

7. С и з о в А.М. Газодинамика и теплообмен газовых струй в металлургических процессах. – М.: Металлургия, 1987. – 256 с.
8. П а в л о в е ц В.М. Принципы организации принудительного зародышеобразования в холостой зоне тарельчатого окомкователя // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 4. С. 3 – 6.
9. П а в л о в е ц В.М. Исследование процесса получения влажных окатышей с использованием принудительного зародышеобразования // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 6. С. 15 – 20.
10. П а в л о в е ц В.М. Напыление влажной шихты на железорудные окатыши // Изв. вуз. Черная металлургия. 2003. № 12. С. 7 – 11.
11. П а в л о в е ц В. М. Исследование структурных характеристик шихтового покрытия, напыленного на поверхность железорудных материалов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2004. № 4. С. 7 – 12.
12. П а в л о в е ц В. М. Исследование характеристик шихтового покрытия, напыленного на железорудные материалы низкотемпературными струями сжатого воздуха // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 2. С. 7 – 12.

© 2014 г. В.М. Павловец
Поступила 8 сентября 2014 г.

УДК 669.15.7

А.К. Соловьев, В.О. Михеев, П.С. Пуликов

Сибирский государственный индустриальный университет

ОЧИСТКА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ОКСИДОВ СЕРЫ

При сжигании серосодержащего топлива образуются оксиды серы: сернистый ангидрид (SO_2) и серный ангидрид (SO_3). Оксиды серы, а также образующиеся при соединении в атмосфере с водяным паром кислоты (H_2SO_3 и H_2SO_4) оказывают вредное воздействие на здоровье людей, являются причиной гибели хвойных лесов, снижения урожайности сельскохозяйственных культур, закисления водоемов. Кроме того, оксиды серы являются причиной коррозии стальных конструкций и разрушения различных строительных материалов. В атмосфере выброшенный из дымовой трубы сернистый ангидрид под действием солнечного света окисляется в серный ангидрид, а затем переходит в серную кислоту. Время существования оксидов серы и продуктов их трансформации в атмосфере составляет (по данным различных исследований) от нескольких часов до нескольких суток, за это время воздушными потоками они могут быть перенесены на огромные (до 1000 км) расстояния. В этом заключается явление дальнего и сверхдальнего переноса оксидов серы. По этой причине в некоторых странах Европы сложилась парадоксальная ситуация, когда, например, Норвегия,

Швеция, Швейцария и некоторые другие страны получают в результате переноса больше оксидов серы, чем выбрасывают сами [1].

Современная ТЭС мощностью 2400 МВт, работающая на угле, в течение одного часа выбрасывает в атмосферу 34 т сернистого ангидрида; ежегодно выбросы сернистого ангидрида 120 котельных г. Новокузнецка в три раза превышают выбросы коксохимпроизводства. Именно поэтому проблема снижения количества оксидов серы стоит очень остро.

Мировой опыт показывает, что ни одна из технологий сероулавливания не может быть успешно внедрена без опытной проверки в условиях реальной ТЭС, длительное отставание с сооружением в нашей стране опытно-промышленных сероулавливающих установок усложняет и без того тяжелое положение с сероулавливанием в энергетике.

На сегодня можно говорить лишь о нескольких опытно-промышленных установках (ОПУ). В стадии освоения находится установка на Дорогобужской ТЭЦ (производительностью 1 млн. $\text{м}^3/\text{ч}$ газа по аммиачно-циклическому методу) и опытно-экспериментальная установка Губкинской ТЭЦ (производительностью 106

тыс. м³/ч газа по мокрому известняковому способу). Введена и испытана ОПУ на Молдавской ГРЭС, использующая аммиачно-озонный метод одновременной очистки газов от оксидов азота и серы производительностью 10 тыс. м³ газа /ч, на Северодонецкой ТЭЦ испытывалась установка по магнезитово-циклическому методу.

По-иному обстоит дело в развитых капиталистических странах. На зарубежных электростанциях успешно эксплуатируются и сооружаются новые установки по улавливанию оксидов серы из дымовых газов. Несмотря на то, что оснащение сероочистными установками повышает стоимость ТЭС на 25 – 30 % и стоимость тарифов на электроэнергию на 5 – 15 %, в США, Японии, Германии, Австрии и др. странах эти установки обязательны для всех новых энергоблоков.

В нашей стране из-за узковедомственного подхода к экономическому обоснованию затрат на сооружение электростанций, остаточного принципа выделения средств на природоохрану внедрению систем очистки дымовых газов от оксидов серы не уделялось должного внимания. По этой причине до настоящего времени разработанные различными организациями технологии очистки выбросов от SO₂ не проверены в условиях эксплуатации, их проектные показатели уступают зарубежным, промышленное производство отечественных катализаторов не налажено.

Сегодня существует два основных направления снижения выбросов оксида серы энергетическими установками, сжигающими серосодержащее топливо:

- предварительное (перед сжиганием) снижение содержания серы в исходном топливе (десульфуризация топлива);
- очистка дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу, от оксидов серы с помощью специальных установок.

Десульфуризация является перспективным направлением снижения количества выбросов оксидов серы от действия ТЭС, так как одновременно наиболее полно решается задача устранения отрицательных последствий, связанных с образованием и прохождением по тракту котла оксидов серы, повышения экономичности сжигания. При этом не возникает вопроса об утилизации продуктов обессеривания дымовых газов. Но обессеривание жидкого и твердого топлива (в отличие от обессеривания газообразного топлива, которое достаточно просто осуществляется на месте добычи) является достаточно сложным в техническом плане процессом.

Наибольшее распространение в мире получило второе направление снижения количества оксидов серы – очистка дымовых газов в сероулавливающих установках. В настоящее время известно более 80-и модификаций способов удаления SO₂ из дымовых газов.

Мокрые абсорбционные способы очистки дымовых газов от сернистого ангидрида, использующие в качестве сорбента недорогой и недефицитный материал (известь, известняк), получили наибольшее распространение в мире, несмотря на опасность образования в аппаратах трудноудаляемых отложений. Из всего количества действующих на сегодня в мире сероулавливающих установок около 90 % составляют установки, использующие именно этот метод.

В основе метода мокрой абсорбционной очистки дымовых газов лежит нейтрализация сернистой кислоты, получающейся в результате растворения диоксида серы, содержащегося в дымовых газах, гидратом оксида кальция Ca(OH)₂ (известью) или карбонатом кальция CaCO₃ (известняком). Известь более дорогой и дефицитный материал, однако применение извести в качестве сорбента позволяет почти в два раза сократить расход реагента, снизить расход электроэнергии на приготовление суспензии и орошение абсорбера. В ряде случаев применение извести может быть оправдано, несмотря на то, что по сравнению с известняком ее стоимость может быть в 2 – 2,5 раза выше. С применением извести в США работают около 35 % «мокрых» сероочистных установок, в Германии – 20 %, в Японии – 11 % [2].

Преимуществами метода являются:

- применение в качестве реагента недорогих и недефицитных природных материалов;
- относительная простота технологии при высокой степени очистки газов от SO₂, достигающая в современных установках 95 – 98 %;
- получение конечного продукта, пригодного для дальнейшего использования;
- сравнительно невысокие капитальные затраты на сооружение установки.

На рисунке показана принципиальная технологическая схема сероочистной установки, работающей по мокрому известняковому методу.

Дымовые газы после котла очищаются в электрофильтре 2 и при температуре 125 – 130 °С насосом 3 подаются в теплообменник, где они, отдав часть тепла очищенному газу, охлаждаются до 90 – 95 °С, после чего поступают в предвключенный скруббер с трубой Вентури 5. Здесь дымовые газы охлаждаются до температуры насыщения и дополнительно очищаются от частиц золы и недожога. Кроме

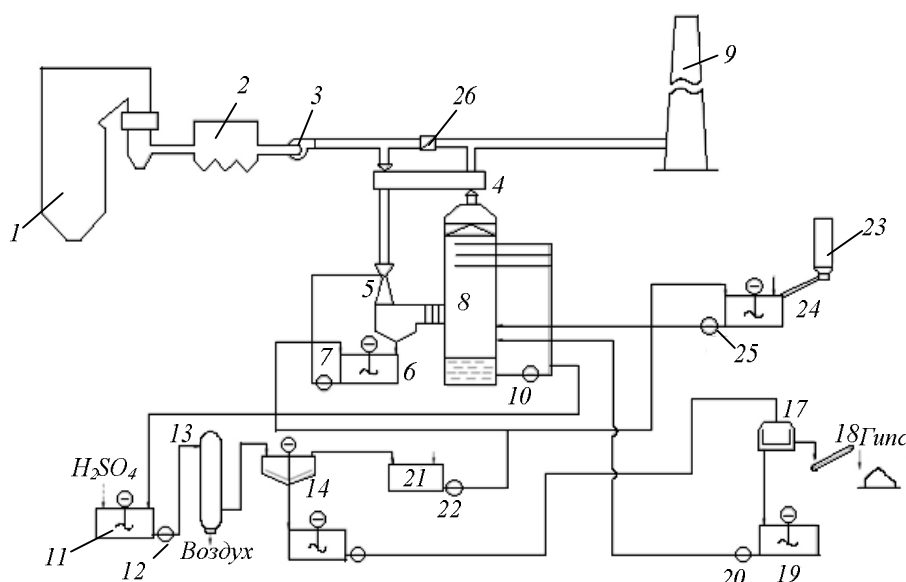
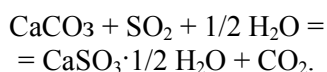


Схема сероочистной установки, работающей по мокрому известняковому методу:

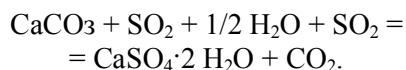
1 – котел; 2 – электрофильтр; 3 – дымосос; 4 – регенеративный газовый подогреватель; 5 – предвключенный скруббер; 6 – циркуляционная емкость скруббера; 7, 10, 12, 16, 20, 22, 25 – насос; 8 – абсорбер; 9 – дымовая труба; 11 – окислительная емкость; 13 – окислительная башня; 14 – сгуститель; 15 – емкость сгустителя; 17 – центрифуга; 18 – конвейер; 19 – емкость центрифуги; 21 – емкость осветленной воды; 23 – емкость известняка; 24 – емкость для приготовления суспензии; 26 – переключающий шибер

того, в скруббере адсорбируется некоторое количество оксидов серы (SO_2 и SO_3), а также других вредных примесей, мешающих процессу сероочистки (HCl и HF). Вода для орошения скруббера поступает из рециркуляционного бака 6 с помощью специального насоса 7. На выходе из скруббера установлен каплеуловитель. Уловленные капли жидкости с частицами золы, механического недожога и других примесей собираются в нижней части скруббера и сливаются в рециркуляционный бак. Часть золовой пульпы отбирается после насоса 7 и направляется на обработку или в отвал. Далее дымовые газы поступают в абсорбер 8.

Промывочная жидкость (суспензия известняка) подается в верхнюю часть абсорбера, где системой сопел равномерно распределяется по сечению абсорбера. Дымовые газы,двигающиеся в абсорбере снизу вверх, контактируют с распыленной суспензией известняка, в результате чего сернистый ангидрид реагирует с известняком с образованием сульфита кальция

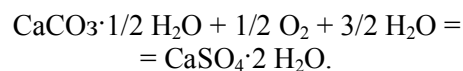


Кроме того, в абсорбере за счет наличия в дымовых газах кислорода образуется также незначительное количество сульфата кальция



Очищенные от SO_2 дымовые газы при температуре $50 - 55^\circ\text{C}$ проходят каплеуловитель, где освобождаются от капельной влаги, подогреваются до $95 - 105^\circ\text{C}$ в теплообменнике 4 и выбрасываются через дымовую трубу 9 в атмосферу.

Прошедшая абсорбер суспензия известняка вместе с продуктами реакции собирается в нижней части абсорбера в циркуляционной емкости и насосом 10 снова подается на четыре яруса распыливающих сопел, расположенных вверх. Таким образом, обеспечивается непрерывная циркуляция промывочного раствора. Часть пульпы после насоса 10 отбирается и подается в систему получения гипса. В окислительную емкость 11 добавляется также некоторое количество серной кислоты для окисления остатков карбоната кальция, а также для обеспечения необходимого значения pH. Затем насосом 12 в окислительную башню 13 (в нижнюю часть) подается сжатый воздух. В башне происходит окончательное окисление кислородом воздуха сульфита кальция в сульфат



Из окислительной башни пульпа поступает в сгуститель 14, из нижней части которого концентрированная масса сульфата кальция направляется в бак 15, откуда – на центрифугу 17. Осветленная вода отводится в бак 21,

далее – в бак 6 или направляется в систему подготовки известняковой суспензии.

В центрифугах гипс отделяется от воды, остаточное содержание которой не превышает 10 %, затем конвейером 18 направляется на склад. Отделенная в центрифугах вода ($pH = 4$) поступает в продувочную емкость 19 и оттуда – в нижнюю часть абсорбера.

Система подготовки суспензии известняка включает в себя бункер известняка 23 с измельчителем и бак 24 для приготовления промывочного раствора. В бак 24 подводится как свежая вода, так и вода из системы получения гипса ($pH = 4$).

Продувка системы (удаление сточных вод) осуществляется из линии после насоса рециркуляции.

Все емкости, в которых могут оказаться взвешенные вещества, снабжены перемешивающими устройствами для предотвращения образования отложений. Для предотвращения образования твердых трудноудаляемых отложений на стенках абсорбера часть мелких кристаллов гипса после центрифуги вместе с отделенной водой и непрореагировавшим известняком снова возвращаются в цикл и подается в нижнюю часть абсорбера. Эти мелкие частицы гипса, являясь центрами кристаллизации, уменьшают степень перенасыщенности промывочного раствора. Кроме того, внутренняя поверхность абсорбера постоянно орошается водой для смыва рыхлых отложений [1].

Полученный на установке гипс может быть использован для производства различных строительных материалов. Эффективность очистки газов от SO_2 может составить 90 – 95 %.

Полная стоимость установки составляет примерно 15 % от стоимости энергоблока, оборудованного сероочистной установкой. Эксплуатационные расходы электроэнергии достигают 2 % от мощности энергоблока. Потеря эксплуатационных затрат компенсируется за счет продажи гипса.

Выводы. Мокрый абсорбционный способ очистки дымовых газов от сернистого ангидрида с недорогим и недефицитным материалом в качестве сорбента может быть применен на теплоэлектростанциях, использующих в качестве топлива уголь, жидкое топливо или их смесь с максимальным содержанием серы в топливе 3 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А л и е в Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. – М.: Металлургия, 2012. – 544 с.
2. К а л ы г и н В. Г. Промышленная экология: учебное пособие для вузов. – М.: Академия, 2010. – 432 с.

© 2014 г. А.К. Соловьев, В.О. Михеев,
П.С. Пуликов

Поступила 12 сентября 2014 г.

УДК 621.791

Г.Н. Вострецов, Т.А. Бич, Л.П. Бащенко

Сибирский государственный индустриальный университет

ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ В СРЕДЕ АЗОТА

Валки холодной прокатки работают в условиях одновременного действия остаточных, контактных, изгибающих напряжений, тепловых нагрузок и крутящего момента, поэтому рабочий слой валков должен обладать высокими прочностью, вязкостью, износостойкостью, теплостойкостью и твердостью. Наиболее полно всем этим требованиям отвечают теплостойкие инструментальные стали высо-

кой твердости, которые сочетают теплостойкость (600 – 700 °С) с высокой твердостью (HRC 63 – 68) и повышенным сопротивлением пластической деформации [1].

Таким образом, весьма актуальной задачей является разработка и применение наплавочных материалов на основе теплостойких инструментальных сталей. Причем в зависимости от конкретных условий работы валков должен разра-