

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 621.311.182

С. П. Высоцкий¹, д-р техн. наук, А. Г. Подолянюк²

1 – ГОУВПО Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, 2 – Автомобильно-дорожный институт ГОУВПО
«Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЭС ОТ ДИОКСИДА СЕРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛУСУХОГО ИЗВЕСТНЯКОВОГО МЕТОДА

Выполнен сравнительный анализ процессов очистки дымовых газов ТЭС от диоксида серы. Получена аналитическая зависимость влияния диаметра частиц сорбента на степень очистки дымовых газов от диоксида серы.

Ключевые слова: очистка газов, эффективность очистки, диоксид серы, активность сорбента, обжиг частиц известняка, известь

Введение

По количеству выбросов диоксида серы, оксидов азота и сажи энергетика занимает одно из ведущих мест. Экологически опасные предприятия составляют 78 % всего производственного потенциала. Прогрессирующая потребность на тепло и энергию обуславливает увеличение объемов их производства. Из-за этого возрастает количество выбросов вредных веществ от производства в окружающую среду [1]. Микронные частицы сажи и диоксид серы являются наиболее опасными для организма человека и окружающей среды в целом.

В настоящее время предприятия теплоэнергетики являются одними из основных загрязнителей атмосферного воздуха. В таблице 1 представлены характеристики основных источников выбросов диоксида серы в Украине.

Таблица 1 – Характеристика основных источников выбросов диоксида серы в Украине

Крупные угольные ТЭС Украины	Уголь, сж/год, тыс. т	Марка угля	Содержание серы в угле $S^{н/пр}_p$, %	Выброс SO_2 , сж/год, тыс. т	Сумма налога, 2018 г., млн грн.
Кураховская	2700	Г	3,1	167	223
Луганская	200	Т	2,7	108	144
Зуевская	2500	Г	3,1	155	206
Запорожская	2100	Г	3,1	130	173
Криворожская	1900	Т	2,7	103	136
Приднепровская	1800	А-Т	1,7–2,7	79	105
Бурштынская	3200	Г	3,1	198	264
Ладыжинская	1700	Г	3,1	105	140
Добротворская	1000	Г	3,1	62	82
Углегорская	1700	Г	3,1	105	140
Змиевская	2100	А-Т	1,7–2,7	92	123
Трипольская	1300	А	1,7	44	59
Старобешевская	2200	А	1,7	75	99
Славянская	1300	А	1,7	44	59
Всего	27500			1467	1953

Размеры экологического налога за каждую тонну выбросов в 2018 году имеют следующие значения: диоксид серы $\text{SO}_2 = 3300$ грн, оксиды азота $\text{NO}_x = 3300$ грн, взвешенные частицы (пыль) = 160 грн.

Наиболее актуальной проблемой ТЭС является сокращение выбросов SO_2 . Значительные платы за выбросы стимулируют ТЭС устанавливать системы газоочистки. Цены на иностранные комплекты систем газоочистки очень высокие, а расходы на использование намного выше экологических платежей (штрафов) за выбросы. Между тем выбросы тепловых электростанций в окружающую среду составляют более 1,5 млн тонн SO_2 ежегодно [2].

Цель исследования

Целью исследования является анализ процессов очистки дымовых газов ТЭС от диоксида серы с использованием полусухого известнякового метода.

Изложение основного материала

Диоксид серы образуется во время выгорания соединений серы (FeS и FeS_2) при сжигании топлива в топках котлов.

Для очистки дымовых газов от диоксида серы в качестве реагента используются кальциевые сорбенты: известь или известняк. Известь получают при обжиге известняка.

Мокрые системы сероочистки могут обеспечить степень очистки газов до 90–95 %, в то же время эффективность полусухих систем составляет не более 70–80 %, а сухих – до 50 %. Одновременно на предприятиях ТЭС применяли 2 метода сероочистки: мокрый известняковый и полусухой известняковый методы [2].

При использовании известняка процесс сорбции диоксида серы осуществляют в противоточных колонных адсорберах при рН поглотительной суспензии от 3,5 до 4,5 и удельном расходе поглотительного раствора 8–16 л/м³ дымовых газов. В случае применения в качестве поглотителя суспензии извести рН поглотительной суспензии составляет 12–13. Активность поглотительного раствора при этом более чем в сто тысяч раз превышает таковую при использовании суспензии известняка. Это позволяет сократить время сорбции и применить прямоточные аппараты для осуществления процесса десульфурзации. Использование таких аппаратов обеспечивает сокращение капитальных затрат на технологию десульфурзации в 1,3–1,4 раза.

Преимуществом применения полусухой известняковой прямоточной технологии сероочистки, является отсутствие сточных вод, что улучшает экологические показатели процесса. Однако существует также один недостаток – увеличение затрат на реагент – известь [3].

При использовании сорбентов важное значение имеет размер частиц поглотителя. Уменьшение размеров частиц обеспечивает увеличение активной площади поглотителя и, соответственно, возрастает скорость поглощения токсиканта. На рисунке 1 представлено сопоставление размеров частиц к их удельной поверхности.

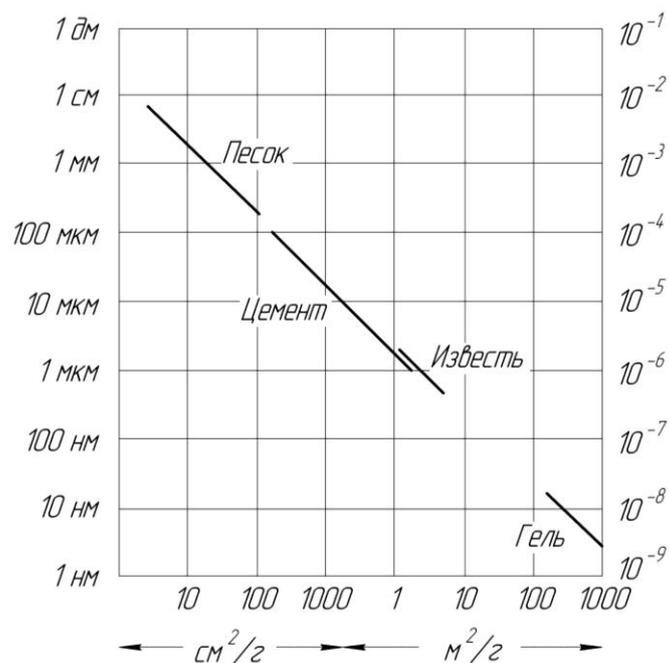


Рисунок 1 – Сопоставление размеров частиц сорбента к их удельной поверхности

Размер частиц извести, получаемый при обжиге известняка, зависит от условий обжига. На рисунке 2 показан вид частиц извести, получаемых при различных температурах обжига.

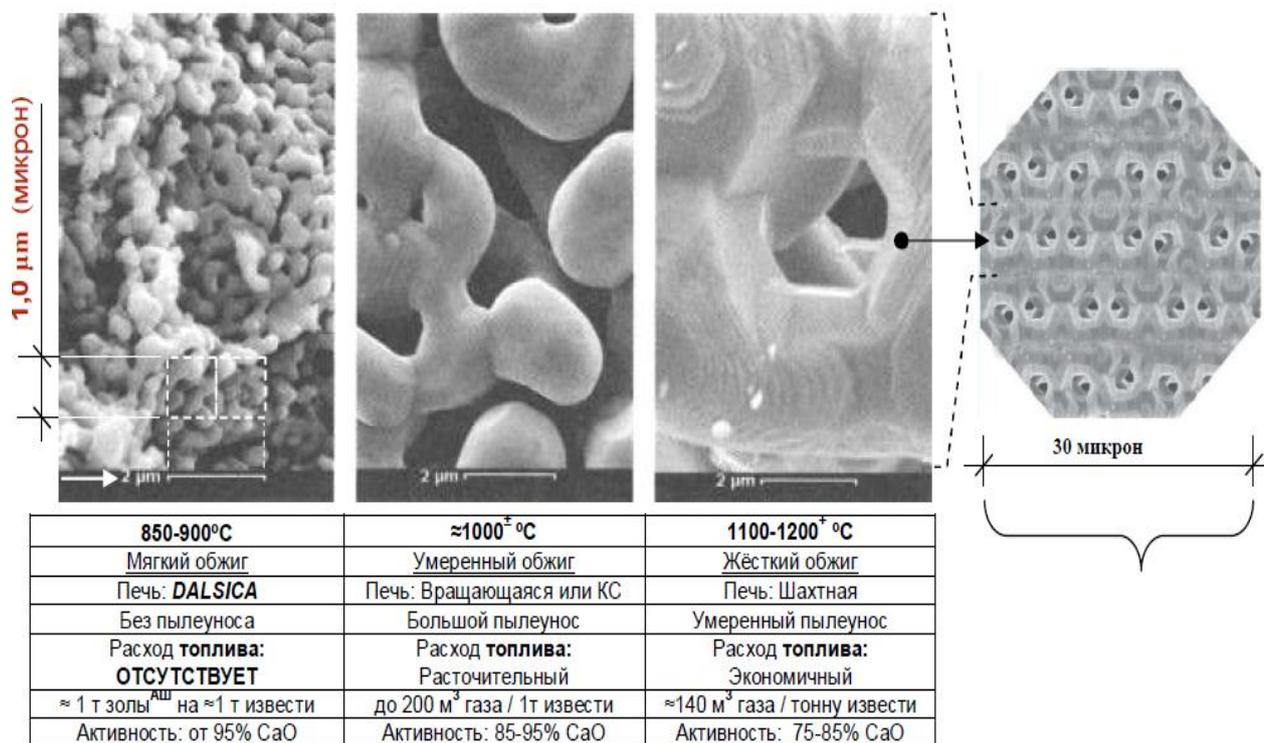
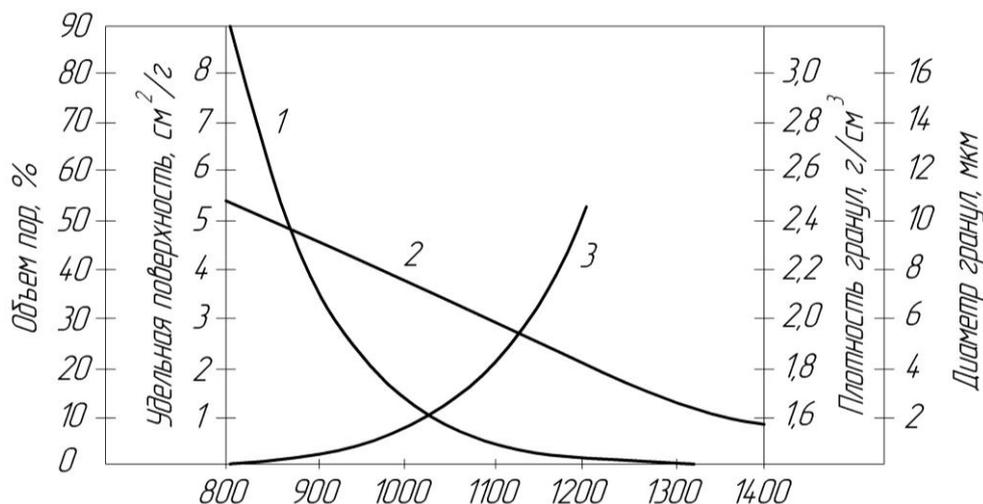


Рисунок 2 – Зависимость размеров частиц извести от температуры обжига известняка [4]

На рисунке 3 показано влияние температур обжига на свойства получаемого сорбента.



1 – расчетная удельная поверхность; 2 – порозность; 3 – средние размеры гранул
 Рисунок 3 – Влияние условий (температуры) обжига известняка на свойства получаемого сорбента

Снижение температуры обжига обеспечивает получение более мелких частиц извести.

Конверсия известняка – перевод CaCO_3 в CaO происходит при температуре более $600\text{ }^\circ\text{C}$. Понижение температуры обжига обеспечивает условия, при которых известняк декарбонизируется без образования пережога. За счет этого получается качественно обожженная известь CaO . Пониженная температура диссоциации CaCO_3 внутри гранул обеспечивает получение высокоактивной извести с нанокристаллической структурой. Размер кристаллов $\text{CaO} = 0,1\text{--}0,3\text{ мкм} = 100\text{--}300\text{ нм}$ [4].

Однако при пониженных температурах происходит неполная конверсия, при которой можно наблюдать значительную потерю исходного реагента в виде недожога.

Для экологического совершенства процесса приготовления сорбента, снижения расхода энергоносителя на процесс обжига, для улучшения характеристик сорбента его готовят следующим образом.

Перед обжигом известняка, для получения более качественного сорбента, CaCO_3 измельчается до размеров $5\text{--}10\text{ мм}$. Для сгранулирования золы к известняку добавляют до 5% глинистого материала, затем все компоненты смешивают в типовом интенсивном противоточном смесителе.

В грануляторе происходит гранулирование полученной смеси, ее газификация и обжиг в тепловом агрегате шахтного типа [5]. В шахте гранулы нагреваются до температуры $800\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$. Именно при этой температуре происходит декарбонизация частиц известняка CaCO_3 , которые были введены в гранулы.

В результате этого в аппарате происходят несколько процессов:

1. Декарбонизация известняка CaCO_3 с образованием извести CaO и выделением CO_2 .
2. Образование горючего газа в результате газификации углерода золы углекислым газом.
3. Декарбонизация известняка, газификация углерода, дегидрация глинистой добавки с помощью обжига гранул.

Эффективность процесса десульфуризации при сорбции диоксида серы суспензией извести существенно зависит от размеров частиц сорбента. Авторы обработали данные, приведенные в [6], и получили экспериментальную зависимость, представленную на рисунке 4.

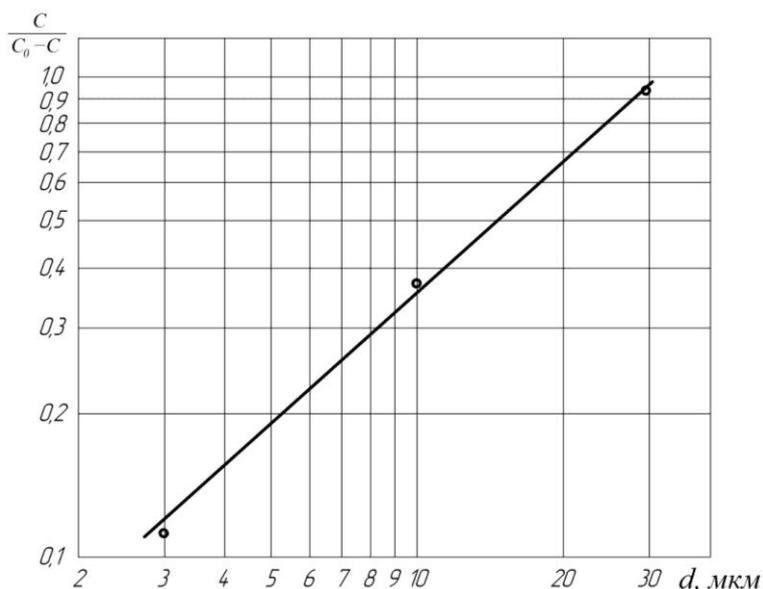


Рисунок 4 – Зависимость соотношения непоглощенного и поглощенного сорбентом диоксида серы от диаметра частиц сорбента

Аналитическое выражение зависимости соотношения непоглощенного и поглощенного сорбентом диоксида серы от диаметра частиц сорбента описывается формулой:

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} = 4,6 \cdot 10^{-2} \cdot d^{0,89} \quad (1)$$

Таким образом, увеличение размеров частиц сорбента приводит к возрастанию указанного соотношения. Теоретически из закона Фика следовало бы увеличение доли непоглощенного диоксида серы $(1-\alpha)$ при одинаковом соотношении $\frac{Ca}{S}$ вследствие уменьшения поверхности адсорбции.

Также на поглощение частиц диоксида серы оказывает влияние длительность сорбции. Увеличение степени очистки дымовых газов от SO_2 может быть достигнуто за счет уменьшения размеров частиц поглотителя или увеличения длительности процесса сорбции. Указанные обстоятельства обуславливают относительно низкую растворимость частиц извести в воде, т. е. при сорбции происходит постепенная диссоциация частиц сорбента. На рисунке 5 изображена зависимость эффективности очистки диоксида серы при двух размерах частиц извести.

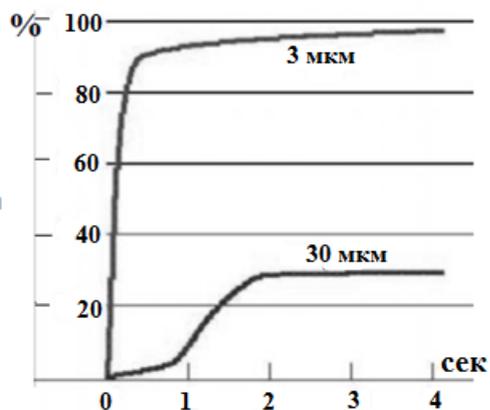


Рисунок 5 – Зависимость эффективности поглощения диоксида серы от размеров частиц сорбента

Выводы

1. Анализ процессов очистки дымовых газов ТЭС от диоксида серы показал, что использование полусухой технологии при надлежащей подготовке извести обеспечивает степень очистки газов более чем на 90 %.
2. Обжиг известняка при пониженной температуре обеспечивает получение более мелких частиц извести и предпочтительные условия сорбции диоксида серы в адсорбере.
3. Выведена аналитическая зависимость влияния диаметра частиц сорбента на степень очистки дымовых газов ТЭС от диоксида серы.

Список литературы

1. Техника защиты окружающей среды /А. И. Родионов [и др.]. – М. : Химия, 1989. – 512 с.
2. Вольчин, И. А. Технологии сухой и полусухой сероочистки дымовых газов угольных ТЭС / И. А. Вольчин, А. А. Ясинецкий // Энергетика та електрифікація. – 2012. – № 5. – С. 7–20.
3. Исламов, М. Ш. Проектирование и эксплуатация промышленных печей / М. Ш. Исламов. – Л. : Химия, 1986. – 278 с.
4. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества /А. В. Волженский. – М. : Стройиздат, 1986. – 464 с.
5. Ансельм, В. Шахтная печь / В. Ансельм ; пер. с нем. – М. : Стройиздат, 1956. – 139 с.
6. Долгополов, В. Н. Решение проблемы газоочистки угольных ТЭС обеспечивают промышленно освоенные малозатратные технологии / В. Н. Долгополов // Наука. Проекты. Экономика. – 2013. – № 1. – С. 2–12.

С. П. Высоцкий¹, А. Г. Подолянюк²

1 – ГОУВПО Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,

г. Макеевка, 2 – Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

**Анализ процессов очистки дымовых газов ТЭС от диоксида серы
с применением полусухого известнякового метода**

На тепловых электростанциях основным топливом в Украине является каменный уголь различной степени метаморфизма. При сжигании угля в котлах наличие в нем соединений серы в виде сульфидов железа и пирита вызывает образование диоксида серы, который вместе с дымовыми газами поступает в атмосферу. При поступлении диоксида серы в атмосферу и при взаимодействии с кислородом и парами воды образуется сернистая и серная кислоты, являющиеся основной причиной выпадения кислотных дождей.

Для защиты атмосферы от выбросов диоксида серы в мировой практике используют мокрую известняковую и полусухую известняковую технологии. Применение известняковой технологии требует значительных капитальных затрат. Применение полусухой технологии обеспечивает снижение капитальных затрат, однако вызывает увеличение эксплуатационных затрат в связи с необходимостью расхода энергоносителей на обжиг известняка.

Впервые обосновано влияние размеров частиц непоглощенной извести на эффективность десульфуризации дымовых газов при использовании полусухой технологии. На основании анализа литературных источников определены оптимальные температуры обжига известняка, при которых обеспечивается максимальный эффект сорбции при последующем использовании извести. Получена аналитическая зависимость влияния диаметра частиц сорбента на соотношение концентраций непоглощенного и поглощенного диоксида серы.

ОЧИСТКА ГАЗОВ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ, ДИОКСИД СЕРЫ, АКТИВНОСТЬ СОРБЕНТА, ОБЖИГ ЧАСТИЦ ИЗВЕСТНЯКА, ИЗВЕСТИ

S. P. Vysotskiy¹, A. G. Podolianiuk²

1 – Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka,

2 – Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka

**An Analysis of Cleaning Processes of Thermal Power Station Smoke Fumes from Sulfur Dioxide
Using Semi-dry Limestone Technique**

At thermal stations in Ukraine, the main fuel is the coal with different grade of metamorphism. At coal burning in boilers sulfur compounds in the form of iron sulfides and pyrite cause the formation of sulfur dioxide entering the atmosphere together with smoke fumes. At sulfur dioxide entering the atmosphere and at interaction with oxygen and water vapour, sulfurous and sulfuric acids are formed. They are the main cause of acid rain.

To protect atmosphere from emissions of sulfur dioxide in world practice wet and semi-dry limestone technologies are used. The limestone technology application requires significant capital costs. Semi-dry technology application ensures reduction of capital costs, but causes an increase in operational costs in connection with need in energy consumption for limestone burning.

For the first time a size impact of unslaked lime particles on the efficiency of smoke fumes desulfuration using semi-dry technology is proved. Based on the analysis of literary sources, optimal temperatures of limestone burning are determined. They ensure maximum sorption effect at subsequent use of lime. An analytical dependence of the diameter impact of sorbent particles on the ratio of unabsorbed and absorbed sulfur dioxide concentrations is obtained.

GAS CLEANING, CLEANING EFFICIENCY, SULFUR DIOXIDE, SORBENT ACTIVITY, BURNING OF LIMESTONE PARTICLES, LIME

Сведения об авторах:

С. П. Высоцкий

SPIN-код: 7497-0100
Scopus Author ID: 7004891012
ORCID ID: 0000-0002-2988-7245
Телефон: +38 (071) 391-35-97
Эл. почта: sp.vysotsky@gmail.com

А. Г. Подолянюк

Телефон: +38 (071) 314-30-88
Эл. почта: anastaiisha1@mail.ru

Статья поступила 06.06.2018

© С. П. Высоцкий, А. Г. Подолянюк, 2018

Рецензент: А. П. Карпинец, канд. хим. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»