



Д. В. Сталинский /д. т. н./,
А. З. Рыжавский /к. т. н./, А. В. Зимогляд
ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», г. Харьков

Современные решения для реконструкции газоотводящих трактов конвертеров 250–350 Т, работающих в Украине

При реконструкции газоотводящих трактов конвертеров конвертерных цехов ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат» и ПАО «Металлургический комбинат «Азовсталь» предлагается заменить газоотводящие тракты новыми, современной конструкции, с газоочисткой «мокрого типа». Отвод конвертерных газов выполнить по системе «без дожигания», включая систему сбора и подготовки конвертерного газа к использованию. Конвертеры оборудовать системами улавливания и очистки неорганизованных выбросов. В результате реконструкции будет уменьшена конечная запыленность сбрасываемого в атмосферу через свечу газа до $\leq 50 \text{ мг/м}^3$ (н. у.) и утилизирован в качестве топлива конвертерный газ, заменяющий $\sim 16 \text{ млн м}^3/\text{год}$ природного газа. (Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.).

Ключевые слова: конвертер, котел-охладитель, газоочистка, нагнетатель, свеча, неорганизованные выбросы, утилизация газа.

When reconstruction of gas-escape tracks for converters of converter shops at PJSC «Dneprovsky Integrated Iron&Steel Works named after Dzershinsky» and PJSC «AZOVSTAL Iron & Steel Works» it is recommended to exchange gas-escape tracks by new ones of modern design with wet gas cleaning. Converter gas leading must be made as system without afterburning, including system for collecting and preparation of converter gas for using. Converters must be equipped by systems for catching and cleaning of non-organized emissions. Result of reconstruction will be decrease of final dust content in gas, ejected in atmosphere through bleeder, up to $\leq 50 \text{ mg/m}^3$ and recovery of converter gas as fuel which replaces $\sim 16 \text{ mln m}^3/\text{year}$ of natural gas.

Key words: converter, cooler-boiler, gas cleaning unit, pressurizer, bleeder, non-organized emissions, gas recovery.

В Украине эксплуатируются построенный в конце 70-х годов XX века конвертерный цех с двумя конвертерами по 350 т на ПАО «Металлургический комбинат «Азовсталь» и построенный в начале 1980-х годов конвертерный цех с двумя конвертерами 250 т на ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат». Газоотводящие тракты этих конвертеров практически сохранились в первоначальном виде, за исключением второй ступени газоочистки, где круглые регулируемые трубы Вентури заменены модернизированными прямоугольными, разработанными и изготовленными ГП «УкрНТЦ «Энергосталь».

Принципиально существующие газоотводящие тракты конвертеров 350 т и 250 т указанных комбинатов аналогичны и включают:

- паровые котлы-охладители конвертерных газов (ОКГ) газоплотной мембранной конструкции квадратного сечения. Уплотнение зазора между горловиной конвертера в рабочем положении и кессоном ОКГ осуществляется подъемно-опускными «юбками» круглого сечения, охватывающими в нижнем положении горловины конвертера с зазором 600–700 мм;

- газоочистки мокрого типа двухступенчатые. Первая ступень – низконапорная труба Вентури, вторая – регулируемые высоконапорные трубы Вентури, за которыми установлены каплеуловители с завихрителями;

- для создания напора установлены нагнетатели типа 8500-11-1 с общим напором 18,0 кПа, из которого 2,0 кПа на нагнетании для преодоления сопротивления свечи.

Газоотводящие тракты работают по системе «с частичным дожиганием» без регулирования расхода газа с коэффициентом расхода воздуха 0,25–0,30 при максимальном газовыделении.

Фактическая интенсивность продувки в обоих цехах составляет $\sim 70 \%$ проектной, что связано с увеличенным до 0,25–0,30 коэффициентом расхода воздуха при максимуме газовыделения, в то время как первоначальным проектом предусматривался коэффициент расхода воздуха 0,1. Возможность снижения коэффициента расхода воздуха лимитируется увеличенными выбиваниями конвертерного газа при продувке в зазоре между «юбкой» и горловиной конвертера.

Недостаточное разрежение, создаваемое нагнетателем 8500-11-1, не обеспечивает очистку

конвертерного газа перед выбросом в атмосферу до санитарных норм. Конечная запыленность газа превышает нормативную почти в 3 раза.

В настоящее время назрела необходимость реконструкции газоотводящих трактов с внедрением современных технических решений с целью:

- увеличения интенсивности продувки кислородом до предусмотренной проектом ($1500 \text{ нм}^3/\text{мин}$ для 350 т и $1200 \text{ нм}^3/\text{мин}$ для 250 т конвертеров) с возможностью соответствующего увеличения производства стали;
- уменьшения вплоть до ликвидации пылегазовых выбросов в цех при продувке и повалке конвертеров;
- снижения конечной запыленности конвертерного газа до $40\text{--}50 \text{ мг}/\text{м}^3$ (н. у.);
- уменьшения шлако-металлических отложений в кессоне;
- утилизации конвертерного газа в качестве топлива.

Предлагаемые технические решения рассчитаны на проведение реконструкции при капитальных ремонтах в отведенные для капремонта сроки.

Для достижения поставленных целей предлагается при реконструкции заменить существующие газоотводящие тракты новыми современ-

ной конструкции в габаритах существующих трактов с минимальными доработками строительных металлоконструкций цеха.

Схема предлагаемой реконструкции газоотводящих трактов приведена на рис. 1.

Основное заменяемое оборудование включает:

1. Модернизированный водотрубный котел-охладитель конвертерных газов (ОКГ) с многократной принудительной циркуляцией.

ОКГ рассчитан на проектный расход кислорода для продувки при отводе газа «без дожигания» и с «дожиганием» при выплавке настывлей и расходом кислорода $500 \text{ м}^3/\text{мин}$ и включает:

- подъемно-опускную водоохлаждаемую «юбку» трубчатой конструкции в форме усеченного конуса;
- кессон, охлаждаемый в контуре циркуляции ОКГ, защищенный снизу трубчатым экраном. На кессоне монтируются водоохлаждаемые кессончики кислородной фурмы и течек сыпучих. Предусмотрена возможность в перспективе установки кессончика измерительной фурмы.

На стыке кессона с наклонной частью стационарного газохода имеется уплотнение с компенсатором и винтовым ручным приводом.

Кессон 12-гранный в сечении газоплотной мембранной конструкции, в нижней части кессона раструб.

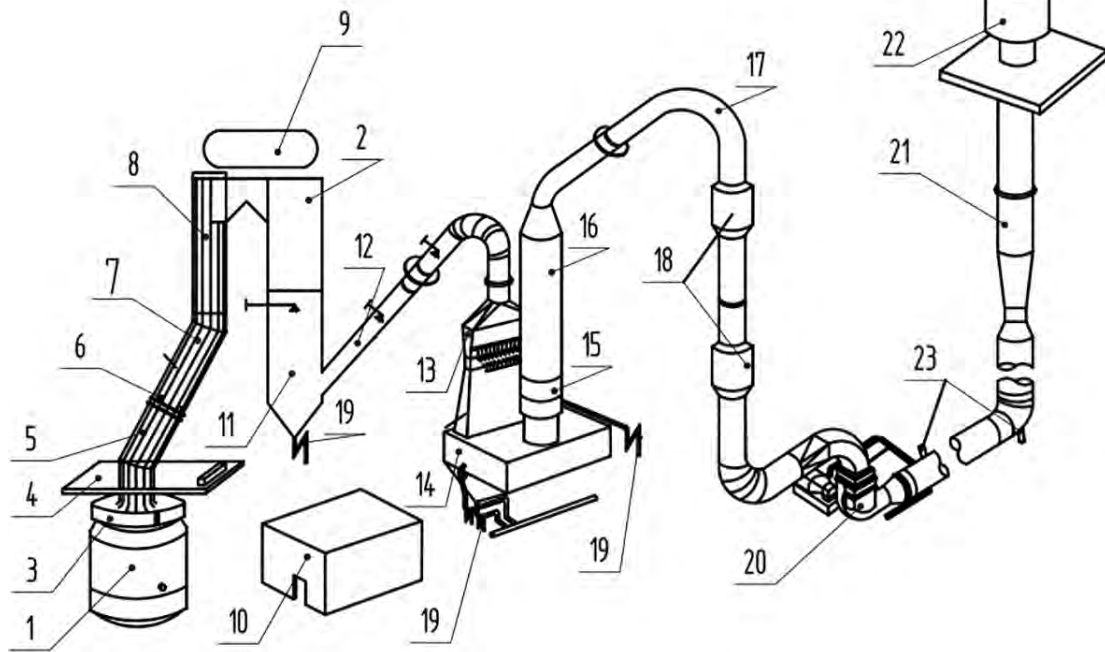


Рис. 1. Схема реконструкции газоотводящих трактов конвертеров 250–350 т:

- 1 – конвертер; 2 – котел-охладитель конвертерных газов; 3 – «юбка»; 4 – тележка кессона с приводом подъема «юбки»; 5 – передвижной кессон; 6 – установка датчиков давления газа; 7 – наклонный газоход; 8 – вертикальный газоход; 9 – барабан-сепаратор; 10 – циркуляционная насосная; 11 – узел предварительного охлаждения; 12 – орошаемый газоход; 13 – регулируемая труба Вентури; 14 – бункер трубы Вентури; 15 – завихритель; 16 – кашлеуловитель; 17 – газоход чистого газа; 18 – ловушка пленочной влаги; 19 – гидрозатворы; 20 – нагнетатель; 21 – свеча; 22 – дожигающее устройство; 23 – противозрывные клапаны

На защитном экране кессона смонтировано «корыто» песочного затвора, на «юбке» – охлаждаемый «нож» песочного затвора.

Кессон установлен на существующей тележке.

Для ремонта кессона при его отъезде предусмотрено ремонтное устройство с передвижным помостом и откидной площадкой для доступа ремонтного персонала в наклонную и вертикальную нижнюю часть кессона.

Стационарный подъемный газоход в сечении – 12-гранный, переходной и опускной – квадратные. Подъемный газоход сверху закрыт съемной крышкой, включенной в контур ОКГ, крышка в рабочем состоянии соединена с газоходом через охлаждаемый песочный затвор.

Сечение кессона и примыкающего к нему подъемного газохода выполнено в форме близкого к кругу 12-гранника. В сравнении с круглым, принятым в Западной Европе и Японии, 12-гранное сечение, рекомендуемое для эксплуатации в условиях СНГ, более технологично в изготовлении, монтаже и ремонтах.

Принудительная циркуляция осуществляется модернизированными циркуляционными насосами, установленными на месте существующих. Техническая вода для охлаждения «юбки» и кессончиков поступает из оборотного цикла технической воды среднего давления.

Производство ОКГ многогранного сечения в Украине освоено. В частности, ГП «УкрНПЦ «Энергосталь» в 2010–2013 гг. разработал и поставил ПАО «ЕМЗ» три охладителя конвертерных газов 10-гранного сечения.

2. Модернизированная мокрая газоочистка.

Устанавливается на месте существующей. Модернизация мокрой газоочистки проводится с целью повышения надежности эксплуатации и обеспечения отвода, охлаждения и очистки поступающих из ОКГ конвертерных газов от пыли до значений запыленности газа на выбросе в атмосферу не более 50 мг/м^3 (н. у.) продувки.

Конструкция газоочистки отвечает уровню многолетнего опыта ГП «УкрНПЦ «Энергосталь» по разработке и успешной реализации проектов газоотводящих трактов конвертеров 160–350 т. Газоочистка двухступенчатая. Первая ступень газоочистки – узел предварительного охлаждения (УПО). Полезный объем УПО и орошаемого газохода (скруббера) обеспечивает необходимый процесс теплообмена для эффективного охлаждения газа, а также предварительную очистку газа. Вторая ступень газоочистки – высоконапорная прямоугольная труба Вентури с регулируемым сечением горловины. В трубе

Вентури происходит дальнейшее охлаждение и окончательная очистка конвертерного газа, после чего в каплеуловителе отделяется большая часть капельной влаги, уносимой газовым потоком. На существующем газоходе «чистого» газа устанавливаются две ловушки для отвода из газового потока остаточной пленочной влаги перед нагнетателем. Уловленная влага из ловушки отводится в существующие водоотводчики.

За последние 10 лет мокрые газоочистки такого типа были разработаны, изготовлены и внедрены ГП «УкрНПЦ «Энергосталь» на 15 конвертерах в Украине и России, что подтверждает их высокую экологическую эффективность.

3. Нагнетатель. Для эвакуации конвертерных газов, выделяющихся из конвертеров, в существующем газоотводящем тракте конвертера установлен центробежный нагнетатель типа 8500-11-1. Приводом нагнетателя является асинхронный двухскоростной электродвигатель мощностью 5000 кВт. Вал нагнетателя оснащен лабиринтными уплотнениями с подачей азота для исключения подсоса в корпус аппарата с образованием взрывоопасных смесей. Всасывающие карманы нагнетателя и напорный патрубок оснащены водоотводчиками для отвода остаточной влаги. Для увеличения производительности и развиваемого напора нагнетателя до ≥ 20 кПа, необходимых для качественной очистки газа, предусмотрена замена существующего ротора нагнетателя на модернизированный. Модернизированный ротор устанавливается в существующий корпус нагнетателя без замены привода. При необходимости замены изношенных нагнетателей, фирма Venti Oeldi (Германия) предлагает новые, с напором 22–23 кПа, при сохранении существующего электродвигателя. Новый нагнетатель позволяет направить кондиционный газ ($\text{CO} \geq 30\%$) на использование. При сохранении существующего нагнетателя для сбора газа необходим дополнительный низконапорный нагнетатель.

Общим недостатком мокрой газоочистки является зарастание аппаратов газоочистки плотными известковыми отложениями, причиной чего является большой вынос мелкой извести в газоотводящий тракт при продувке кислородом. Стабилизация щелочного состава оборотной воды газоочистки требует применения дорогостоящих реагентов, которые в настоящее время применяются эпизодически. Кроме того, мокрая газоочистка потребляет значительное количество энергии в электроприводах нагнетателей.

Альтернативой мокрой газоочистке является сухая очистка в специальных электрофильтрах. Единственный разработчик и поставщик оборуду-

дования сухой электростатической газоочистки для конвертерных газов, отводимых по системам «с частичным дожиганием» и «без дожигания», где содержание СО находится во взрывоопасных пределах, является фирма PrimetalsTehnologies GmbH. Сухая газоочистка включает установленный за ОКГ скруббер полного испарения, в котором при продувке газ в автоматическом режиме охлаждается от 800–1000 до 150–180 °С водой, распыливаемой паром. Охлажденный газ очищается в 4-польном электрофильтре до конечного содержания пыли 50 мг/м³ (н. у.) и с содержанием испаренной влаги ~35 %, после чего осевым дымососом направляется либо на сжигание на свечу, либо в систему для сбора и подготовки к использованию в качестве топлива.

Достоинством системы является уменьшенный приблизительно в 2 раза удельный расход электроэнергии на привод нагнетателя. В то же время сухой способ очистки имеет и ряд недостатков:

- сбой в автоматике регулирования расхода воды в скруббере полного испарения приводит к невозможности пневмоуборки пыли из скруббера полного испарения (1,0–1,5 кг/т стали) и создает необходимость длительного простоя для ручной выгрузки;

- масса отложений на стенках скруббера полного испарения существенно меньше, чем в мокрой газоочистке, но чистить отложения на стенках скруббера диаметром 7 м и высотой 30 м существенно сложнее. Установка такого скруббера в существующих зданиях конвертерных цехов требует замены большого объема металлоконструкций;

- при поступлении в электрофильтр смеси газа и воздуха, что достаточно часто наблюдается в начале продувки, происходит взрыв. Взрывная волна выходит через пружинные противозрывные клапаны, при этом постепенно выходит из строя система коронарных и осадительных электродов, что приводит к увеличению конечной запыленности. Практика работы сухой газоочистки конвертерных газов в ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (ПАО «АМК») показала, что санитарная норма по содержанию пыли по ходу эксплуатации намного превышает, хотя срок службы оборудования истек только наполовину. Обстоятельство это усугубляется неремонтопригодностью фильтра, для замены отдельных электродов в котором нет условий, а капремонт требует длительной остановки и затрат на порядок больше, чем для капремонта мокрой газоочистки. При мокрой газоочистке источником запала газа является дожигающее устройство свечи. Взрывы исключаются, так как скорость выхода газа в до-

жигающее устройство больше скорости распространения пламени;

- в системе утилизации газа для его охлаждения необходим оборотный цикл той же производительности, что и при мокрой газоочистке;

- металлоемкость и стоимость сухой очистки на порядок больше, чем мокрой.

Ввиду изложенного, металлурги Японии, Китая, России применяют только «мокрые» газоочистки.

По нашему мнению, при реконструкциях газоотводящих трактов на предприятиях, где имеются оборотные циклы мокрых газоочисток, переход на сухую очистку нерационален. Тем более что методы стабилизации оборотной воды и подготовки извести к плавке для уменьшения ее выноса освоены, и их необходимо внедрять при реконструкции. Кроме того, все оборудование газоотводящих трактов с мокрой газоочисткой производится в Украине.

Во всех конвертерных цехах Украины, кроме построенного в ПАО «АМК» по базисному проекту и с оборудованием фирмы Siemens VAI (ныне Primetals Tehnologies Austria GmbH), не решена проблема улавливания и очистки неорганизованных выбросов при повалках и продувке конвертера.

По замерам ГП «УкрНПЦ «Энергосталь» и литературным данным, выбросы пыли в цех при завалке лома, чугуна из-под «юбки» при продувке, сливе шлака и выпуске стали составляют 1,2–1,5 кг/т стали, что равноценно выбросам пыли из свечи при содержании ее в газе за нагнетателем 220–250 мг/м³ (н. у.). Для предупреждения загрязнения окружающей среды необходимо при реконструкции оборудовать конвертеры укрытиями (dog house), вытяжными зонтами и сухой газоочисткой в рукавных фильтрах. Ранее предложенные ГП «УкрНПЦ «Энергосталь» технические решения для обоих рассматриваемых конвертерных цехов позволяют осуществить такую систему без специальных остановок конвертеров.

4. Модернизированное устройство дожигания свечей конвертерного газа предназначено для автоматического зажигания конвертерного газа при продувке.

Сохраняется ствол свечи с футерованной камерой дожигания.

Модернизация включает:

- отказ от многотрубных сопел на выходе газа. Это позволяет уменьшить сопротивление свечи приблизительно на 1,0 кПа и передать этот напор в регулируемую трубу Вентури для улучшения очистки газов;

- замену существующих дожигающих и диффузионных запальных горелок инъекционны-

ми со встроенным инжекционным запальником и электрозапальником со свечой накалывания и термопарой контроля горения.

Дожигающее устройство снабжено необходимыми контрольно-измерительными приборами и АСУ ТП. Снижение расхода природного газа в сравнении с существующим составляет не менее 150–200 м³/ч на каждой свече.

5. Система отвода конвертерного газа «без дожигания». Предусмотрена установка в нижней части наклонного газохода датчиков давления конвертерного газа. Для надежности и представительности показаний предусмотрена установка 4 датчиков с пневмомеханическими устройствами для прочистки отборов.

Для исключения влияния колебаний атмосферного давления параллельно коллектору отборов давления конвертерного газа проложена труба, соединенная с атмосферой. Дифманометр или аналогичный прибор фиксирует и выдает в систему автоматического управления значение разницы между давлением конвертерного газа и атмосферным. АСУ ТП поддерживает эту разницу постоянным воздействием на привод регулируемой трубы Вентури (при мокрой газоочистке) или на частотный преобразователь двигателя дымососа (при «сухой»). Работа по системе «без дожигания» позволяет собрать, подготовить и использовать конвертерный газ в качестве топлива.

6. Система сбора и подготовки конвертерного газа к утилизации.

Схема системы сбора и подготовки конвертерного газа к использованию представлена на рис. 2.

Система включает:

- станции переключения потока газа, установленные между дымососом (нагнетателем) и свечой каждого конвертера для направления потока газа при содержании СО ≥30 % на использование, а при СО <30 % – на свечу;
- скрубберы-газоохладители для каждого конвертера (только при сухой газоочистке) для снижения температуры газа со 150 до 68–72 °С, допускаемой конструкцией газгольдера;
- «сухой» газгольдер типа Виккерс или Лефер. Давление газа в газгольдере ~2 кПа обеспечивается массой подъемно-опускного диска, объем газгольдера 50 тыс. м³;
- мокрый электрофильтр для очистки конвертерного газа до конечного содержания пыли ≤10 мг/нм³;
- скруббер доохлаждения газа до температуры 50 °С, приемлемой потребителям;
- нагнетатель, повышающий давление газа, передаваемого потребителям, с 2,0 до 15–18 кПа.

Все аппараты системы связаны газоходами с установленными на них запорными клапанами с гидравлическим или электрическим приводом.

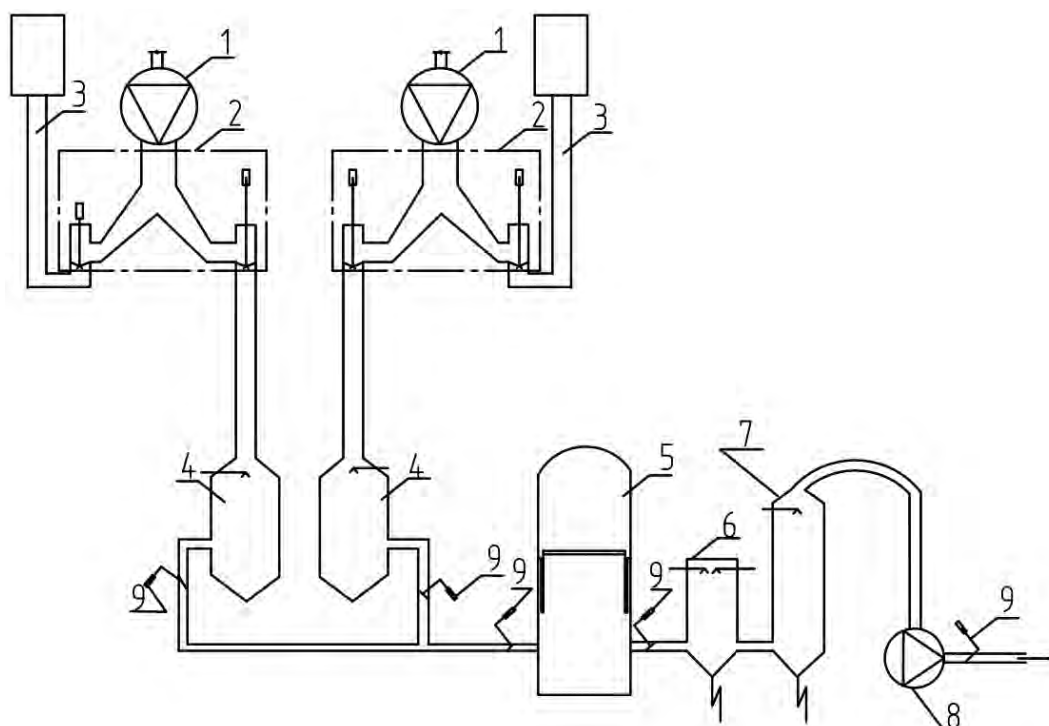


Рис. 2. Схема системы сбора и подготовки конвертерного газа к утилизации:

- 1 – дымосос газоочистки; 2 – станция переключения потока газа; 3 – свеча с дожигающим устройством; 4 – скруббер-газоохладитель (только при сухой газоочистке); 5 – газгольдер; 6 – «мокрый» электрофильтр; 7 – скруббер доохлаждения газа; 8 – нагнетатель; 9 – запорный клапан

Все оборудование поставляется из Западной Европы, Японии или Китая. Металлоконструкции, в т. ч. газоходы, корпус и диск газгольдера (2500–3000 т) изготавливаются в Украине.

Согласно европейской и японской практике, на 1 млн т жидкой стали возможно использовать ~80 млн м³ конвертерного газа с теплотворной способностью 7,7–8,0 Мдж/м³, который, с учетом тепловой ценности, может заменить ~16 млн м³ природного газа.

7. Система АСУ ТП

Для управления газоотводящими трактами ТП «УкрНПЦ «Энергосталь» только за последние 10 лет разработало и внедрило на 15 газоотводящих трактах конвертеров современную 3-уровневую систему автоматизированного управления технологическим процессом на элементной базе Siemens, которая обеспечивает:

- сбор и обработку информации от датчиков КИП;
- стабилизацию и регулирование технологических параметров;
- видеоинформацию о состоянии технологического процесса и оборудования;
- формирование сигнализаций и блокировок, обеспечивающих надежность и безопасность;
- управление исполнительными механизмами;
- связь с АСУ ТП цеха;
- архивирование;
- оперативное формирование отчетов, паспортов и др.;
- учет и анализ расхода энергоресурсов.

Выводы

1. Имеющийся опыт, оборудование, приборы, средства автоматизации позволяют осуществить реконструкцию газоотводящих трактов конвертеров 250 т ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат» и 350 т конвертеров ПАО «Металлургический комбинат «Азовсталь» (комплексно с системами управления и

очистки неорганизованных выбросов при повалке конвертеров и сбора и подготовки конвертерного газа для использования в качестве топлива), результатом которой будет увеличение не менее чем на 30 % пропускной способности, достижение нормативных экологических показателей, утилизация конвертерного газа в качестве топлива, заменяющего при производстве каждого миллиона тонн жидкой стали 16 млн м³ природного газа.

2. Рекомендуются при реконструкции «мокрая» газоочистка с одновременным применением мер для стабилизации оборотной воды газоочистки и уменьшения выноса извести в газоотводящий тракт.

3. При реконструкции используется не менее 80 % оборудования и 100 % металлоконструкций, производимых в Украине.

Библиографический список

1. Мантула В. Д. 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.

2. Рыжавский А. З. Комплексное решение проблем энергосбережения и сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу при реконструкции газоотводящих трактов конвертеров ОАО «Енакиевский металлургический завод» / А. З. Рыжавский, В. Д. Мантула, А. В. Зимогляд, Д. В. Романов // Экология и промышленность. – 2011. – № 1. – С. 14–16.

3. Сталинский Д. В. Реконструкция газоотводящих трактов 160-тонных конвертеров на работу без дожигания монооксида углерода / Д. В. Сталинский, А. З. Рыжавский, Т. П. Братова, Д. В. Семенов, Д. В. Романов // Экология и промышленность. – 2010. – № 3. – С. 26–29.

Поступила 15.12.2015

