УДК 669.184.152.4

С.Н. Сергеев, директор по охране труда, промышленной безопасности и экологии, e-mail: Sergey.Sergeev@dch.com.ua

ООО «Development Construction Holding» (DCH), Киев, Украина

Новый высокоэффективный энергосберегающий комплекс газоочистного оборудования для проведения регулируемой очистки выбросов от машин и агрегатов металлургических производств. Сообщение 2

Рассмотрена конструкция комплекса газоочистного оборудования, позволяющая в условиях металлургических производств оказывать активное неоднородно-избирательное воздействие на обрабатываемую среду – отводимые от металлургических плавильных агрегатов технологические газовые выбросы, для снижения расхода энергоресурсов (электроэнергии, воды) в процессе очистки технологических выбросов и капитальных затрат. Основные составляющие узлы разработанной конструкции данного комплекса представлены в виде энергоемкого регулируемого тандема установок мокрой газоочистки (ЭРТУМГ), сформированных тождественными структурными узлами и элементами, газоотводящие тракты которых соединены коллекторным газоходом, снабженным автоматически регулируемым запорным клапаном. В коллекторах подачи оборотной воды в аппарат мокрой газоочистки, на входах в скруббер и блок труб Вентури (ЭРТУМГ) установлены датчики расхода воды и автоматизированные регулируемые дроссельные задвижки, управление приводом которых связано с пультом управления металлургического агрегата, что обеспечивает непосредственную прямозависимую связь параметров работы газоочистки с фазой технологического цикла, в котором находится данный металлургический агрегат. В газоходах очищенного газа газоотводящих трактов (ЭРТУМГ) установлены датчики расхода очищенного газа и автоматически регулируемые запорные клапаны, управление приводом которых также связано с пультом управления металлургического агрегата, для обеспечения прямозависимой связи параметров работы газоочистки от фазы технологического цикла металлургического агрегата. Разработанный комплекс газоочистного оборудования предназначен для эксплуатации в условиях кислородно-конвертерных цехов металлургических предприятий и учитывает специфику и режимы работы существующего технологического оборудования: емкость, производительность и технологические режимы работы установленных конвертеров.

Ключевые слова: *установка мокрой газоочистки, производительность, энергосбережение, пылегазовый выброс, скруббер, эксгаустер, разрежение, датчик расхода воды, автоматизированная дроссельная задвижка, запорный клапан.*

Основной материал исследования. С целью снижения расхода энергоносителей (воды, электроэнергии), снижения капитальных затрат на реконструкцию и повышения эффективности очистки, а также для отработки рациональных конструктивных параметров и вариантов компоновки составных структурных узлов новой динамически активной комплексной системы удаления и очистки выбросов от металлургических агрегатов (конвертеров), на ЧАО «Днепровский Металлургический Завод» («ДМЗ») был разработан и реализован опытно-экспериментальный образец энергоемкого регулируемого тандема установок мокрой газоочистки (ЭРТУМГ).

Разработанная конструкция (рис. 1) предназначена для эксплуатации в условиях кислородно-конвертерного цеха ЧАО «ДМЗ» и учитывает специфику существующего технологического оборудования: емкость, производительность и технологические режимы работы установленных конвертеров.

Согласно рис. 1, данная объединенная комплексная система пылегазоудаления представляет собой тандем идентичных друг другу установок мокрой газоочистки (I) и (II), сформированных тождественными структурными узлами и элементами, газоотводящие тракты которых соединены коллекторным газоходом, снабженным автоматически регулируемым запорным клапаном.

Установка мокрой газоочистки (I) включает в себя: кислородный конвертер *1* с трехэлементным водоохлаждаемым кессоном *2*, аппарат мокрой газоочистки, образованным скруббером *3* и блоком труб Вентури *4*, сепарационное устройство *5*, газоход очищенного газа *6*, вторичный каплеуловитель *7* и эксгаустер (дымосос) *8*. Дымовая труба *9* и дымовой боров

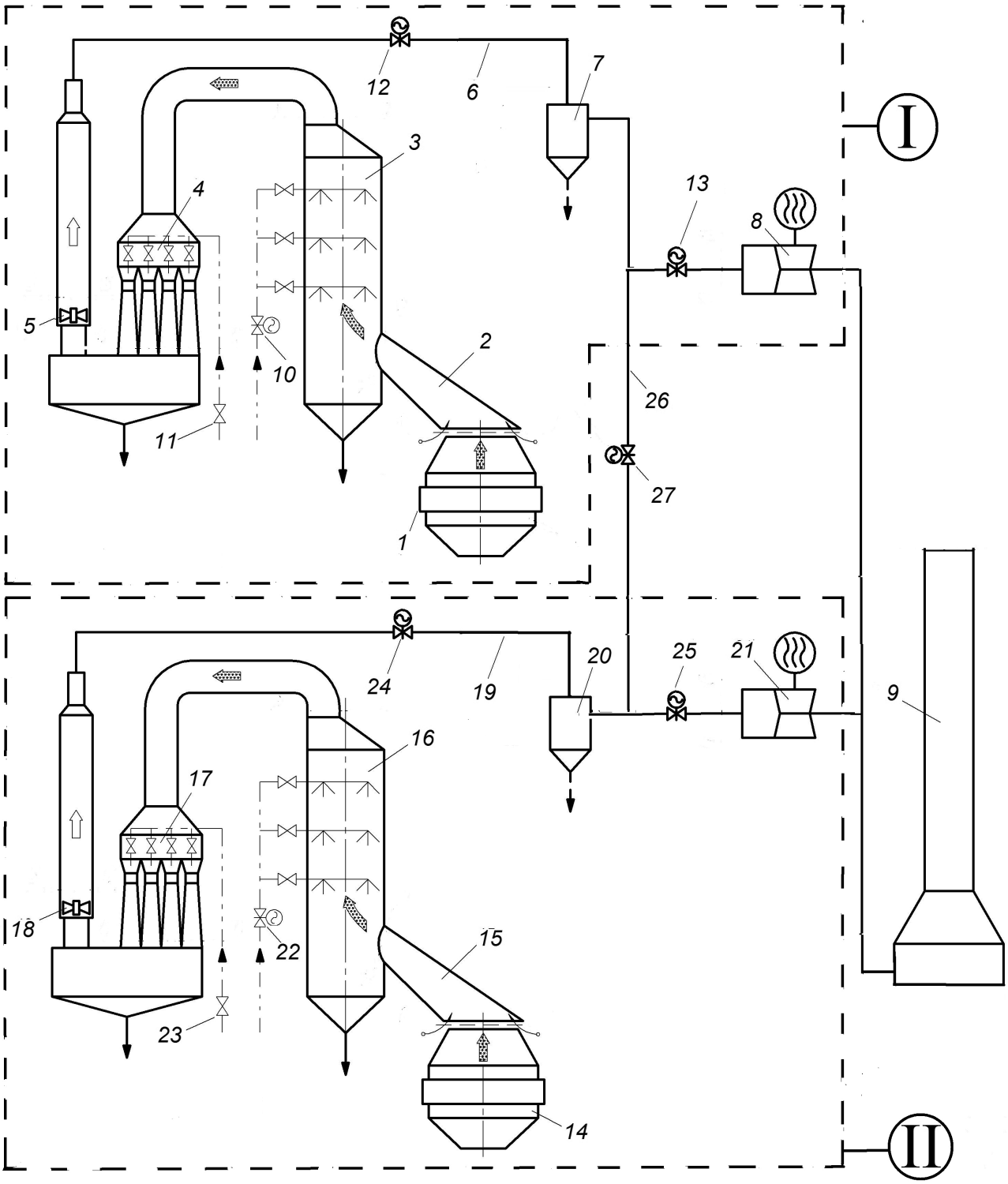

Рис. 1. Объединенная комплексная система пылегазоудаления – энергоемкий регулируемый тандем установок мокрой газоочистки (ЭРТУМГ): (*1, 14*) – конвертер; (*2, 15*) – кессон; (*3, 16*) – скруббер; (*4, 17*) – блок труб Вентури; (*5, 18*) – сепарационное устройство; (*6, 19*) – газоход очищенного газа; (*7, 20*) – вторичный каплеуловитель; (*8, 21*) – эксгаустер; *9* – дымовая труба; (*10, 22*) – датчики расхода воды; (*11, 23*) – автоматизированные регулируемые дроссельные задвижки; (*12, 13, 24, 25, 27*) – автоматически регулируемые запорные клапаны; *26* – общий коллекторный газоход

(на рис. 1 не показан) подсоединены через систему газоходов к эксгаустеру *8* и являются общими структурными элементами для тандема установок мокрой газоочистки. К скрубберу *3* и блоку труб Вентури *4* подсоединены два тракта подачи охлаждающе-очищающей оборотной воды.

В коллекторах подачи оборотной воды в аппарат мокрой газоочистки, конкретно на входах в скруббер *5* и блок труб Вентури *6,* установлены датчики расхода воды и автоматизированные регулируемые дроссельные задвижки *10* и *11*, управление приводом которых связано с пультом управления плавильного металлургического агрегата. В газоходе очищенного газа *6* имеются датчики расхода очищенного газа, кроме того, между сепарационным устройством *5* и вторичным каплеуловителем *7*, а также между вторичным каплеуловителем *7* и эксгаустером *8*, установлены два автоматически регулируемых запорных

клапана *12* и *13*, управление приводом которых также связано с пультом управления плавильного металлургического агрегата.

Установка мокрой газоочистки (II) включает в себя: кислородный конвертер *14* с трехэлементным водоохлаждаемым кессоном *15*, аппарат мокрой газоочистки, образованным скруббером *16* и блоком труб Вентури *17*, сепарационное устройство *18*, газоход очищенного газа *19*, вторичный каплеуловитель *20* и эксгаустер (дымосос) *21*. Дымовая труба *9* и дымовой боров (на рис. 1 не показан) подсоединены через систему газоходов к эксгаустеру *21* и являются общими структурными элементами для тандема установок мокрой газоочистки. К скрубберу *16* и блоку труб Вентури *17* подсоединены два тракта подачи охлаждающе-очищающей оборотной воды.

В коллекторах подачи оборотной воды в аппарат мокрой газоочистки, конкретно на входах в скруббер *16* и блок труб Вентури *17,* установлены датчики расхода воды и автоматизированные регулируемые дроссельные задвижки *22* и *23*, управление приводом которых связано с пультом управления плавильного металлургического агрегата. В газоходе очищенного газа *19* имеются датчики расхода очищенного газа, кроме того, между сепарационным устройством *18* и вторичным каплеуловителем *20*, а также между вторичным каплеуловителем *20* и эксгаустером *21*, установлены два автоматически регулируемых запорных клапана *24* и *25*, управление приводом которых также связано с пультом управления плавильного металлургического агрегата.

Газоход очищенного газа *6* установки мокрой газоочистки (I) соединен с газоходом очищенного газа *19* установки мокрой газоочистки (II) единым общим коллекторным газоходом *26*, в котором установлен дополнительный, автоматически регулируемый запорный клапан *27*.

ЭРТУМГ имеет непосредственную прямозависимую связь параметров отвода газов и подачи охлаждающе-очищающей воды от фазы технологического цикла, в котором находится данный плавильный металлургический агрегат.

Согласно рис. 2, регулирование и контроль объемов подачи охлаждающе-очищающей воды автоматизированными дроссельными задвижками и датчиками расхода воды, установленными в коллекторах подачи воды в скруббера и блоки труб Вентури (ЭРТУМГ), происходит следующим образом.

Если технологическое оборудование, связанное с установкой мокрой газоочистки (I) (ЭРТУМГ), находится в режиме наибольшего выделения загрязняющих веществ (продувка), тогда автоматическим регулированием объемы подачи охлаждающе-очищающей воды на газовый тракт установки (I) составляют: в скруббер в пределах 460–560 м^3/час и в блок труб Вентури 120–130 м^3/час (что необходимо для наиболее эффективной очистки отводимых газов).

При этом соответственно уменьшаются объемы подачи охлаждающе-очищающей воды в газовый тракт установки (II) (ЭРТУМГ), которая в рассматриваемый момент времени находится в режиме наименьшего выделения загрязняющих веществ (завалка, слив): в скруббер в пределах 240–340 м^3/час и в блок труб Вентури 70–90 м^3/час. Уменьшение подачи воды и соответствующая экономия возможны потому, что технологическое оборудование, связанное с этим блоком (ЭРТУГМ), находится в данном периоде в пассивной фазе, с наименьшим выделением загрязняющих веществ. Общий объем подачи охлаждающе-очищающей воды на тандем установок (I) и (II) в ЭРТУМГ практически постоянен и составляет 900 м^3/час.

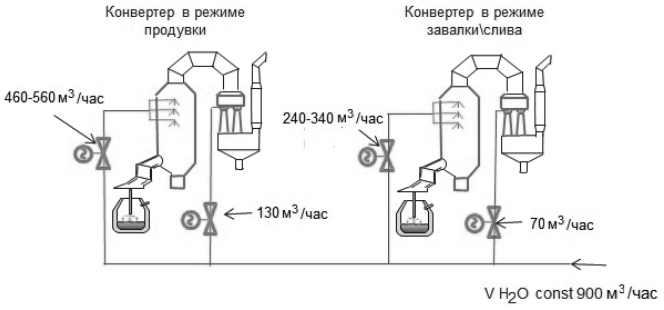

Рис. 2. Схема подачи регулируемых объемов охлаждающе-очищающей воды в составные структурные элементы (скруббера и блоки труб Вентури) газоотводящих трактов ЭРТУМГ

При этом в газоочистных установках с классической компоновкой, в основном, подача воды на систему очистки постоянна (рассчитанная на максимальный выброс загрязняющих веществ) и не регулируется в зависимости от режима работы технологического оборудования. Поэтому, для создания условий очистки выбросов, аналогичных имеющимся на ЭРТУМГ, например, схема, согласно [1], потребовалось бы на 30–40 % воды больше из-за нерегулируемой подачи воды на обе установки: скруббер 460–560 м^3/час + трубы Вентури 120–130 м^3/час.

Объединенная комплексная система газоудаления – энергоемкий регулируемый тандем установок мокрой газоочистки (ЭРТУМГ), согласно рис. 1, обеспечивает отвод технологических газовых выбросов от каждого из 2-х кислородных конвертеров по следующей технологической схеме.

Конвертерные газы из металлургических агрегатов – кислородных конвертеров *1* и *14*, являющихся источниками газовых выбросов, с начальной запыленностью до 60 грамм/м^3 и с температурой до 1700 °С, поступают в газоотводящие тракты энергоемкого регулируемого тандема установок мокрой газоочистки, конкретно в водоохлаждаемые газоходы очищающегося газа (кессоны), расход воды на охлаждение которых составляет до 1600 м^3/час.

За счет работы эксгаустеров 3500-15-1 (рис. 3) газоотводящих трактов ЭРТУМГ, обладающих производительностью 130–160 тыс. м^3/час каждый, в кессонах создается разрежение. При этом через постоянные зазоры между кессонами и горловинами кислородных конвертеров поступает атмосферный воздух, который смешивается с конвертерными газами и позволяет гарантированно дожечь присутствующую в конвертерных газах остаточную СО (не более 6 %) до CO_2.

Рис. 3. Эксгаустер 3500-15-1, обеспечивающий транспортировку по магистральным газоходам газоотводящих трактов (ЭРТУМГ) потоков очищающегося и очищенного газов

Рис. 4. Автоматически регулируемый запорный клапан объединенной комплексной системы пылегазоудаления – ЭРТУМГ

Конструктивно кессоны выполнены с водоохлаждаемым зазором 200 мм, расположенным между его внутренней и наружной стенкой.

Далее продукты сгорания конвертерных газов (дымовые газы) поступают в полые охладительные противоточные скруббера *3* и *16*, имеющие 3 яруса орошения, в каждом из которых установлено 7 трехдюймовых форсунок. В скрубберах *3* и *16* осуществляется охлаждение продуктов сгорания конвертерных газов диспергированной оборотной водой, и производится их предварительная очистка от наиболее крупных фракций пыли.

При этом дымовые газы охлаждаются от температуры 1400–1700 °С до температуры 80–90 °С, а оборотная вода, соответственно, нагревается до температуры 50–75 °С.

Затем, после скрубберов *3* и *16*, охлажденные и предварительно очищенные дымовые газы поступают в блоки высоконапорных труб Вентури *4* и *17*, изготовленных из стали с толщиной стенок 10 мм, с диаметром горловин 380 мм и центральным впрыском оборотной воды, где в них происходит основная стадия очистки от пыли, в том числе от мелкодисперсной. Все трубы Вентури идентичны друг другу: их диаметр пережима составляет 380 мм, диаметры входа и выхода – 870 мм, а длина равна 6119 мм.

За блоками труб Вентури от дымовых газов отделяются капли жидкости в сепарационных устройствах *5* и *18*, где капельная влага, отбрасываемая на стенки каплеуловителей, собирается в карманах завихрителей, а оттуда по трубопроводам сбрасывается в гидрозатворы пульпосборников. Затем дымовые газы проходят через вторичные каплеуловители *7* и *20*, расположенные в газоходах очищенного газа *6* и *19*, благодаря чему содержание влаги в них становится еще меньше. Далее основной объем очищенных и обезвоженных газов через эксгаустеры (дымососы) *8* и *21* нагнетается в дымовую трубу *9* диаметром 2,6 м и высотой 100 м, и с запыленностью менее 0,1 грамм/м^3 выбрасывается в атмосферу.

Производительность газоотводящих трактов по объему отводимых газов каждой из 2-х установок, формирующих (ЭРТУМГ), является переменной величиной и регулируется в ходе конвертерной плавки с помощью 5-ти автоматически регулируемых запорных клапанов *12*, *13*, *24*, *25* и *27* (рис. 4), расположенных в газоходах очищенного газа *6* и *19*, непосредственно за блоками труб Вентури *4* и *17*, перед каждым из 2-х эксгаустеров *8* и *21*, и в коллекторном газоходе *26*.

Регулирование объемов отводимых газов и разрежения в газоотводящих трактах (ЭРТУМГ), согласно рис. 1, производится следующим образом.

Согласно источнику [2], максимальные тепловыделения определяют мощность потока пылегазовых выбросов в такие периоды плавки, как кислородная продувка и расплавление, а не в периоды завалки шихты и выпуска металла.

Когда конвертер *1* находится в активной фазе плавки (в период продувки жидким кислородом), составляющей 30–50 % от общего времени цикла плавки, происходит максимальное выделение загрязняющих веществ. В этот период времени технологического процесса, система запорных клапанов *12*, *13*, *24*, *25* и *27* (ЭРТУМГ) автоматически переключается таким образом, чтобы кроме основного потока газов, отводимых через эксгаустер *8*, в коллекторном га-

зоходе *26* формировался дополнительный газовый поток. Данный поток газов формируется за счет отвода дополнительного объема очищенных дымовых газов от конвертора *1* через эксгаустер *21* установки мокрой газоочистки конвертора *14*, находящегося в пассивном периоде технологического процесса, с минимальным выделением загрязняющих веществ (завалки шихтовых материалов и слива полученного железо-углеродистого расплава).

В рассматриваемый момент времени, в объединенной комплексной системе газоудаления – (ЭРТУМГ), четыре запорных клапана *12*, *13*, *25* и *27*, расположенные в газоходе очищенных дымовых газов *6* конвертера *1*, перед каждым из 2-х эксгаустеров *8* и *21*, а также коллекторном газоходе *26* открыты на 100 %, а запорный клапан *24*, расположенный в газоходе очищенных дымовых газов *19* конвертера *14*, закрыт на 20–70 %. Соответственно в зависимости от степени перекрытия данного запорного клапана *24*, и при постоянной производительности эксгаустеров *8* и *21*, изменяется (увеличивается) объем отводимых газов и разрежения в газовом тракте конвертера *1*.

Когда конвертер *1* переходит в пассивный режим работы с минимальным выделением загрязняющих веществ, автоматизированная система запорных клапанов переключается таким образом, чтобы обеспечить отвод большего объема газов от конвертера *14*, за счет открытия клапанов *13*, *24*, *25* и *27* на газоходе от конвертера *14* на 100 % и одновременного закрытия клапана *12* от конвертера *1* на 20–70 %.

Таким образом, объединенная комплексная система газоудаления (ЭРТУМГ) начинает отводить основной объем технологических газовых выбросов через эксгаустер *21* и формирует дополнительный газовый поток, который отводится от системы газоочистки конвертера *14* через эксгаустер *8* конвертера *1*.

Для обеспечения условий отвода газов (объем, разряжение), аналогичных созданным в ЭРТУМГ, для конвертеров, находящихся в активной фазе техпроцесса, в газоочистных установках классической компоновки, с индивидуальными газоотводящими трактами от каждого металлургического агрегата, потребовалась бы установка эксгаустеров большей производительности для каждого из конвертеров. Например, эксгаустера 4500-11-1, имеющего производительность по газу 268 тыс. м^3/час и потребляемую мощность 2500 кВт/час, что влечет за собой увеличение расхода электроэнергии, а также капитальных расходов на строительство и операционных расходов при эксплуатации оборудования.

Выводы и рекомендации

Разработанная конструкция объединенной комплексной системы газоудаления для плавильных машин и агрегатов металлургических производств – энергоемкий регулируемый тандем установок мокрой газоочистки (ЭРТУМГ), обладающая повышенной «динамической активностью» и возможностью неоднородно-избирательного воздействия на обрабатываемую среду, в процессе эксплуатации в условия кислородно-конвертерного цеха ЧАО «Днепровский Металлургический Завод» позволяет:

– обеспечить эффективную очистку выбросов в тандемах газоочистных установок, использующихся для очистки выбросов от циклически работающих металлургических агрегатов;

– используя комбинированное автоматическое регулирование объемов отводимых газов и разрежения в газоотводящих трактах, обеспечить с минимальными энергетическими затратами рациональное перераспределение объемов отводимых от плавильных машин и агрегатов металлургических производств, в частности кислородных конвертеров, газовых выбросов, в зависимости от фазы работы технологического агрегата и связанных с этим объемов выбросов;

– применять в газоотводящих трактах (ЭРТУМГ) эксгаустеры на 30–40 % мощности меньшей (что обеспечит экономию электроэнергии и капитальных расходов при строительстве и эксплуатации), чем при классической компоновке с индивидуальными газоотводящими, без потери общей производительности и эффективности работы системы газоудаления;

– оптимизировать расход охлаждающе-очищающей оборотной воды, предназначенной для охлаждения и очистки отходящих газов, в зависимости от фактических режимов работы, находящихся в одновременной эксплуатации 2-х металлургических агрегатов и снизить общий расход воды на очистку выбросов на 30–40 %;

– повысить эффективность очистки отходящих газов металлургических агрегатов разработанной системой мокрой газоочистки (ЭРТУМГ), без строительства новых газоочистных установок, за счет проведения реконструкции существующих систем газоочистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1232689 СССР А1, С 21 С 5/38. Способ регулирования отвода газов при выплавке металла и система для регулирования, отвода и очистки газов / Р.Ф. Грач, В.С. Гурьев, Р.К. Велецкий, Ю.С. Гавриш. № 3765919/22-02; заявл. 04.07.1984; опубл. 23.05.1986, Бюл. № 19.
2. *Швец М.Н., Гошмер В.Е., Ерохин А.В.* Система улавливания пылегазовых выбросов электропечей. *Сталь*. 1992. № 1. С. 88–90.

Поступила 25.01.2019

REFERENCES

1. *Grach, R.F., Gur'ev, V.S., Veletsky, R.K., Gavrish, Yu.S.* (1986). USSR author's certificate no. 1232689 A1, C 21 C 5/38. The method of regulating the removal of gases in the smelting of metal and a system for regulating the removal and purification of gases, no. 3765919/22-02; announced 07/04/1984; published 05/23/1986, Bulletin no. 19 [in Russian].
2. *Shvets, M.N., Goshmer, V.E., Erokhin, A.V.* (1992). The system of capturing dust and gas emissions of electric furnaces. *Steel*, no. 1, pp. 88–90 [in Russian].

Received 25.01.2019

Анотація

С.М. Сєргєєв, директор з охорони праці, промислової безпеки та екології, e-mail: Sergey.Sergeev@dch.com.ua

ТОВ «Development Construction Holding» (DCH), Київ, Україна

Новий високоефективний енергозберігаючий комплекс газоочисного устаткування для проведення регульованого очищення викидів від машин і агрегатів металургійних виробництв. Повідомлення 2

Розглянуто конструкцію комплексу газоочисного устаткування, що дозволяє в умовах металургійних виробництв справляти активний неоднорідно-вибірковий вплив на оброблюване середовище – технологічні газові викиди, що відводяться від металургійних плавильних агрегатів, для зменшення використання енергоресурсів (електроенергії, води) у процесі очистки технологічних викидів та капітальних витрат. Основні складові вузли розробленої конструкції даного комплексу представлено у вигляді енергоємного регульованого тандему установок мокрої газоочистки (ЕРТУМГ), сформованих тотожними структурними вузлами і елементами, газовідвідні тракти яких з'єднані колекторним газоходом, забезпеченим автоматично регульованим запірним клапаном. В колекторах подачі оборотної води в апарат мокрої газоочистки, на входах в скрубер і блок труб Вентурі (ЕРТУМГ) встановлено датчики витрати води і автоматизовані регульовані дросельні засувки, управління приводом яких пов'язане з пультом управління металургійного агрегату, що забезпечує безпосередній прямозалежний зв'язок параметрів роботи газоочистки з фазою технологічного циклу, в якому знаходиться даний металургійний агрегат. У газоходах очищеного газу газовідвідних трактів (ЕРТУМГ) встановлено датчики витрати очищеного газу і автоматично регульовані запірні клапани, управління приводом яких також пов'язане з пультом управління металургійного агрегату, для забезпечення прямозалежного зв'язку параметрів роботи газоочистки від фази технологічного циклу металургійного агрегату. Розроблений комплекс газоочисного устаткування призначений для експлуатації в умовах киснево-конвертерних цехів металургійних підприємств і враховує специфіку та режими роботи існуючого технологічного обладнання: ємність, продуктивність і технологічні режими роботи встановлених конвертерів.

Ключові слова

Установка мокрої газоочистки, продуктивність, енергозбереження, пилогазовий викид, скрубер, ексгаустер, розрідження, датчик витрати води, автоматизована дросельна засувка, запірний клапан.

Summary

S.N. Sergeev, Director of Health, Safety and Environmental, e-mail: Sergey.Sergeev@dch.com.ua

LLC "Development Construction Holding" (DCH), Kyiv, Ukraine

New highly efficient energy-saving gas-cleaning equipment for the regulated cleaning of emissions from machines and units of metallurgical production. Report 2

The design of the gas-cleaning equipment complex is considered, which makes it possible to produce an active non-uniform-selective effect on the environment being processed – blast furnace gas from converters and converters, under the conditions of the blast furnace and steelmaking redistribution, to reduce energy consumption (electricity, water) in the process of cleaning emissions and capital costs. The main components of the designed structure of this complex are presented in the form of energy-intensive adjustable tandem wet gas cleaning installations (ERTUMG), formed by identical structural nodes and elements, the gas exhaust paths of which are connected by a collector duct equipped with an automatically controlled shut-off valve. In the collectors of the circulating water supply to the wet gas cleaning apparatus, at the entrances to the scrubber and the Venturi tube unit (ERTUMG), water flow sensors and automated adjustable throttle valves are installed, the drive

control of which is connected to the control panel of the metallurgical unit, which provides a direct, direct dependence of the parameters of the gas cleaning operation with the phase of the technological cycle in which the metallurgical unit is located. In the flue gas ducts of the gas exhaust ducts (ERTUMG), flow sensors of the cleaned gas and automatically controlled shut-off valves are installed, the drive control of which is also connected to the control panel of the metallurgical unit, to ensure a direct dependence of the parameters of the gas cleaning operation on the phase of the technological cycle metallurgical unit. The developed complex of gas-cleaning equipment is intended for operation in the conditions of oxygen-converting shops of metallurgical enterprises and takes into account the specifics and modes of operation of the existing process equipment: capacity, performance and technological modes of operation of installed converters.

Keywords

Installation of wet gas cleaning, performance, energy saving, dust and gas emission, scrubber, exhauster, vacuum, water flow sensor, automated throttle valve, shut-off valve.