печи.

Газорасширительная турбина ГУБТ, осуществляя необходимый подпор давления газа на колошнике доменной печи за счет собственного сопротивления, пропуская газ через лопатки ротора турбины, утилизирует его давление: генератор, имеющий общий вал с ротором турбины, вырабатывает электроэнергию. На входе в турбину имеется диафрагма, регулирующая расход газа, проходящего через турбину. Как правило, для обеспечения устойчивой работы ГУБТ расход газа должен быть стабильным. Для выполнения этого требования в тракте газоочистки устанавливают дроссельную группу, шунтирующую турбину и пропускающую некоторое количество газа сверх номинальной мощности турбины (рис.3). Это необходимо, кроме того, для переключения на дроссельную группу всего расхода газа в периоды остановок газорасширительных турбин [5, 9].

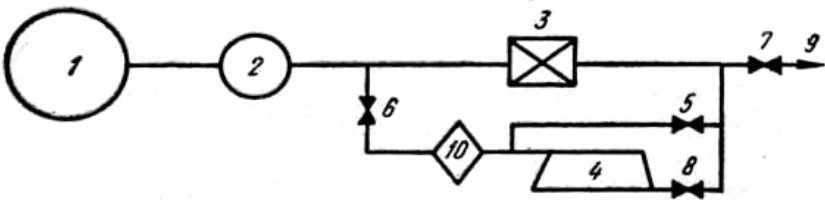


Рис.3. Принципиальная схема газоочистки с ГУБТ: 1 – доменная печь; 2 – газоочистка; 3 – дроссельная группа; 4 – ГУБТ; 5 – байпас; 6–8 – задвижки; 9 – к потребителям газа; 10 – подогреватель газа перед ГУБТ

Серийное производство ГУБТ было налажено на Уральском турбинном заводе (УТЗ), разработавшем принципиально новую турбину осевого типа, более компактную и ремонтпригодную, с КПД на 10–15% выше, чем у радиальной турбины. Первый образец ГУБТ–8 был установлен на Череповецком металлургическом комбинате за доменной печью №3, пущен в 1968г. и успешно эксплуатируется в настоящее время. На этой турбине были решены основные проблемы, связанные с совместной эксплуатацией доменной печи, газоочистки и ГУБТ, такие как, регулирование давления газа на колошнике диафрагмой турбины с переводом дроссельной группы в следящий режим работы и промывка проточной части «на ходу». С 1970 по 1990г.г. УТЗ были изготовлены еще 20 газовых турбин: Череповецкий меткомбинат – две ГУБТ–12, «Криворожсталь» – четыре ГУБТ–12, Днепровский завод им.Дзержинского – одна ГУБТ–8, Коммунарский метзавод – одна ГУБТ–12, Орско–Халиловский меткомбинат – одна ГУБТ–12, Нижнетагильский меткомбинат – одна ГУБТ–12, Карагандинский меткомбинат – две ГУБТ–12, пять ГУБТ–12 поставлено в Японию, две ГУБТ–12 в Индию, одна ГУБТ–12 в Италию (табл. 1).

Таблица 1. ГУБТ, выпущенные Уральским турбинным заводом.

№	Тип ГУБТ	Металлургическая компания	№ доменной печи	Год ввода в эксплуатацию
1.	ГУБТ-8	Череповецкий металлургический комбинат, Россия	3	1968
2.	ГУБТ-12	–	4	1970
3.	ГУБТ-12	–	4	1989
4.	ГУБТ-12	Металлургический комбинат «Криворожсталь», Украина	8	1974
5.	ГУБТ-12	–	7	1976
6.	ГУБТ-12	–	9	1979
7.	ГУБТ-12	–	9	1980
8.	ГУБТ-12	Нижнетагильский металлургический комбинат, Россия	6	1983
9.	ГУБТ-8	Днепропетровский завод им. Дзержинского, Украина	8	1980
10.	ГУБТ-12	Карагандинский меткомбинат, Казахстан	4	1984
11.	ГУБТ-12	–	3	1985
12.	ГУБТ-8	Орско-Халиловский металлургический комбинат, Россия	4	1981
13.	ГУБТ-12	Коммунарский металлургический завод, Украина	1	1981
14.	ГУБТ-12	«Ниппон Стил», г.Нагойя, Япония	3	1975
15.	ГУБТ-12	«Кавасаки Стил», Япония	6	1978(1998)*
16.	ГУБТ-12	–	6	1978(1998)*
17.	ГУБТ-12	«Сумитоми Седзи», г.Касима, Япония	2	1978
18.	ГУБТ-12	«Ниппон Кокан», г.Огисима, Япония	2	1979
19.	ГУБТ-12	«Италсидер», г.Пиомбино, Италия	1	1981
20.	ГУБТ-12	«Визакхапантам», Индия	1	1984
21.	ГУБТ-12	–	2	1987

- – ремонты и реконструкция на новые условия эксплуатации, после работы турбин более 140 тысяч часов.

В настоящее время в Украине ни одна из установленных ГУБТ не работает. Отмечена главная причина задержки внедрения ГУБТ – сопротив-

ление предприятий из-за якобы низкой их эффективности и основных недостатков, выявленных при эксплуатации ГУБТ: доменные печи работают при более низком фактическом давлении на колошнике; несовершенство системы автоматизации и очистки газа перед ГУБТ; чрезмерно большой пропуск газа через дроссельные группы; низкий уровень комплектации агрегата оборудованием; проблемы обеспечения промышленной безопасности, связанные с эксплуатацией подогревателей газа. Кроме того, среди специалистов не было единого мнения о целесообразности применения сухой газоочистки доменного газа, позволяющей на 30–40% увеличить производительность ГУБТ (благодаря меньшему перепаду давления в сухой газоочистке), по сравнению с освоённой, надёжной и безопасной мокрой системой газоочистки, включающей: скруббер (охлаждение газа до 40–45⁰С, очистка от пыли до 0,5 г/м³); регулируемые трубы Вентури со шламоуловителями (охлаждение газа на 5–7⁰С, очистка от пыли до 4 мг/м³); дроссельная группа с каплеуловителем. Попытки осуществить в СССР сухую тонкую очистку газа от пыли в электрофильтрах были предприняты в 1981г. на Новолипецком металлургическом комбинате при строительстве за ДП–6 электрофильтров и ГУБТ–12, но в связи с прекращением финансирования этих работ строительство не было завершено [10].

В России новая турбина радиального типа, изготовленная АООТ «Невский завод» мощностью 25 МВт, в настоящее время установлена за доменной печью №5 объемом 5500 м³ на ОАО «Северсталь». ГУБТ–25 эксплуатируется с 2002г. (себестоимость вырабатываемой электроэнергии ниже покупной в 5 раз) и вырабатывает 16 Мвт электроэнергии при избыточном давлении газа на колошнике 1,8 ати. Такие результаты достигнуты благодаря высокому качеству сырья, оснащению ДП–5 БЗУ фирмы «П.Вюрт», позволяющим стабильно держать давление до 2 ати. В комплексе ГУБТ–8 и ГУБТ–25 производят 5,5% от всей электроэнергии, вырабатываемой на ОАО «Северсталь». ГУБТ–8 за ДП–3 объемом 2000 м³ с подогревом газа перед турбиной в смешивающем газоподогревателе служила полигоном для отработки многих технологических и технических усовершенствований, нашедших применение, как в отечественной, так и в зарубежной практике. Очистка от пыли и охлаждение доменного газа осуществляются в газоочистной системе по схеме: радиальный пылеуловитель – скруббер диаметром 8,5 м с нижним вводом газа – две нерегулируемые трубы Вентури с дроссельным клапаном – дроссельная группа – каплеуловитель. За 35 лет эксплуатации из-за физического износа оборудования существенно изменились параметры доменного газа перед турбиной и показатели работы ГУБТ–8 (табл.2). ГУБТ–25 представляет собой чисто утилизационную установку нового поколения, показатели ее работы за 2003г. приведены в табл.2.

Таблица 2. Параметры доменного газа и показатели работы ГУБТ–8 и ГУБТ–25 за 2003г.

Параметр	Показатели работы ГУБТ–8		Показатели работы ГУБТ–25	
	по проек- ту	по факту	по проекту	по факту
Выход газа, тыс.м ³ /ч	320	320	800	659–900
Расход газа через турбину, тыс.м ³ /ч	260	210–260	–	650–900
Давление газа, ати: перед турбиной после турбины перепад давл. в тур- бине	2,0 0,15 1,85	1,5–1,6 до 0,13 1,37–1,47	2,0 0,15 1,85	1,85–1,95 до 0,13 1,72–1,82
Температура га- за, °С: перед подогревател. перед турбиной после турбины	40 120 42	50–55 120 75–80	– 40 –	– 30–45 зима 45–55 лето 10–25 зима 15–30 лето
Средняя мощность турбогенератора, МВт·ч	8,0	3,49	25,0	16,18

Технологическая схема, разработанная фирмой «Циммерман и Янсен» (Германия), предусматривала следующие технические решения: перед дроссельной группой установлены два быстродействующих плотнокроющих клапана *SOK* и *BK*, которые при работе турбины закрыты, что позволяет пропустить через нее весь объем выходящего из печи газа; режимы работы турбины регулируются направляющими лопатками *TLS*, что обеспечивает сохранение высокого КПД при изменении расхода газа через турбину; доменный газ подается в турбину без подогрева, при этом исключается из схемы опасный в эксплуатации смешивающий газоподогреватель; система смыва пыли в проточной части турбины обеспечивает длительную кампанию ее работы; применена полная комплексная автоматизация пуска, управления и остановки ГУБТ (рис.4). Перед турбиной установлена впускная заслонка–шибер *EBS*, после турбины – выпускная *ABS*, на байпасе клапана *SSK* размещен пусковой регулирующий клапан *ANEK*. С июля 2002г. по декабрь 2003г. на ГУБТ–25 выработано 186824 МВт·ч электроэнергии. Сравнение основных показателей ГУБТ–25 без подогрева газа и ГУБТ–8 с его подогревом перед турбиной показывает полное преимущество технологии без подогрева газа [11].

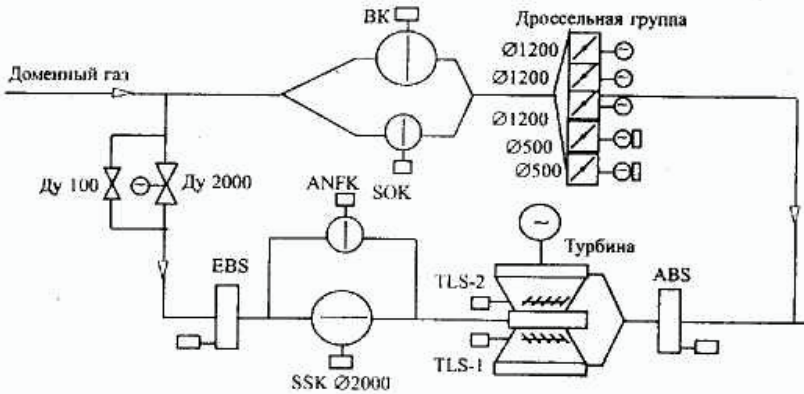


Рис.4. Принципиальная схема установки ГУБТ–25 ОАО «Северсталь», положение клапанов соответствует рабочему режиму турбины

Наибольших успехов в области строительства и освоения установок по использованию потенциальной энергии колошникового газа для выработки электроэнергии достигли в Японии. Интенсивная работа по внедрению ГУБТ началась в Японии в связи с энергетическим кризисом 1970–х годов. По состоянию на 1981г. из 44 доменных печей 37 работали при повышенном давлении газа на колошнике, и действовало 30 ГУБТ. Впервые фирма «Кавасаки сэйтэцу» установила ГУБТ советской конструкции в 1974г. на печах в Мидзусиме и в Тибе. В 1979г. работали семь турбин (из них пять советских) общей мощностью 70,7 МВт, что позволило выработать 290 ГВт·ч электроэнергии в год (5% расхода электроэнергии на заводах фирмы). Устанавливали по две ГУБТ–12 на доменную печь, газ очищали до 10 мг/м^3 , температура газа после газоочистки – 50°C , перед ГУБТ – до 120°C , давление газа перед ГУБТ – 1,8 ати, в сети – 0,1 ати. Фирма «Ниппон Кокан» совместно с «Мицубиси хеви индастриз» создала промышленную установку для подготовки газа перед ГУБТ по схеме: доменная печь – пылеуловитель – буфер–генератор – электрофильтр сухого типа – ГУБТ – потребители газа. Буфер–генератор предназначен для защиты электрофильтра от резкого повышения температуры колошникового газа. Электрофильтр сухого типа: диаметр 12,6 м, длина 30 м, расчетная температура газа на входе 350°C , перед ГУБТ – 180°C , содержание пыли в газе на входе $4,3 \text{ г/м}^3$, на выходе – $3,1 \text{ мг/м}^3$, КПД – 99,9%. Производство электроэнергии при мокрой газоочистке – $47 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ чугуна, при сухой – $61 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ (на 30% больше).

В настоящее время в Японии эксплуатируется 28 доменных печей (средний объем печей составляет 4002 м^3). За всеми 28 ДП, в большинстве

своим оснащенными БЗУ, находятся в эксплуатации преимущественно осевые газотурбинные установки. В табл.3 приведены данные по газоочистным системам доменных печей фирмы «Ниппон Кокан». На ДП объемом 5070 м³ компании Nippon Steel Corporation в Оите для сухой очистки газа перед ГУБТ параллельно мокрой газоочистке установлен рукавный фильтр, изготовленный из термостойкого нейлона. Содержание пыли в газе до фильтра – 4,5 г/м³, после фильтра – 5 мг/м³. Установленная мощность ГУБТ – 27900 кВт при абсолютном давлении 2,94 ат. Выработка электроэнергии – 22374 кВт, или 46,5 кВт·ч/т чугуна (при мокрой газоочистке 35,8 кВт·ч/т чугуна, или на 23% меньше). На заводах в Японии при внедрении сухой очистки газа сохранили существующие газоочистки мокрого типа, как для доохлаждения доменного газа после ГУБТ, так и на случай аварийной остановки рукавного фильтра. Применение на доменных печах Японии БЗУ, а также высококачественного сырья, обеспечивающих повышенную газопроницаемость столба шихты, тесно связано с эффективностью работы ГУБТ, так как клапанное газуплотнение БЗУ обеспечивает стабильное поддержание давления колошникового газа на уровне 2,2 ати, а перед ГУБТ на уровне 1,6–1,7 ати, в течение всего срока эксплуатации бесконусного загрузочного устройства, за исключением коротких остановок для замены отдельных его узлов [10,12,13,14].

Таблица 3. Данные по газоочистным системам доменного газа фирмы «Ниппон Кокан».

Номер доменной печи	ДП–2 г.Фукуяма	ДП–5 г.Фукуяма	ДП–2 г.Кейхин
Объем доменной печи, м ³	2828	4664	4050
Год пуска ГУБТ	1985	1986	1986
Параметры доменного газа (фактические):			
расход, тыс.м ³ /ч	417	603	469
давление на колошнике, ати	1,52	2,28	2,23
температура на колошнике, °С	145	140	165
температура перед ГУБТ, °С	120	115	140
Рабочая мощность ГУБТ, кВт	10200	20000	16700
Удельный расход газа, тыс.м ³ /МВт	40,9	30,2	28,1

В Германии, Голландии, Франции и других странах как альтернативу турбинам осевого типа применяли турбины радиального типа на холод-

ном влажном газе. В ряде публикаций [15,16] сообщается о поисках путей повышения эффективности ГУБТ в Европе, со ссылкой на достижения в этой области в СССР и Японии. В них подтверждается преимущество, созданных в СССР, турбин осевого типа над европейскими радиальными (КПД на 10–15% выше), а также совершенствование турбин в Японии. На заводе в Эймейдене (Голландия) фирма «Хуговенс» в 1981г. ввела в эксплуатацию ГУБТ радиального типа. Выход газа – 540 тыс.м³/ч, давление газа перед ГУБТ – 1,8 ати, в сети – 0,12 ати, содержание пыли 5–15 мг/м³. Охлаждение газа в скруббере осуществлялось «прямотоком» морской водой, поэтому лопатки турбины были изготовлены из коррозионно-стойкой стали. Перед турбиной расположены направляющие лопатки для регулирования давления и расхода газа. Установленная мощность генератора 5 МВт. Из-за низкой температуры газа (20–25⁰С) работа ГУБТ была неустойчивой. Газоочистку перевели на обратное водоснабжение пресной водой с повышением температуры на 20⁰С, КПД возрос на 3% и составил 83,8% [15]. На заводе в Швельгерне (Германия) для увеличения доли сухой очистки газа применили дополнительно тангенциальный пылеуловитель. Установлена ГУБТ радиального типа: выход газа – 587 тыс.м³/ч, температура газа на входе в турбину – 45⁰С, давление – 1,8 ати, содержание пыли не превышает 5 мг/м³, КПД – 85% [16].

Сегодня, в связи с увеличением стоимости природного газа и электроэнергии, для металлургических предприятий Украины важнейшей задачей является внедрение энергосберегающих технологий, в том числе использование избыточного давления доменного газа для выработки электроэнергии. В настоящее время в Украине эксплуатируется 30 доменных печей объемом более 1300 м³, которые могут быть оборудованы ГУБТ. Основные трудности обеспечения эффективной работы ГУБТ вызваны низким качеством отечественных железорудных материалов и кокса (низкая горячая прочность), несовершенством конструкции конусных загрузочных устройств, работой доменных печей с пониженным давлением газа на колошнике (менее 1,5 ати), неудовлетворительной очисткой газа перед ГУБТ. На металлургических предприятиях Украины сегодня эксплуатируются БЗУ конструкции фирмы «П.Вюрт» на ДП–9 «Криворожстали», БЗУ с распределителем «воронка–склиз» на ДП–5 «Запорожстали» и два лотковых БЗУ конструкции «Азовмаш–Гипрометз» на ДП–3,4 «Азовстали». На ДП–9 две ГУБТ (по 12 МВт каждая) вырабатывали до 1990г. по 5 МВт электроэнергии (сейчас они не работают). На рис.5 показана схема газоочистки ДП–9 с ГУБТ.

Газ с колошника 1 доменной печи поступает в наклонный газопровод, подающий газ в пылеуловители 2. В пылеуловителях 2 газ подвергается грубой очистке и поступает в аппарат полутонкой очистки – скруббер 3. Отводимый из верхней части скруббера 3 газ по вертикальным газопроводам направляется в три трубы Вентури 4, работающие параллельно, и поступает на вход дроссельного устройства 5. В трубах Вентури 4 газ под-

вергается тонкой очистке. После дроссельного устройства 5 и двух каплеуловителей 6, очищенный газ под давлением 0,12 ати поступает в коллектор газовой сети комбината. Система газоочистки ДП-9 оснащена газопроводом, подающим колошниковый газ на вход ГУБТ и отводящим использованный в ГУБТ газ в коллектор газовой сети.

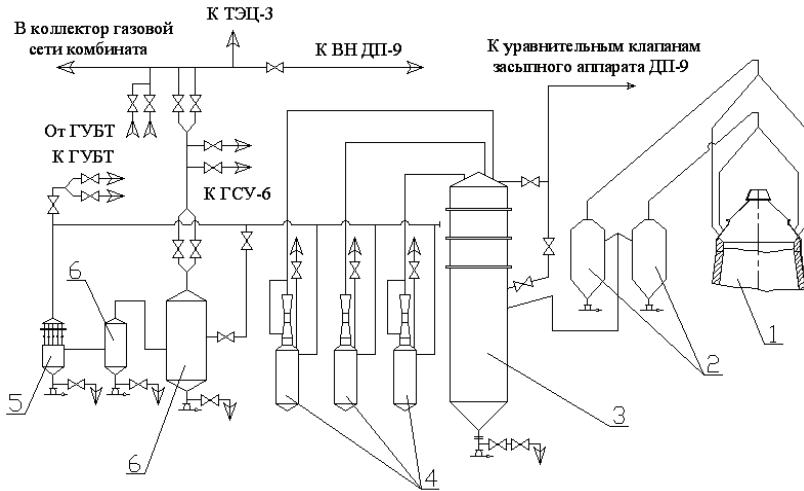


Рис.5. Схема газоочистки ДП-9 с ГУБТ

Выводы.

Применение газовых утилизационных бескомпрессорных турбин – одно из эффективных мероприятий, позволяющих уменьшить энергоёмкость производства чугуна и себестоимость металлопродукции в целом. Благодаря внедрению ГУБТ можно выработать без применения топлива до 20 кВт·ч электроэнергии на 1 т чугуна, компенсировать до 35% энергозатрат на доменное дутье. Удельные капитальные вложения в строительство газотурбинных расширительных станций в зависимости от конкретных условий металлургических предприятий и параметров доменного газа в 2,0–3,5 раза меньше, чем на строительство ТЭЦ.

К основным факторам, побуждающим металлургические предприятия к внедрению ГУБТ в современных условиях, как ресурсосберегающего и экологически чистого производства электроэнергии, относятся: опережающие темпы роста тарифов на энергоносители, электроэнергию, а также увеличение платежей за выбросы вредных веществ; льготное финансирование строительства ГУБТ; освобождение от налогов, как предприятия-заказчика, так и участников всех этапов разработки и внедрения газотурбинных расширительных станций [17].

1. *Есманский П.М.* Восстановление и цементизация железа в доменной печи с точки зрения пространственной диаграммы равновесия // ЖРМО – 1915. – №3. – Ч.1. – С.384–402.
2. *Iron and Steel Engineer.* – 1948. – №5.
3. *Коробов И.И.* Доменная печь, работающая на повышенном, регулируемом давлении газа в рабочем пространстве // Сталь. – 1942. – №9/10. – С.10–12.
4. *Развитие металлургии в Украинской ССР.* Под ред. З.И.Некрасова. – Киев: Наукова думка. – 1980. – 960с.
5. *Старицкий В.И.* Газовое хозяйство заводов черной металлургии. – М.: Металлургия. – 1973. – 496с.
6. *Пашков В.Д.* Повышение давления доменного газа // Сталь. – 1952. – №3. – С.219–227.
7. *Пашков В.Д.* Пути развития теплоэнергообеспечения металлургических комбинатов // Сталь. – 1954. – №11. – С.1038–1043.
8. *Сазанов Б.В.* Энергетические вопросы работы доменных печей с повышенным давлением // Сталь. – 1953. – №12. – С.1128–1134.
9. *Сазанов Б.В.* Доменные газотурбинные установки. М.: Металлургия. – 1965. – 266с.
10. *Сперкач И.Е.* Проблемы создания и применения газорасширительных турбин за доменными печами // Сталь. – 2004. – №1. – С.82–86.
11. *Воробьев С.А., Соколов С.Ю., Сперкач И.Е.* О работе газорасширительных установок за доменными печами в ОАО «Северсталь» в 2003г. // Сталь. – 2004. – №5. – С.122–124.
12. *Большаков В.И.* Динамичное развитие технологии и оборудования доменного производства Японии // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – №6. – С.10–13.
13. *Городецкий Я.И., Васюк Л.Н.* Использование энергии колошникового газа доменных печей для выработки электроэнергии в Японии // Черная металлургия. Бюл. НТИ. Выпуск 19(951). – 1983. – С.31–38.
14. *Сперкач И.Е.* Пути модернизации комплекса сооружений для подготовки к использованию доменного газа // Сталь. – 1998. – №1. – С.7–11.
15. *Геллер Б.К., Ван Гильет В.* Новая турбина–расширитель для колошникового газа на доменной печи завода фирмы «Хуговенс» в Эймейдене // Черные металлы. – 1983. – №5. – С.3–6.
16. *Петерс К.–Х., Рингклоф Г., Шмитц Д.* Расширительная турбина на доменной печи в Швельгерне // Черные металлы. – 1984. – №15. – С.3–8.
17. *Сперкач И.Е.* Перспективы внедрения газовых утилизационных бескомпресорных турбин // Сталь. – 2004. – №2. – С.62–64.

Статья рекомендована к печати к.т.н. Л.Г.Тубольцевым