

Базаянц Г.В., д.т.н.

АДИ ДонНТУ, г. Горловка

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ СУХОЙ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ УГОЛЬНЫХ ТЭС

Продуктом сухой десульфуризации дымовых газов угольных котлов пылевидным известняком является мелкодисперсная смесь, содержащая золу-унос и кальцийсодержащие компоненты $CaCO_3$, CaO , $Ca(OH)_2$, $CaSO_3$, $CaSO_4$. Их доля и соотношение в смеси зависит от зольности и сернистости сжигаемого угля и технологических особенностей газоочистки

Постановка проблемы

Мировой опыт рационального природопользования и безотходного промышленного производства основан на максимальном использовании отходов одной отрасли в качестве сырья для другой. Примером таких межотраслевых взаимоотношений в Украине является применение золы и шлака угольных тепловых электростанций в дорожном строительстве [1]. Этот опыт заслуживает дальнейшего развития. Например, ожидаемое оснащение пылеугольных котлов украинских ТЭС и котельных установками очистки дымовых газов от оксидов серы привело к необходимости решения проблемы массовой утилизации продуктов газоочистки. При сухой десульфуризации газов пылевидным известняком эти продукты, как известно, кроме золы-уноса содержат кальцийсодержащие компоненты, количество и качество которых зависит от многих факторов, включая состав и свойства сжигаемого угля и технологические особенности котельной и газоочистной техники.

Отечественного опыта получения и использования отходов газоочистки не имеется, поскольку десульфуризационные установки в теплоэнергетике Украины ранее не применялись. Зарубежный же опыт требует существенной корректировки в силу известных различий в зольности и сернистости энергетических углей в Украине и за рубежом.

Целью данного исследования является определение влияния технологических факторов на состав отходов сухой десульфуризации дымовых газов пылеугольных котлов с учетом специфики эксплуатации отечественного котельного и газоочистного оборудования.

Результаты исследования

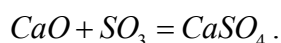
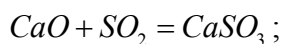
Из всех многочисленных методов десульфуризации дымовых газов ТЭС способ сухой аддитивной очистки является одним из самых простых. Его сущность сводится к подаче порошкообразного минерала (чаще всего – известняка) в топку или газовый тракт котла. Активные компоненты минерала реагируют с SO_2 и SO_3 с образованием сульфитов и сульфатов, которые затем вместе с золой и другими твердыми частицами отделяются от дымовых газов в золоуловителях.

Главное преимущество этого способа состоит в отказе от сооружения абсорберов. Вместо них используется топка котла, что снижает капитальные затраты на газоочистку и экономит производственную площадь. Последнее весьма существенно для действующих ТЭС. Позитивной стороной этой технологии является и отсутствие жидких стоков, снимающее проблемы их очистки. Выгодным отличием этого метода от технологий мокрой десульфуризации является также более высокая температура очищенных дымовых газов. Все это в совокупности упрощает технологическую схему и сокращает энергозатраты на собственные нужды.

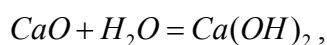
В самом общем виде технология газоочистки реализуется в следующей последовательности. Пылевидный известняк сжатым воздухом инжектируется в топку котла, где происходит его карбонизация – разложение на известь и углекислый газ:



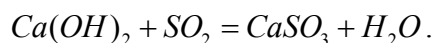
Образовавшаяся известь реагирует с оксидами серы, содержащимися в очищаемом дымовом газе:



Затем дымовые газы выводятся из котла, охлаждаются в теплообменнике до оптимальной температуры и доочищаются в активационном реакторе. При этом ранее непрореагировавшая известь гасится тонкораспыленной водой, подаваемой в реактор, по реакции:



а образующийся гидроксид кальция активно связывает оставшийся в газах диоксид серы:



После этого дымовые газы пропускают через золоуловитель, где они очищаются от всех твердых частиц, после чего направляют в дымовую трубу.

Поскольку идеальное смешение пылевидного известняка с молекулами оксидов серы в очищаемом газе технически трудноосуществимо, присадку используют в избыточном количестве. Избыток присадки является важным технологическим фактором, но и состав получаемых продуктов газоочистки.

На основе глубокого анализа и обобщения зарубежного опыта эксплуатации установок этого типа нами разработаны [2] методика и компьютерная программа расчета материальных потоков и состава отходов сухой десульфуризации дымовых газов угольных котлов, а также исследовано влияние наиболее значимых факторов на состав отходов с учетом специфики эксплуатации отечественных энергообъектов.

В качестве объектов исследования выбраны:

- котел ТПП – 312 А энергоблока 300 МВт Зуевской ГРЭС – 2;
- котел ТПП – 210 А энергоблока 300 МВт Новочеркасской ГРЭС (Россия);
- котел БКЗ – 210 – 140 ПТ Черниговской ТЭЦ (объем газов 375000 м³/ч);
- условный пылеугольный котел с объемом очищаемых газов 200 000 м³/ч (в пересчете на нормальные условия);
- котел К – 50 промышленной котельной (объем газов 79600 м³/ч);
- водогрейный котел КВ – ТС – 10 – 150 П промышленной котельной (объем газов 19600 м³/ч, кусковой уголь);
- котел БКЗ – 75 – 39 Александрийской ТЭЦ (объем газов 183000 м³/ч, пылевидный бурый уголь).

Результаты расчета состава отходов сухой десульфуризации дымовых газов перечисленных энергообъектов представлены в табл.1. Их сравнение с составами отходов таких же установок за рубежом показывает, что относительное содержание сульфита и сульфата кальция на отечественных объектах заметно ниже (5 – 6% против 10 – 15%), что объясняется более высоким содержанием золы в очищаемых газах украинских котлов из-за сжигания более высокзолыного топлива. При меньшей концентрации золовых частиц в очищаемых газах относительное содержание сульфита и сульфата кальция составляет 13 – 15%, что соответствует диапазону их содержания в отходах газоочистки зарубежных объектов. Доля гидроксида кальция при этом примерно одинакова (13 – 17% против 10 – 15%). Это косвенно

подтверждает адекватность разработанной расчетной модели реальным процессам, протекающим при газоочистке.

С позиции минимизации затрат на сухую десульфуризацию дымовых газов экономически выгоднее очищать газы с низким содержанием диоксида серы и летучей золы, характерным для котлов, сжигающих низкосернистые и малозольные угли. С точки же зрения оптимизации затрат на утилизацию золосодержащих отходов предпочтительнее очищать дымовые газы с высоким содержанием диоксида серы при низкой концентрации золы, поскольку в этом случае в отходах десульфуризационных установок выше доля активных кальцийсодержащих компонентов, особенно гидроксида кальция.

Таблица 1

Составы отходов сухой десульфуризации газов, %

Тип котла	Зола	$CaCO_3$	$CaSO_3$	$CaSO_4$	$Ca(OH)_2$
ТПП – 312 А	72	5	5	5	13
ТПП – 210 А	72	5	5	5	13
БКЗ – 210 – 140 ПТ	67	6	5	5	17
Условный котел	60	7	8	8	17
К - 50	79	3	5	5	8
КВ – ТС – 10 – 150 П	17	22	14	14	33
БКЗ – 75 - 39	16	14	13	13	44

На примере системы газоочистки условного пылеугольного котла при реальных параметрах дымовых газов украинских энергообъектов расчетом выявлено, что соотношение компонентов в отходах десульфуризационных установок в наибольшей степени зависит от зольности и сернистости сжигаемых углей. Влияние коэффициента избытка известняка и эффективности работы золоулавливающего оборудования проявляется значительно слабее.

С учетом этих фактов и ранее высказанных соображений практический интерес представляют четыре варианта предельных значений наиболее значимых параметров, когда очищаемые дымовые газы содержат: а) низкую концентрацию диоксида серы при высоком содержании золы; б) высокую концентрацию диоксида серы при малом содержании золы; в) низкую концентрацию диоксида серы при малом содержании золы; г) высокую концентрацию диоксида серы при высоком содержании золы.

Результаты выполненных расчетов показаны в табл. 2, откуда видно, что в зависимости от сочетания исследуемых параметров отходы газоочистки можно условно разделить на три группы.

К первой группе относятся отходы, образующиеся при очистке дымовых газов с высоким содержанием летучей золы и низкой концентрацией диоксида серы (вариант "а"). В этом случае они содержат более 92% золовых частиц и мало отличаются от обычной летучей золы, улавливаемой золоуловителями при работе котла без системы десульфуризации. Эти отходы могут быть использованы традиционными способами.

В случае же очистки дымовых газов с очень низкими концентрациями летучей золы и диоксида серы (вариант "в") либо, напротив, с очень высокими их концентрациями (вариант "г") процентный состав отходов газоочистки примерно одинаков, но существенно отличается от состава отходов по варианту "а". Суммарная доля кальцийсодержащих компонентов в них составляет 32 – 40%. Очевидно, что для утилизации смеси такого состава потребуются иные технологические решения.

Таблица 2

Состав отходов газоочистки, %, при различных сочетаниях концентрации золы и SO_2 в очищаемых газах

Варианты	Концентрация, $г/м^3$		Зола и инертные примеси	$CaCO_3$	$CaSO_3$	$CaSO_4$	$Ca(OH)_2$
	золы	SO_2					
а	45	1	92,57	1,21	1,46	1,53	3,23
б	5	6	26,30	12,02	14,47	15,20	32,01
в	5	1	59,98	6,53	7,86	8,27	17,36
г	45	6	68,59	5,12	6,17	6,48	13,64

Третью группу составляют отходы, образующиеся при десульфуризации дымовых газов с очень низким содержанием золовых частиц и очень высокой концентрацией диоксида серы (вариант "б"). В этом случае доля золы в отходах газоочистки очень мала (26 – 27%), а кальцийсодержащих компонентов, особенно гидроксида кальция, велика. Такую смесь можно считать активным кальцийсодержащим продуктом, загрязненным золой топлива. Естественно, что ее утилизация требует принципиально иных подходов, отличных от ранее рассмотренных.

С практической точки зрения варианты "б" и "в" для ТЭС Украины в настоящее время малоинтересны, поскольку пылеугольные котлы работают на высокосольном топливе. Вариант "б" актуален для котлов, сжигающих кусковой уголь и применяемых в котельных. Вариант "в" может представлять практический интерес для украинской теплоэнергетики в обозримом будущем, когда реализуются технические мероприятия по обогащению и частичному обессериванию угля для ТЭС. В настоящий же момент наиболее интересен вариант "г", на который и следует ориентироваться при разработке способов утилизации отходов сухой десульфуризации дымовых газов украинских угольных ТЭС.

На следующем этапе исследования было изучено влияние наиболее значимых факторов на состав продуктов газоочистки. Для этого использован полный факторный эксперимент $(ПФЭ)2^3$ (три фактора на двух уровнях), выполненный расчетом на ЭВМ, на примере условного пылеугольного котла при следующих факторах, влияющих на изучаемые параметры:

x_1 – содержание золовых частиц в очищаемых дымовых газах, $кг/м^3$ (в пересчете на нормальные условия);

x_2 – концентрация диоксида серы в очищаемых дымовых газах, $кг/м^3$;

x_3 – коэффициент избытка известняка;

В качестве выходных параметров выбраны:

y_1 – суммарное содержание золы, инертных примесей известняка и продуктов недожога топлива в продуктах газоочистки, % мас.;

y_2 – содержание $CaCO_3$ в этих продуктах, % мас.;

y_3 – суммарное содержание $CaSO_3$ и $CaSO_4$, % мас.;

y_4 – суммарное содержание $Ca(OH)_2$, % мас.;

y_5 – расход известняка, $т/ч$.

В результате получены следующие уравнения регрессии:

$$y_1 = 69,5 + 11,3x_1 - 15,1x_2 + 4,4x_3 + 3,2x_1x_2 - 0,6x_1x_3 - x_2x_3 - 0,8x_1x_2x_3,$$

$$y_2 = 4,9 - 1,8x_1 + 2,4x_2 + x_3 - 0,5x_1x_2 - 0,2x_1x_3 + 0,3x_2x_3 + 0,1x_1x_2x_3,$$

$$y_3 = 14,1 - 5,3x_1 + 7,0x_2 - 1,9x_3 - 1,6x_1x_2 + 1,2x_1x_3 - 1,5x_2x_3 + 0,8x_1x_2x_3,$$

$$y_4 = 11,9 - 4,3x_1 + 5,7x_2 + 5,2x_3 - 1,1x_1x_2 - 1,6x_1x_3 + 2,1x_2x_3 - 0,1x_1x_2x_3,$$

$$y_5 = 2,83 + 1,98x_2 + 0,93x_3 + 0,66x_2x_3.$$

Анализ этих уравнений позволяет сделать следующие выводы:

1. На содержание золowych частиц, карбоната, сульфита, сульфата и гидроксида кальция в продуктах газоочистки оказывают влияние все исследованные факторы, в наибольшей степени – концентрация диоксида серы и летучей золы в очищаемых газах.

2. С повышением содержания летучей золы и снижением концентрации диоксида серы в очищаемых газах доля золowych частиц в продуктах газоочистки растет, а доля кальций-содержащих компонентов снижается.

3. С повышением коэффициента избытка известняка доля сульфита и сульфата кальция в продуктах газоочистки снижается, а доля золowych частиц, карбоната и гидроксида кальция возрастает.

4. Наличие значимых эффектов взаимодействия факторов указывает на нелинейность всех исследованных моделей. Судя по абсолютной величине коэффициентов при эффектах взаимодействия факторов, наибольшее влияние на нелинейность моделей при определении доли золowych частиц, карбоната, сульфита и сульфата кальция в продуктах газоочистки оказывает взаимодействие факторов x_1 и x_2 (содержание летучей золы и диоксида серы в очищаемых газах), в то время как доля гидроксида кальция в продуктах газоочистки в большей степени зависит от взаимодействия факторов x_2 и x_3 (концентрации диоксида серы в очищаемых газах и коэффициента избытка известняка).

5. Судя по знакам коэффициентов при эффекте взаимодействия факторов, доля золowych частиц в продуктах газоочистки повышается при одновременном увеличении содержания летучей золы и концентрации диоксида серы в очищаемых газах, а также при одновременном снижении содержания летучей золы и величины коэффициента избытка известняка либо концентрации диоксида серы и величины коэффициента избытка известняка.

6. Доля карбоната кальция в продуктах газоочистки возрастает при одновременном повышении концентрации диоксида серы в очищаемых газах и увеличении коэффициента избытка известняка, а также при одновременном снижении содержания летучей золы и диоксида серы в очищаемых газах либо содержания летучей золы и коэффициента избытка известняка.

7. Суммарная доля сульфита и сульфата кальция в продуктах газоочистки повышается при одновременном увеличении содержания летучей золы в очищаемых газах и коэффициента избытка известняка, а также при одновременном снижении содержания летучей золы и диоксида серы в очищаемых газах либо содержания летучей золы и коэффициента избытка известняка.

8. Доля гидроксида кальция в продуктах газоочистки повышается при одновременном увеличении концентрации диоксида серы в очищаемых газах и коэффициента избытка известняка, а также при одновременном снижении содержания летучей золы и диоксида серы в очищаемых газах либо содержания летучей золы и коэффициента избытка известняка.

9. Малая величина коэффициентов тройного взаимодействия в уравнениях регрессии указывает на незначительное влияние одновременного повышения либо снижения всех трех исследуемых факторов на процентный состав продуктов газоочистки.

10. Поскольку содержание летучей золы и концентрация диоксида серы в очищаемых газах при работе котла на одном и том же топливе изменяется в довольно узких пределах и не зависит от действия оперативного персонала ТЭС, то единственным фактором влияния

персонала на состав продуктов газоочистки является коэффициент избытка известняка. Однако зависимость состава продуктов газоочистки от этого фактора, как уже было отмечено, значительно слабее, чем от факторов x_1 и x_2 , а варьирование его величиной в широком диапазоне невозможно из-за ухудшения эффективности десульфуризации газов при снижении коэффициента избытка известняка либо из-за ухудшения условий эксплуатации котла и перегрузки золоулавливающего оборудования при чрезмерном увеличении подачи присадки.

11. Расход известняка на эффективную реализацию процесса сухой аддитивной очистки не зависит от золосодержания очищаемых газов. Численная величина этого показателя в наибольшей степени определяется концентрацией диоксида серы в газах, а также принятым коэффициентом избытка известняка и взаимодействием этих двух факторов, причем при повышении их численных значений расход известняка возрастает.

Выводы

В случае внедрения установок сухой десульфуризации дымовых газов пылевидным известняком на украинских угольных ТЭС и промышленных котельных продуктом газоочистки будет тонкодисперсная смесь следующего состава, % :зола и инертные примеси известняка 67 – 70; $CaCO_3$ 4 – 5; $CaSO_3$ и $CaSO_4$ (суммарно) 12 – 13; $Ca(OH)_2$ 12 – 17. Этот продукт представляется перспективным в качестве основного компонента бетонной смеси.

Список литературы

1. Доценко А.М., Володько В.П., Шадрин Б.К. Техническая и экологическая эффективность применения отходов тепловых электростанций в дорожном строительстве: Тезисы докл. Всес. совещ. дорожников "Ускорение научно-технического прогресса, повышение производительности труда и качества дорожных работ" (Москва, 30.11. – 03.12.1981г.). – М., 1981. – С. 18 – 20.
2. ГКД 34.09.452 – 95. Сухая очистка дымовых газов ТЭС и котельных от оксидов серы. Методические указания по расчету основных технико-экологических показателей. – К.: Минэнерго Украины, 1995. – 24 с.

© Базаянц Г.В., 2005