РАЗДЕЛ XXV. ЭНЕРГЕТИКА

Аминев Д.Д., Орехов В.Н., Трифонов М.Б., Янтурин Д.Н., Рязанцева А.В.

Очистки дымовых газов от оксидов серы

Московский политехнический университет

(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-04-2021-283

Аннотация

В данной научной статье рассмотрены последствия от сжигания серосодержащих топлив, их негативное влияние на окружающую среду. Представлены основные методы и технологии очистки дымовых газов от оксидов серы, образующихся при сжигании топлива. А также, предоставлена информация об эффективности каждого из способов очистки и оборудовании, необходимого для осуществления процесса.

Ключевые слова: сероулавливание в энергетике, абсорбционная очистка дымовых газов, методы сероулавливания, мокрая очистка, сухая очистка, мокросухая очистка

Abstract

This scientific article examines the consequences of burning sulfur-containing fuels, their negative impact on the environment. The main methods and technologies of flue gas purification from sulfur oxides formed during fuel combustion are presented. It also provides information about the effectiveness of each of the cleaning methods and the equipment required for the process.

Keywords: desulfurization in power engineering, absorption flue gas purification, desulfurization methods, wet cleaning, dry cleaning, wet-dry cleaning

При сжигании топлива, содержащего серу, образуются два его оксида: сернистый газ (SO_2) и серный газ (SO_3), которые выбрасываются из дымовой трубы в атмосферу. Эти оксиды негативно влияют на здоровье людей, являются причиной выпадения, так называемых, «кислотных» осадков, которые приводят к закислению водоемов и почв, что, в свою очередь, приводит к гибели растительности и урожайных культур [1]. Помимо этого, данные оксиды ускоряют процесс коррозии металлов, которые являются составляющей различных построек и сооружений.

Эти оксиды и его производные (по различным данным) могут находиться в атмосфере от нескольких часов до нескольких суток. За этот период времени при помощи ветра они могут преодолевать очень большие расстояния (≈ 1 тыс. км). В связи с этим в некоторых странах Европы возникла ситуация, при которой некоторые из них страдают от SO_x больше, чем страны, непосредственно выбрасывающие SO_x в атмосферу [2].

С целью сокращения огромного ущерба, который наносят выбросы SO_x в атмосферу, в 1983 г. была подписана конвенция ЕЭК ООН по сокращению трансграничного переноса оксидов серы на территории Европы. В соответствии с ней страны участницы (в том числе СНГ) обязались сократить выбросы сернистых соединений в атмосферу к 1993 г. на 30% (по сравнению с 1980 г.). Россия свои обязательства выполнила [3].

На территории России уменьшение выбросов оксидов серы происходит за счет замещения сжигаемого на ТЭС топлива, содержащего серу (мазута), природным газом. Однако, мазутное топливо используется в качестве резервного топлива, которое

используется в периоды пиковых нагрузок (как правило, осенне-зимний период), а также, в случае возникновения проблем с подачей газа на ТЭС. В связи с этим, проблема снижения выбросов SO_x стоит очень остро.

На данный момент существуют два основных направления снижения выбросов SO_x :

- предварительное (перед сжиганием) обессеривание жидкого и твердого топлива (десульфуризация);
- очистка дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу от оксидов серы с помощью специальных установок.

Десульфуризация является наиболее перспективным направлением, так как, помимо уменьшения количества оксидов серы, выбрасываемых в атмосферу, повышается экономичность сжигания. Однако, данный процесс является достаточно сложным в техническом плане и, как следствие, очень затратным.

В связи с этим, наибольшее распространение в мире получила очистка дымовых газов при помощи сероулавливающих установок. На данный момент известно более 80-ти модификаций данных установок.

Чаще всего применяются установки с использованием недорогих природных реагентов – извести (Ca(OH)_2) или известняка (CaCO_3) с получением в виде конечного продукта гипса или сульфатно-сульфитной смеси.

В настоящее время применяются 3 технологии для очистки дымовых газов от оксидов серы: мокрая, сухая и мокросухая очистка. Основу каждого способа очистки составляет принцип сорбции – оксиды серы соединяются с каким-либо активным веществом, образуя либо осадок, либо безвредное вещество [2].

Сухая очистка. Сухой метод – один из самых простых способов и не требует больших капиталовложений.

Основная суть метода: нужно добавить известняк к сжигаемому топливу (CaCO_3) в соотношении примерно раза в 2 больше стехиометрического количества серы в исходном топливе.

Часть двуокиси серы будет реагировать в топке, где образовался CaO , но большая часть в этой стадии ещё не вступает в реакцию. Кальций, который не прогорел, в результате повышения влажности, будет активизироваться в отдельном реакторе.

Распыление воды создаёт реакционно способные условия, которые значительно позволяют повышать коэффициент использования кальция.

В результате реакции получается сухой порошок, который перемешивается с летучей золой при сжигании угля и ликвидируется из дымовых газов в электрофильтр [4].

Ирригация дымовых газов повышает также работоспособность фильтра, в результате чего уровень пылевых выбросов после электрофильтра ниже, чем при сжигании одного лишь угля.

Достоинства: простота использования, не имеет рециркуляции, нет сточных вод, сухой конечный продукт, высокое количество улавливания сернистого газа варьируется от 45% до 90 %, способность работать на других видах топлива, не зависит от типа котлоагрегата, не имеет крупные габариты, экономичность в использовании, небольшие инвестиционные расходы, использование дешевого абсорбента – известняка.

Недостатки: образование прочных отложений золы и сульфата кальция на поверхности нагрева [5].

Мокро-сухая очистка. В поток дымового газа вводится жидкий абсорбент (чаще всего – суспензия извести), вода испаряется, а известь связывает SO_x , образуя сульфаты и сульфиды кальция, улавливающиеся впоследствии рукавными или электростатическими фильтрами.

Мокросухая очистка обеспечивает до 98% улавливания оксидов серы.

Очистка дымовых газов от оксидов серы мокро-сухим (смешанным) методом состоит из следующих этапов:

1. Мелкодисперсный известняк доставляется в топку котла пневматическим транспортом.
2. Известняк в топочной камере распределяется в поперечном сечении.
3. Известняк кальцинируется при температуре 950–1100°C.

4. Части диоксида серы связываются, образуя сульфит кальция (при температуре 500–600°C).

5. Поступление диоксида серы в активационный реактор (реактор-увлажнитель) при температуре 130–150°C. Здесь происходит впрыскивание воды через специализированные сопла.

6. Гидроксид кальция, полученный с не прореагировавших CaCO_3 или CaO , реагируют с не уловленным SO_2 , образуя сульфита кальция.

7. Вода, вышедшая из реактора-увлажнителя, испаряется.

К преимуществам данного метода можно отнести следующее: отсутствие шламового хозяйства, небольшой расход тепловой энергии, а также, высокий процент использования реагента, затраты на эксплуатацию и обслуживание меньшие, по сравнению с методом мокрой очистки.

К недостаткам относятся: твердые отходы после очистки – химически активный сульфит, энергозатратность, большой расход реагента, низкие параметры сухих отходов, большие размеры установок, высокие требования к качеству реагентов, точность дозировки реагента [6].

Мокрая очистка. Мокрый известковый (известняковый) метод – нециклический. Газ при его применении очищается на 90 %. Данный метод используется при высокой концентрации серы в исходном топливе (от 2 до 4%), обеспечивает уровень очистки в 95–99% в зависимости от используемого сорбента. Метод работает по принципу нейтрализации сернистой кислоты, которая получается в результате растворения оксида серы щелочными реагентами – известью или известняком:

В скруббер поступают капли воды содержащей мельчайшие фракции известняка и прочих продуктов нейтрализации. Очищенные продукты сгорания избавляют от жидкости в брызгоуловителе, их температура повышается в рекуператоре и после они выбрасываются в атмосферу. К вытекающей из скруббера закисленной жидкости подмешивается свежая жидкость. С течением времени в смеси собираются кристаллы сульфита кальция и остатки летучей золы. При достижении концентрации твердых частиц 10–20 % от массы жидкости, часть смеси удаляется из цикла.

При всех мокрых способах очистки температура дымовых газов снижается до 50 °C. Их подогрев осуществляется теплотой неочищенных газов для обеспечения рассеивания после выхода газов из дымовой трубы.

Недостатки способа при применении скруббера: сульфид кальция загипсовывает трубы; капли суспензии, орошающие оборудование содержат много взвешенных частиц; необходимость очистки сточных вод, так как уловленная пыль осаждается в виде шлама, что удорожает процесс очистки; большая ударная нагрузка, а также, абразивный износ скруббера, связанные с высокой скоростью газового потока; возможность уноса капель жидкости и осаждения их с пылью в газоходах и дымососах.

Положительным качеством газопромывателей мокрого типа считается простой принцип работы, независимость, малые габаритные размеры, высокий коэффициент полезного действия и применение «дешёвых» расходных средств.

Улавливание нежелательных и вредных примесей происходит на границе газовой фазы и высокоактивного пленочно-жидкостного слоя, образующегося за счет активного форсуночного орошения внутренней поверхности корпуса колонны (в полых скрубберах), барботеров (в барботажных скрубберах) или поверхности насадочного слоя (в насадочных абсорберах).

В зависимости от индивидуальных обстоятельств газоочистки и вида, можно применять как обычную воду, так и слабый раствор кислоты или щёлочи [7].

Существует газоочистка с применением дезинтегратора-абсорбера (рис. 1) [8] с еще более высокой эффективностью и с более низкими капитальными и эксплуатационными затратами, а также с минимальной потребностью в отведении площади [8–10]. Но пока были проведены только лабораторные испытания установки.

Рис. 1. Дезинтегратор-абсорбер:

1 – корпус; 2 – диски; 3 – элементы ударные; 4 – валь трубчатые; 5 – форсунка; 6 – лопатки; 7 – байпас; 8 – отверстие разгрузочное (для воздуха); 9 – отверстие разгрузочное (для суспензии); 10 – затвор гидравлический

Рассмотренные методы являются неотъемлемой частью в обеспечении снижения выбросов вредных веществ в атмосферу. Основными источниками загрязнения

атмосферы дымовыми газами на сегодняшний день являются предприятия энергетической сферы – тепловые электростанции и котельные, работающие на ископаемом топливе: каменном угле, природном газе, мазуте и т.д.

Кроме того, дымовые газы выбрасывают нефтяные факелы, сжигающие попутный газ, промышленные предприятия и автотранспорт с двигателем внутреннего сгорания.

Универсального метода очистки воздуха от дыма и прочих типов загрязнения не существует, поэтому приходится комбинировать методы для достижения максимального эффекта.

1. Рязанцева А.В., Лукашина Г.В. Глобальное изменение климата. Учебно-методическое пособие / Москва, 2008.
2. Очистка дымовых газов от оксидов серы: вестник СБГИУ / Сибирский государственный индустриальный ун-т; [под ред. Е.П. Волынкина]. – Новокузнецк: Изд-во ФГБОУ ВО «СБГИУ», 2014. – С. 33–36.
3. <http://www.unece.org/info/ece-homepage.html> (дата обращения: 04.03.2021).
4. www.chem21.info (дата обращения: 04.03.2021).
5. <https://ru-ecology.info> (дата обращения: 14.10.2019)
6. Нечаева М.В. Анализ методов очистки дымовых газов от диоксида серы при термической утилизации бурового шлама // Системы контроля окружающей среды – 2016 – Вып. 4 (24). – с.142–147.
7. Ушакова Т.В. Механизм очистки дымовых газов от оксидов серы // Студенческий: электрон. научн. журн. 2019. № 17(61). URL: <https://sibac.info/journal/student/61/140221> (дата обращения: 10.01.2021).
8. Лапшина А.В., Гуюмджян П.П., Лапшин В.Б. Устройство для улавливания пыли и вредных газов. Патент на изобретение RU 2201279 C2, 27.03.2003. Заявка № 2000114626/12 от 08.06.2000.
9. Рязанцева А.В. Использование дезинтеграторной технологии для интенсификации процессов в гетерогенных системах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иваново, 2003.
10. Лапшин В.Б., Колобов М.Ю., Колобова В.В., Рязанцева А.В. Применение дезинтегратора в различных технологиях. Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2004. Т. 47. № 8. С. 71–75.

Бутаков С.В., Хвиюзов М.А., Автухов С.С.

Оценка потенциала солнечной энергии в условиях Крайнего Севера

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
(Россия, Архангельск)*

doi: 10.18411/lj-04-2021-284

Аннотация

В работе представлены результаты анализа потенциала солнечной энергии в условиях Крайнего Севера на примере города Архангельска. Определены средние величины солнечной инсоляции за сутки и за месяц, среднемесячные значения количества солнечных часов за сутки, показатели облачности, значения солнечной инсоляции в разные временные интервалы в течение дня и с разным углом наклона солнечных модулей к горизонту.

Ключевые слова: солнечная инсоляция, облачность, энергия солнца, фотоэлектрический модуль, Крайний Север.

Abstract

The paper presents the results of the analysis of the potential of solar energy in the Far North on the example of the city of Arkhangelsk. The average values of solar insolation per day and per month, average monthly values of the number of sunny hours per day, cloudiness