

**УДК 669.184.15****Д.В. СТАЛИНСКИЙ**, докт. техн. наук, профессор, генеральный директор,**В.Д. МАНТУЛА**, заместитель генерального директора,**А.З. РЫЖАВСКИЙ**, канд. техн. наук, главный конструктор, **Д.В. СЕМЕНОВ**, заведующий лабораторией Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

ОПЫТ УКРГНТЦ «ЭНЕРГОСТАЛЬ» ПО РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИЮ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРАКТОВ КОНВЕРТЕРОВ

Представлен опыт проектирования и внедрения УкрГНТЦ «Энергосталь» газоотводящих трактов конвертеров с новыми конструкциями применяемых аппаратов и режимными параметрами их работы.

Ключевые слова: конвертер, охлаждение конвертерных газов, мокрые системы очистки, газоплотность, естественная циркуляция, параметры работы, конечная запыленность.

Кислородно-конвертерный способ с 50-х годов прошлого века стал основным способом массового производства углеродистых марок стали. Свойственные ему преимущества – высокая производительность, относительно небольшие энергозатраты – обеспечили его внедрение в производство стали практически во всем мире, в т.ч. и в бывшем СССР.

При внедрении конвертерного способа производства стали одной из основных задач явилось охлаждение и очистка конвертерного газа, который на выходе из конвертера содержит до 90 % оксида углерода, до 200 г/м³ пыли и имеет температуру 1650–1700 °С. Серьезные проблемы, связанные с охлаждением и очисткой конвертерного газа в первых так называемых типовых конвертерных цехах Нижнетагильского МК и Мариупольского МК им. Ильича в 1962–1964 гг., потребовали научно обоснованного подхода. Решение этих проблем было возложено на научные, проектно-конструкторские и наладочные организации, в настоящее время являющиеся структурными подразделениями Украинского государственного научно-технического центра «Энергосталь» (далее – Центр).

Центром были проведены совместно с НПО «ЦКТИ» комплексные исследования условий работы охладителей конвертерного газа (ОКГ) и самостоятельно – исследования газовой выделенности из конвертера, охлаждения и очистки газа в аппаратах мокрой газоочистки. Эти работы, начатые в 1963 г. и продолжающиеся в настоящее время, легли в основу создания и совершенствования Центром газоотводящих трактов сталеплавильных конвертеров.

В первых цехах с конвертерами емкостью 100–130 т конвертерный газ полностью сжигался в охладителях, вы-

полненных в виде паровых (в основном) или водогрейных котлов. Этот способ отвода применяется и в настоящее время в конвертерных цехах, построенных в 60-е годы прошлого века, при интенсивности продувки кислородом до 500 м³/мин. Однако увеличение емкости конвертеров до 300–400 т и, соответственно, интенсивности кислородной продувки потребовало создания новой технологии отвода газа с целью снижения энергопотребления, металлоемкости и габаритов газоотводящих трактов.

Приобретение зарубежных технологий отвода газа без дожигания – IRSID–CAFL (Франция), Крупп (Германия), ОГ (Япония) – требовало значительных валютных затрат. Закупленная, исходя из минимальной стоимости, технология IRSID–CAFL для конвертерного цеха Карагандинского металлургического комбината, во внедрении которой в 1973–1974 гг. активное участие приняли научные и наладочные подразделения Центра, оказалась неудачной вследствие сложности обслуживания и ремонта котла-охладителя, большой металлоемкости и низкой эффективности газоочистки, а главное – взрывоопасности.

Одновременно Центром была разработана и запатентована собственная технология отвода конвертерного газа с «частичным дожиганием», внедренная в 1972 г. в конвертерном цехе № 1 Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК). Несмотря на то, что газоотводящие тракты всех новых конвертерных цехов в СССР, построенных начиная с 1974 г. по проектам Центра на НЛМК, Западно-Сибирском металлургическом комбинате (ЗСМК), Магнитогорском металлургическом комбинате (ММК), комбинатах «АЗОВСТАЛЬ», «Северсталь», Днепровском металлургическом комбинате им. Дзержинского (ДМКД), про-

ектировались (с частичным использованием лицензии IRSID–CAFL) для работы «без дожигания», до сих пор при отсутствии сбора конвертерного газа они работают по надежной и безопасной технологии отвода газа с «частичным дожиганием». Разработанные Центром мероприятия и инструкции предотвратили взрывы в газоотводящих трактах конвертеров.

УкрГНТЦ «Энергосталь» совместно с НПО «ЦКТИ» и заводом «Белэнергомаш» (ныне ОАО «Энергомаш», г. Белгород) разработаны и внедрены котлы-охладители мембранной конструкции. Газоплотность и меньшая металлоемкость выгодно отличают такие охладители от ранее применявшихся трубчатых, обмурованных или с на-трубной обшивкой и изоляцией. Дальнейшим развитием конструкций котлов-охладителей явилась естественная циркуляция части поверхностей нагрева, внедренная в ОКГ-180 НЛМК и ОКГ-400 ММК, что позволило сократить энергозатраты на циркуляцию котловой воды. В этих же ОКГ установка тепловоспринимающих ширм привела к существенному сокращению расхода оборотной воды газоочистки. Эти решения полностью или частично нашли отражение при реконструкции действующих газоотводящих трактов, в частности при осуществленной УкрГНТЦ «Энергосталь» в 2006–2010 гг. реконструкции газоотводящих трактов четырех конвертеров емкостью 160 т ОАО «НТМК» и при реконструкции газоотводящих трактов конвертеров емкостью 160 т ОАО «ЧМК», первый из которых пущен в 2011 г.

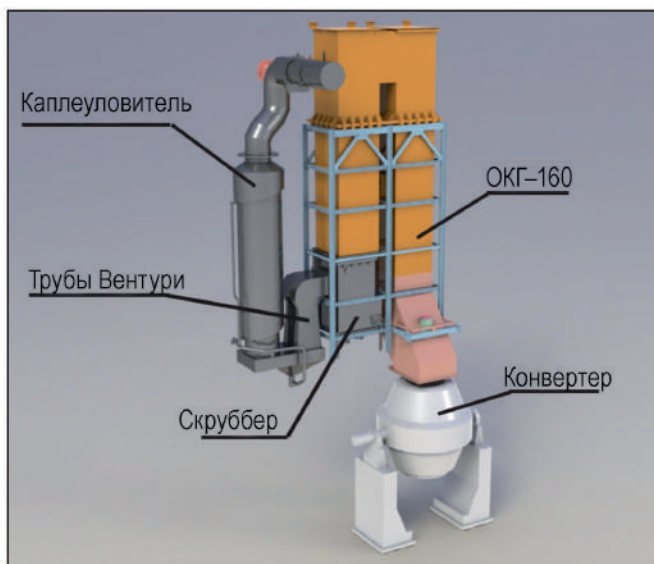


Рисунок 1 – Принципиальная схема газоотводящего тракта конвертера ОАО «НТМК»

Позднее были разработаны охладители конвертерного газа многогранного сечения (близкого к кругу, аэродинамически более благоприятного для отвода газа «без дожигания»), более удобные для монтажа и текущих ре-

монтов, чем принятые в Западной Европе охладители конвертерных газов круглого сечения.

Первый такой охладитель ВОКГ-160 (рис. 2) на территории СНГ установлен в 2011 г. при капремонте с реконструкцией и переводом на работу «с частичным дожиганием» газоотводящего тракта конвертера № 2 емкостью 160 т ПАО «Енакиевский металлургический завод» (ПАО «ЕМЗ»).

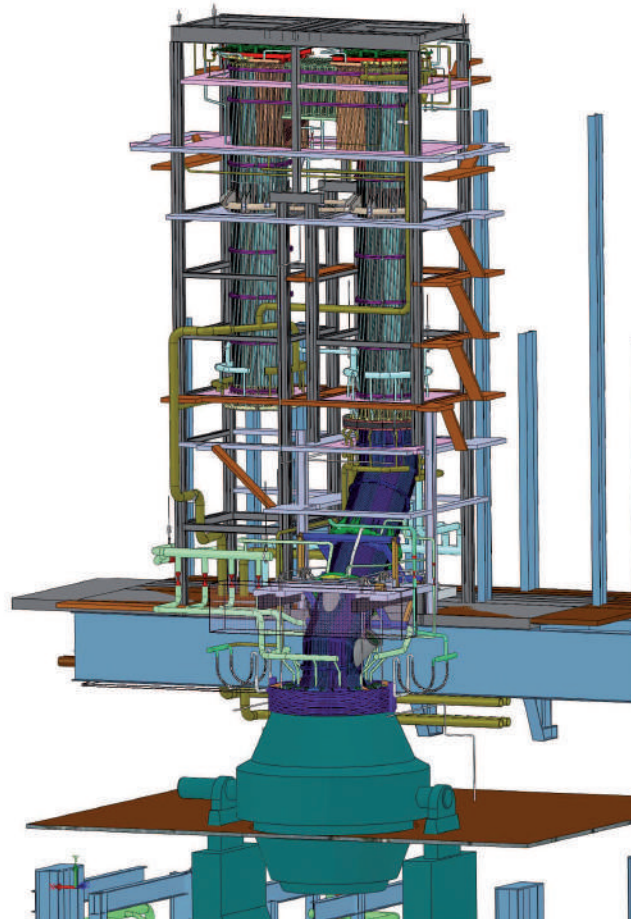


Рисунок 2 – ВОКГ-160

К началу 70-х годов, когда была поставлена задача создания эффективных систем мокрой газоочистки конвертерного газа, имеющиеся системы газоочистки включали «сухой бункер» под ОКГ, основной газоочистной аппарат, состоящий из 80 и более труб Вентури, мелкие циклоны-каплеотделители. Эффективность такой газоочистки была низкой – конечная запыленность превышала 200 мг/м³.

Усовершенствование этой системы со снижением количества круглых труб Вентури до восьми (диаметром 0,25–0,4 м), применение в качестве каплеотделителей за трубами Вентури коленных и жалюзийных сепараторов существенно не улучшило качество очистки. УкрГНТЦ «Энергосталь» предложил для новых конвертерных цехов ЗСМК и НЛМК с конвертерами емкостью



300 т в качестве основного аппарата газоочистки прямоугольную регулирующую трубу Вентури. С тех пор регулируемые трубы Вентури, совершенствуясь на протяжении более 35 лет, стали основным газоочистным аппаратом в газоотводящих трактах конвертерных цехов.

В действующих конвертерных цехах наращивание объемов выплавки стали производится путем повышения интенсивности продувки кислородом, что предполагает модернизацию существующих газоотводящих трактов для более эффективной работы систем очистки газа. При увеличении количества отходящих газов, недостаточном количестве оборотной воды на систему орошения газоочистки и низком ее качестве на многих предприятиях конечная запыленность газа превышает 100 мг/нм^3 . Проектирование и реконструкция систем очистки газа конвертеров должны соответствовать требованиям природоохранного законодательства Украины, одним из обязательных условий которого в настоящее время является обеспечение конечной запыленности газа не более 50 мг/нм^3 .

Газоотводящие тракты конвертеров работают в режиме отвода газа с полным или частичным дожиганием и без дожигания оксида углерода, что оказывает существенное влияние на режимные параметры работы мокрых газоочисток. ОКГ в зависимости от поверхностей нагрева и места установки ширм обеспечивают охлаждение газа перед газоочистками до температуры $400\text{--}1000 \text{ }^\circ\text{C}$, что также сказывается на параметрах работы газоочисток. При полном дожигании в продуктах сгорания перед газоочисткой оксид углерода содержится в незначительном количестве. При режиме «без дожигания» и «частичном дожигании» конвертерный газ, содержащий оксид углерода, сжигается после газоочистки на свече.

Запыленность конвертерных газов зависит от интенсивности продувки кислородом, количества, режимов подачи и качества извести, других сыпучих, подаваемых в конвертер. Вынос мелкой фракции флюсующих добавок можно сократить, применяя кусковую, хорошо обожженную известь [1]. При движении газа в газоотводящих трактах конвертеров происходит коагуляция мелкодисперсной фракции аэрозоля, которая способствует осаждению ее из газовой фазы. Как показывают исследования [2], конвертерная пыль обладает гидрофильными свойствами. Относительная смачиваемость изменяется в течение продувки в системах без дожигания оксида углерода в диапазоне $59\text{--}65 \%$, с частичным дожиганием – $60\text{--}72 \%$, с полным дожиганием – $68\text{--}75 \%$.

Технологическая схема современной газоочистки конвертеров включает следующие аппараты и оборудование [3]: первая ступень охлаждения газа до заданных температур и предочистки от крупной пыли; вторая ступень очистки газа от высокодисперсной пыли до требуемых значений конечной запыленности газа и доохлаждения газа; каплеуловитель; нагнетатель; дымовая труба либо свеча для дожигания CO.

Конструкции аппаратов первой ступени охлаждения и очистки газа зависят от их расположения за ОКГ, наличия габаритов для их размещения, начальной температуры газа и количества воды. В первой ступени улавливается крупная пыль (более 5 мкм) в количестве $70\text{--}80 \%$ от общего количества пыли, выносимой из конвертера. В качестве первой ступени устанавливаются узлы предварительного охлаждения (УПО), трубы Вентури, скрубберы, орошаемые газоходы (рис. 3).

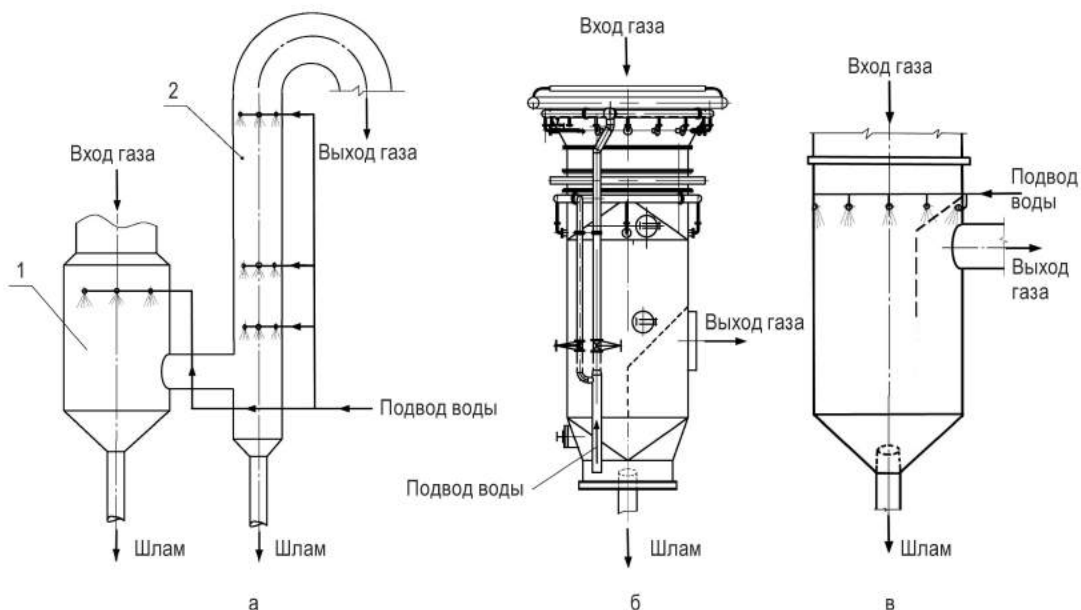


Рисунок 3 – Аппараты первой ступени очистки и охлаждения газов:

а – первая ступень ККЦ-1 ОАО «ЗСМК» (1 – УПО, 2 – орошаемый газоход); б – скруббер ПАО «АМКР»; в – скруббер ОАО «НТМК»

В последние годы отказались от применения в качестве первой ступени охлаждения и предочистки газа труб Вентури, имеющих повышенное гидравлическое сопротивление. При проектировании аппаратов для охлаждения газа применяются системы орошения двух- и трехдюймовыми эвольвентными форсунками, расположенными на нескольких ярусах. При установке ярусов форсунок факелы орошения могут быть направлены против движения газового потока (режим противотока) и по направлению движения газового потока (режим прямотока). С увеличением скорости газа в скруббере более 3 м/с интенсифицируется процесс теплообмена, но увеличивается вынос капель во вторую ступень газоочистки.

В качестве второй ступени очистки конвертерного газа применяются высоконапорные трубы Вентури различных модификаций [3]: круглые кольцевые с регулирующим конусом (а), прямоугольные регулируемые с прямыми и закругленными створками (б), пантографом (в) (рис. 4).

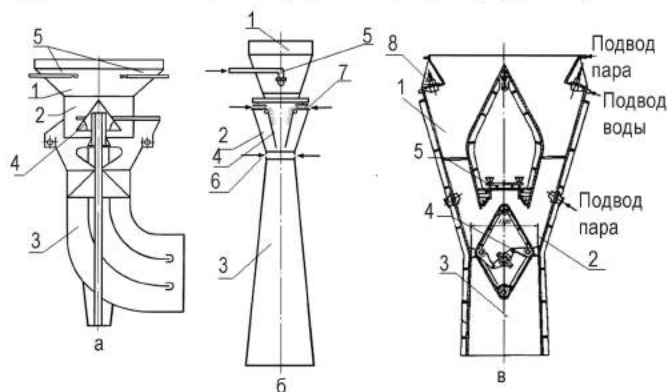


Рисунок 4 – Аппараты второй ступени очистки газов:

- 1 – конфузор; 2 – горловина; 3 – диффузор; 4 – регулирующий орган; 5 – система форсуночного орошения;
- 6 – периферийное орошение; 7 – пленочное орошение;
- 8 – парэжекционный узел

В качестве регулирующего органа в прямоугольных трубах Вентури применяются створки различной конфигурации, конус либо более сложный регулирующий орган – пантограф (рис. 4а). Регулирование положения створок, пантографа и конуса производится при помощи МЭО (механизм электрический оборотистый) либо гидропривода.

После высоконапорных труб Вентури устанавливаются бункеры для первичного улавливания шламовых вод, каплеуловители с завихрителями либо центробежные с тангенциальным входом газа. Центром разработаны конструкции каплеуловителя с односекционным и двухсекционным лопастным завихрителем.

При скорости газа в сечении каплеуловителя до 8,5 м/с уменьшаются габариты аппарата по сравнению с каплеуловителями с тангенциальным входом газа, повы-

шается эффективность улавливания капельной влаги. Для повышения эксплуатационной надежности нагнетателей разработаны конструкции ловушек влаги и эффективная система смыва отложений пыли с роторов.

УкрГНТЦ «Энергосталь» – крупнейшее инженеринговое объединение, являющееся разработчиком технологии и оборудования для отвода, охлаждения и очистки конвертерных газов как на территории СНГ, так и в дальнем зарубежье. По проектам Центра построены и функционируют газоотводящие тракты практически всех конвертерных цехов Украины и Российской Федерации.

В последние годы Центром реализованы следующие проекты:

- в 1998–1999 гг. проведена реконструкция газоочисток конвертеров № 1, 2 ПАО «Металлургический комбинат «АЗОВСТАЛЬ»;
- в 2004–2010 гг. на ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» по проекту Центра проведена реконструкция газоочисток конвертеров № 2, 3, 4, 5, 6;
- в 2009–2010 гг. реализованы технические решения по обеспечению устойчивой работы газоотводящего тракта конвертера № 1 ПАО «Енакиевский металлургический завод» с повышением эффективности работы газоочистки на 40 %; в 2011 г. при капремонте реконструирован газоотводящий тракт конвертера № 2 с переводом на работу с частичным дожиганием, при этом запыленность газов за нагнетателем снижена со 150–200 до 49 мг/нм³;
- в 2005–2010 гг. сталеплавильное производство ПАО «Алчевский металлургический комбинат» реконструировано и выведено на современный уровень в результате строительства современного конвертерного цеха с двумя 300 т конвертерами и выводом из эксплуатации мартеновского производства. Замена мартеновского производства стали конвертерным осуществлена путем поэтапной замены основного технологического оборудования и технологий новыми, прогрессивными, что обеспечило плавный, без потери производства, переход на более высокий, современный уровень производства стали. С вводом в эксплуатацию конвертерного цеха на ПАО «АМК» способ отвода и очистки конвертерных газов обеспечил получение значительных объемов вторичных энергоресурсов (конвертерный газ, пар высокого давления);
- в 2006–2011 гг. на конвертерах № 1–4 конвертерного цеха ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» и на конвертере № 2 конвертерного цеха ОАО «Челябинский металлургический комбинат» Центром проведена комплексная реконструкция газоотводящих трактов с разработкой, проектирова-



нием, поставкой оборудования и выполнением пусконаладочных работ «под ключ». В газоотводящих трактах установлены новые ОКГ, скрубберы и усовершенствованные прямоугольные регулируемые трубы Вентури. Реализована современная двухуровневая система АСУ ТП газоотводящего тракта, позволяющая контролировать все параметры работы оборудования [4]. Выбросы пыли в атмосферу снижены более чем в 2 раза.

Центр свыше 40 лет занимается разработкой газоотводящих трактов конвертеров в странах СНГ и дальнего зарубежья. Работы УкрГНТЦ «Энергосталь» по проекту обеспечению реконструкции действующих и строительству новых конвертерных производств, изготовлению, поставке и вводу в эксплуатацию экологического и технологического оборудования направлены на повышение производительности агрегатов и снижение негативного воздействия производственной деятельности предприятий на окружающую природную среду.

Наведено досвід УкрГНТЦ «Енергосталь» проектування і впровадження газовідвідних трактів конвертерів з новими конструкціями апаратів та режимними параметрами їх роботи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бережинский, А.И.** Охлаждение и очистка газов кислородных конвертеров / А.И. Бережинский, А.Ф. Циммерман. – М.: Metallurgy, 1983. – 265 с.
2. **Чалый, Л.Г.** Исследование влияния способов отвода и охлаждения газов сталеплавильных кислородных конвертеров на состав и физико-химические свойства пыли : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.02 / Л.Г. Чалый. – М.: ЦНИИЧМ им. И.П. Бардина, 1978. – 26 с.
3. **Каненко, Г.М.** Опыт работы и пути совершенствования газоочисток конвертеров / Г.М. Каненко // Сталь. – 2002. – № 2. – С. 85–89.
4. Модернизация газоотводящих трактов кислородных конвертеров емкостью 160 т в условиях действующего производства / В.Д. Мантула, А.З. Рыжавский, А.Ю. Пирогов, Д.В. Семенов, Д.В. Романов // Экология и промышленность. – 2009. – № 4. – С. 46–50.

Поступила в редакцию 15.04.2011

UkrSSEC «Energostal»'s experience in developing and implementing the gas-outlet ducts of converters with the new designs of applicable equipment and regime parameters of their work is presented.