

**УДК 669.184.15****Г.М. КАНЕНКО**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,**Д.В. СЕМЕНОВ**, заведующий лабораторией, **М.С. ШАДУРСКИЙ**, ведущий инженер

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

## ПОДГОТОВКА КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Представлены результаты анализа систем очистки и подготовки конвертерного газа к использованию. Приведены рекомендации для достижения требуемых режимных параметров конвертерного газа.

**Ключевые слова:** конвертер, газоочистка, доохлаждение и доочистка газа.

Отвод конвертерных газов без дожигания оксида углерода (СО) с его последующей утилизацией является современным способом, обеспечивающим энергосбережение и охрану окружающей природной среды.

Существующие газоотводящие тракты конвертеров включают охладитель конвертерных газов, газоочистку (сухую или мокрую), тягодутьевое устройство и дымовую трубу либо свечу для дожигания СО. В режиме без дожигания СО конвертерный газ может использоваться как топливо для выработки энергии, при этом для его подготовки к утилизации требуется дополнительное оборудование (часть газа дожигается на свече).

Рассмотрим два варианта технического решения по подготовке конвертерного газа к использованию: с применением сухой очистки газа в электрофильтрах и мокрой очистки – в высоконапорных трубах Вентури.

Процесс подготовки конвертерного газа к использованию включает:

- доохлаждение газа с уменьшением влагосодержания для достижения максимальной теплотворной способности его как топлива;
- доочистку газа до необходимых значений конечной запыленности в зависимости от требований устанавливаемого оборудования по утилизации и области использования установок;
- усреднение потоков газа в газгольдере в комплексе с системами клапанного переключения потоков;
- повышение давления газа до 15–20 кПа для получения возможности смешения его с доменным газом и транспортировки с применением бустерных нагнетателей.

Схема очистки и подготовки конвертерного газа к утилизации с использованием сухой очистки в электрофильтрах применена в ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (ПАО «АМК») впервые в СНГ.

Основным режимом работы газоотводящих трактов конвертеров № 1, 2 садкой 300 т является режим без дожигания оксида углерода с интенсивностью продувки кислородом 1000–1200 нм<sup>3</sup>/мин. Каждый тракт состоит из охладителя конвертерных газов (ОКГ), двухступенчатой газоочистки, нагнетателя осевого типа, шумоглушителя и свечи дожигания. Газоочистка включает скруббер и электрофильтр производства фирмы Siemens VAI с системой выгрузки и транспортировки сухой уловленной пыли.

Скруббер полного испарения предназначен для снижения температуры газа и его предварительной очистки от крупных частиц пыли, а также кондиционирования газов, поступающих в электрофильтр. На газоочистку подается до 167 тыс. нм<sup>3</sup>/час с.г. (сухого газа) с температурой 870–900 °С. При достижении температуры газа после скруббера 300–350 °С автоматически включается подача пара и воды на орошение скруббера (расходы воды и пара – 40–90 м<sup>3</sup>/час и 8–15 т/час соответственно, давление пара – 0,8 МПа). Предварительно очищенный в скруббере и подготовленный по температуре и удельному электрическому сопротивлению газ поступает в четырехпольный электрофильтр [1].

Гидравлическое сопротивление электрофильтра составляет 4–4,5 кПа, конечная запыленность газа – 28–35 мг/нм<sup>3</sup>, температура газа после электрофильтра – 130–200 °С. После очистки в электрофильтре газ направляется в газотранспортную систему (ГТС) для подготовки и подачи в газовые турбины.

ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» на основе базисного инжиниринга фирмы Siemens VAI разработан (для ПАО «АМК») детальный инжиниринг ГТС для отбора, подготовки, транспортирования и дальнейшего использования конвертерного газа в смеси с доменным и коксовым. Очищенный в электрофильтрах конвертерный газ после дымососа поступает в клапанную станцию переключения газового потока, где часть этого газа с СО > 30 % направляется в газо-

охладитель и газгольдер, а остальная часть – дожигается на свече. Конвертерный газ (от двух конвертеров) с температурой 60 °С и запыленностью 28–35 мг/м<sup>3</sup> после газоохладителя поступает (в количестве 66 тыс. нм<sup>3</sup>/час) в газгольдер объемом 80 тыс. м<sup>3</sup> и оттуда подается на вход газодувок, где его давление повышается до 20 кПа, а температура – до 88 °С. Далее он попадает в смеситель для соединения с доменным и коксовым газами.

Подготовленная смесь конвертерного, доменного и коксового газов направляется в две газовые турбины фирмы Mitsubishi мощностью 151,5 МВт. На каждую турбину подается 228 тыс. нм<sup>3</sup>/час доменного газа, 18,2 тыс. нм<sup>3</sup>/час коксового газа и 33 тыс. нм<sup>3</sup>/час конвертерного газа с температурой газовой смеси 30 °С (максимум 40 °С) и запыленностью 6,5 мг/м<sup>3</sup> (по проекту).

Для доохлаждения и доочистки конвертерного газа перед его подачей в газгольдер установлены газоохладители – по два скруббера с четырьмя ярусами орошения для каждого конвертера, работающие в режиме противотока газа и жидкости (рис. 1).

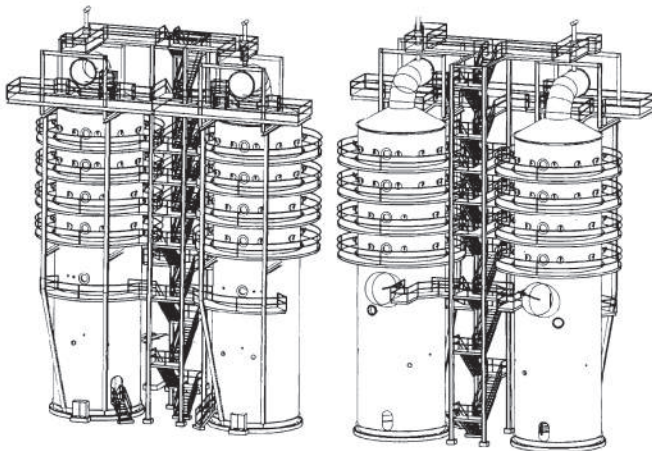


Рисунок 1 – Газоохладители

На орошение каждого газоохладителя подается 1700 м<sup>3</sup>/час воды с температурой 35 °С и давлением 0,6 МПа. В газоохладителе происходит охлаждение газов, расход которых составляет 167 тыс. нм<sup>3</sup>/час с.г., или 255 тыс. нм<sup>3</sup>/час вл. г. (влажного газа), с начальной температурой 170 °С и влагосодержанием 0,44 кг/нм<sup>3</sup> до температуры 60 °С и влагосодержания 0,2 кг/нм<sup>3</sup>. Основная цель доохлаждения газа – уменьшение его влагосодержания с 0,44 до 0,2 кг/нм<sup>3</sup>, что требует большого количества воды (1700 м<sup>3</sup>/час) с температурным перепадом Δt = 18 °С. Для подачи в турбины можно направлять газ с температурой 35 °С и влагосодержанием 0,05 кг/нм<sup>3</sup>.

По проекту Siemens VAI в состав чистого цикла оборотного водоснабжения газоохладителей входят: резервуар, насосная и фильтровальная станции,

вентиляторная градирня, горизонтальный отстойник, установки стабилизационной обработки и химической очистки воды. Общий для двух конвертеров оборотный цикл имеет производительность 3400 м<sup>3</sup>/час и обеспечивает очистку, стабилизационную обработку и снижение температуры воды с 58 до 35 °С (рис. 2).

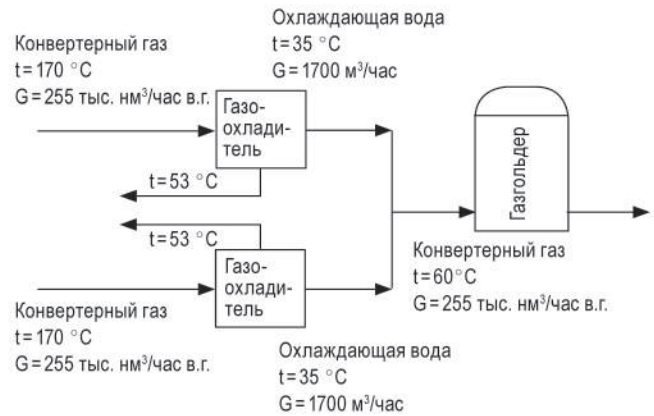
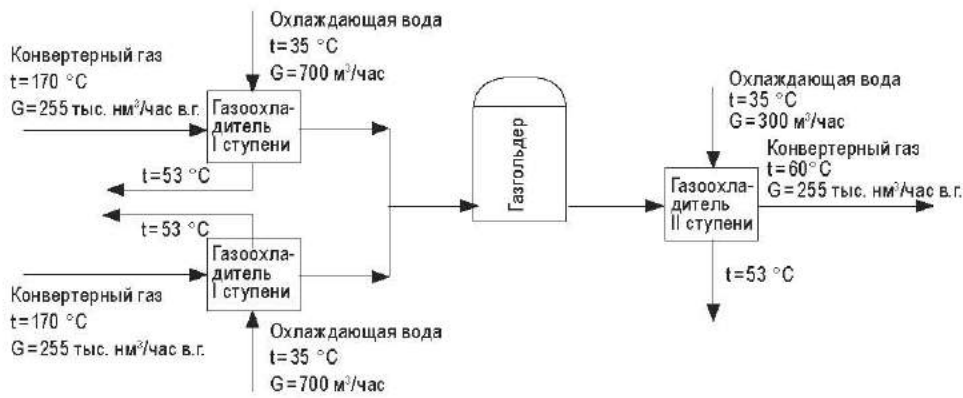


Рисунок 2 – Схема подготовки к использованию конвертерного газа после сухой газоочистки согласно базисному инжинирингу Siemens VAI

ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» разработаны технические решения, направленные на уменьшение расхода воды на газоохладители и, соответственно, стоимости оборудования оборотного цикла водоснабжения по сравнению с аналогичными показателями, заложенными в решения базисного инжиниринга Siemens VAI. Было предложено охлаждать конвертерный газ в два этапа. На первом этапе перед подачей в газгольдер в газоохладителе первой ступени газ в объеме 255 тыс. нм<sup>3</sup>/час вл. г. (от каждого конвертера) охлаждается до температуры 70 °С. На газоохладителе второй ступени, установленном после газгольдера, производится охлаждение газа (от двух конвертеров) до температуры 60 °С. На газоохладители первой ступени каждого конвертера подается по 700 м<sup>3</sup>/час воды, а на газоохладитель второй ступени – 300 м<sup>3</sup>/час (рис. 3). Таким образом, общий расход воды уменьшается с 3400 м<sup>3</sup>/час, предусмотренных базисным инжинирингом, до 1700 м<sup>3</sup>/час.

Поскольку предусмотренное базисным инжинирингом Siemens VAI снижение температуры газа при его транспортировке и смешении с доменным и коксовым газами с 60 до 30 °С, требуемых для работы турбины, вызывает сомнение, авторы считают необходимым обеспечить доохлаждение конвертерного газа в имеющихся газоохладителях до температуры 50 °С путем дополнительной подачи туда 770 м<sup>3</sup>/час воды (для двух конвертеров). Такие высокие расходы воды на доохлаждение связаны с большими расходами газа до газгольдера (167 тыс. нм<sup>3</sup>/час для одного конвертера).





**Рисунок 3 – Схема подготовки к использованию конвертерного газа после сухой газоочистки в соответствии с предложениями ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»**

Согласно требованиям, предъявляемым к топливным газам, перед газовой турбиной их запыленность не должна превышать 10 мг/нм<sup>3</sup>. Фактическая средняя (по паспорту газоочистки) остаточная запыленность конвертерного газа в течение плавки составляет 35 мг/нм<sup>3</sup>, а в период продувки кислородом (отбора газа в газгольдер) – 57 мг/нм<sup>3</sup>. Какая часть пыли осядет в газоохладителе и газгольдере, какая запыленность будет после смесителя доменного и конвертерного газов и перед газовой турбиной – это требует уточнения. В случае уменьшения количества доменного газа, имеющего запыленность 5 мг/нм<sup>3</sup>, и увеличения количества конвертерного газа с запыленностью более 20 мг/нм<sup>3</sup> (после газоохладителя) запыленность смеси газов может превысить диапазон значений (до 10 мг/нм<sup>3</sup>), удовлетворяющих техническим условиям работы газовой турбины. Вопрос подготовки конвертерного газа после его очистки в электрофильтрах ПАО «АМК» по проекту Siemens VAI требует доработки с целью обеспечения необходимого уровня температуры, влагосодержания и запыленности смеси газов перед турбиной.

Второй вариант технического решения по подготовке конвертерного газа к утилизации, разработанный ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» для ряда предприятий Украины и Российской Федерации, предусматривает реконструкцию существующей системы мокрой очистки газа перед газгольдером [2], которая должна обеспечить достижение конечной запыленности газа 30 мг/нм<sup>3</sup> и температуры газа перед нагнетателем 55 °С [3]. Система включает: узел предварительного охлаждения (УПО), скруббер, высоконапорную трубу Вентури с каплеуловителем, нагнетатель.

Реконструкция мокрой системы очистки газов на существующих газоотводящих трактах должна предусматривать:

- модернизацию системы орошения УПО, улучшение теплообмена в скруббере с использованием форсунок, обеспечивающих эффективное распыление воды при увеличении ее давления и улучшении качества;

- установку усовершенствованной высоконапорной регулируемой трубы Вентури, обеспечивающей требуемый диапазон регулирования расхода газа, повышение степени улавливания мелкодисперсной пыли при гидравлическом сопротивлении 18 кПа;
- установку нагнетателя с развиваемым напором не менее 26 кПа и диапазоном регулирования 1,2,5;
- обеспечение расходов воды, необходимых для охлаждения и очистки газа.

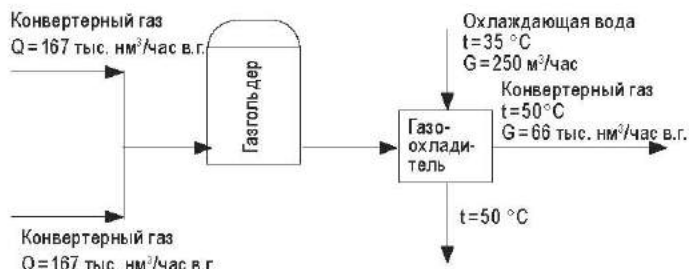
ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» разработана конструкция прямоугольной регулируемой трубы Вентури с форсуночным орошением и закругленными створками, обеспечивающими возможность регулирования расхода газа. Испытания системы мокрой очистки газов с применением усовершенствованной трубы Вентури проведены на газоотводящих трактах ПАО «Енакиевский металлургический комбинат». При гидравлическом сопротивлении трубы Вентури 18,4 кПа достигнуто значение конечной запыленности газа 30 мг/нм<sup>3</sup> [4].

Рассмотрим особенности работы газоотводящего тракта конвертера емкостью 300 т, имеющего параметры, аналогичные параметрам работы трактов конвертеров ПАО «АМК», но с применением двухступенчатой мокрой системы очистки газа.

На орошение скруббера подается 900 м<sup>3</sup>/час воды, на высоконапорную трубу Вентури – 300 м<sup>3</sup>/час. При общем расходе воды 1200 м<sup>3</sup>/час температура газа после мокрой газоочистки равна 55 °С, конечная запыленность составляет 30 мг/нм<sup>3</sup>. Нагнетатель развивает напор 26 кПа при расходе газа 125–300 тыс. м<sup>3</sup>/час, при этом гидравлическое сопротивление газоочистки составляет 21 кПа, а газодов после нагнетателя – 5 кПа. Температура газа в нагнетателе повышается до 75 °С.

Установка подготовки конвертерного газа к использованию включает только систему доохлаждения газа (т.е. мокрый электрофильтр для доочистки газа не нужен). В газоохладителе газ охлаждается от 75–55 до 50 °С

с уменьшением влагосодержания от 0,2 до 0,15 кг/нм<sup>3</sup>. Для доохлаждения газов при их расходе 66 тыс. нм<sup>3</sup>/час необходимо подать 250 м<sup>3</sup>/час оборотной воды (для двух конвертеров) из отдельного условно-чистого оборотного цикла (рис. 4). Условно-чистый оборотный цикл должен включать фильтры для очистки воды от мелкодисперсных частиц пыли, вентиляторные градирни, насосы и резервуары.



**Рисунок 4 – Схема подготовки к использованию конвертерного газа после мокрой газоочистки по предложениям ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»**

В газоохладителе за счет конденсационного эффекта происходит доочистка газа, в результате которой уровень его запыленности понижается с 30 до 10–15 мг/нм<sup>3</sup>, а при смешении с доменным газом конечная запыленность газовой смеси составляет менее 10 мг/нм<sup>3</sup>.

В табл. 1 представлены параметры работы сухой (по проекту Siemens VAI) и мокрой (по проекту ГП «УкрНТЦ «Энергосталь») систем очистки и подготовки к утилизации конвертерного газа для конвертеров садкой 300 т.

**Таблица 1 – Параметры работы систем сухой и мокрой очистки газов конвертеров**

Параметры	Сухая очистка	Мокрая очистка
Основная газоочистка (для одного конвертера)		
Количество газов на входе, тыс. нм <sup>3</sup> /час (сухой газ)	167	167
Температура газов:		
• на входе, °C	до 200	55
• на выходе, °C	40–90	55
Расход воды на форсуночное орошение (на очистку), м <sup>3</sup> /час	15/8	–
Расход пара (пиковый/средний), т/час	15/8	–
Давление пара, МПа	0,8	–
Температура подаваемой воды, °C	35	35
Конечная запыленность газа средняя (в пиковый период), мг/нм <sup>3</sup>	35 (50)	30
Гидравлическое сопротивление газоочистки, кПа	7,0	21
Влагосодержание газа, кг/нм <sup>3</sup>	0,44	0,2

**Таблица 1 – Продолжение**

Параметры	Сухая очистка	Мокрая очистка
Система доочистки и доохлаждения газа (для двух конвертеров)		
Количество газов:		
• перед газгольдером, тыс. нм <sup>3</sup> /час (сухой газ)	66	66
• после газгольдера, тыс. м <sup>3</sup> /час	66	66
Расход воды на доохлаждение газа, м <sup>3</sup> /час	60	250
Температура газов:		
• перед газоохладителем, °C	60	75–55*
• после газоохладителя, °C	50	50
Влагосодержание газа, кг/нм <sup>3</sup>	0,15	0,15
Запыленность газа, мг/нм <sup>3</sup>	20	20
*с учетом охлаждения газа в газгольдере		

Требуемые параметры доочистки и доохлаждения конвертерного газа после газгольдера зависят от сферы его дальнейшего использования, а также от соотношения объемов доменного и конвертерного газов при их смешивании.

**ВЫВОДЫ**

1. При строительстве установок по использованию конвертерного газа необходимы реконструкция отдельных аппаратов существующих мокрых газоочисток и корректировка режимных параметров их работы для достижения конечной запыленности газа 30 мг/нм<sup>3</sup> и температуры газа перед нагнетателем 55 °C.

2. Для обеспечения указанных требований в газоотводящих трактах конвертеров садкой 300 т необходима установка нагнетателей с развиваемым напором 26 кПа при регулируемом отводе газа от 125 тыс. до 300 тыс. м<sup>3</sup>/час.

3. Для достижения режимных параметров по температуре перед нагнетателем 55 °C и конечной запыленности газов 30 мг/нм<sup>3</sup> требуется реконструкция систем орошения всех аппаратов газоочистки с установкой форсунок, обеспечивающих высокую степень дробления жидкости при увеличении давления и улучшении качества подаваемой воды.

4. Для установок доохлаждения газа необходимо строительство газоохладителей с отдельными условно-чистыми циклами водоснабжения мокрых систем газоочистки производительностью 250 м<sup>3</sup>/час, что значительно меньше по сравнению с системой сухой очистки по проекту Siemens VAI, для которой требуется 4170 м<sup>3</sup>/час воды (на два конвертера). При очистке газа от пыли до 30 мг/нм<sup>3</sup> в основной газоочистке с регулируемой трубой



Вентури дополнительная очистка перед установками утилизации конвертерного газа не требуется.

5. При внедрении систем утилизации конвертерного газа в действующих конвертерных цехах, оснащенных мокрыми газоочистками, реконструкция последних более эффективна по сравнению с установкой сухих газоочисток, так как для доохлаждения конвертерных газов после мокрой газоочистки требуются существенно меньшие расходы воды.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ввод в эксплуатацию нового газоочистного оборудования конвертера № 2 ОАО «Алчевский меткомбинат» / А. Ф. Романенко, А. Н. Борисенко, Ю. А. Попов, Г. Я. Довгалик // КАЗАНТИП-ЭКО-2008. Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассей-

Надано результати аналізу систем очищення та підготовки конвертерного газу до використання. Наведено рекомендації для досягнення необхідних режимних параметрів конвертерного газу.

нов. Утилизация отходов : сб. науч. статей XVI Междунар. науч.-практ. конф. : в 2-х т. Т. 1 / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х. : Сая, 2008. – С. 390–395.

2. **Каненко Г. М.** Очистка конвертерных газов без дожигания CO / Г. М. Каненко // Сталь. – 2005. – № 12. – С. 82–83.
3. Совершенствование систем мокрой очистки газов конвертеров / Д. В. Сталинский, Г. М. Каненко, Д. В. Семенов, Е. А. Миллер // Черная металлургия : Бюл. ин-та «Черметинформация». – 2012. – № 11. – С. 61–66.
4. **Семенов Д. В.** Результаты реконструкции газоотводящего тракта конвертера № 3 конвертерного цеха ПАО «ЕМЗ» в 2012 г. / Д. В. Семенов, М. С. Шадурский, Д. С. Сулима // КАЗАНТИП-ЭКО-2013. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения: сб. трудов XXI Междунар. науч.-практ. конф., 3–7 июня 2013 г., г. Щелкино, АР Крым : в 3 т. Т. 2 / ГП «УкрНТЦ «Энергосталь». – Х. : НТМТ, 2013. – С. 104–108.

*Поступила в редакцию 02.04.2014*

One be given analysis results of cleaning systems and preparation of converter gas for use. One be provided recommendations to reach required operating parameters of converter gas.