



ООО «ДЕМЗ-Инжиниринг»  
20В, пр. Ленина  
Запорожье, Украина  
Тел./факс: 061-224-4207

**ПЫЛЕГАЗООЧИСТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ПРИРОДООХРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОЕКТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ СЕРООЧИСТКИ**

**2010г.**



## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	2
2. Основные методы сероочистки из уходящих газов.....	3
3. Сравнительные характеристики и критерии выбора метода сероочистки.....	6
4. Описание классического полусухого метода сероочистки.....	9
5. Описание инвестиционно привлекательного полусухого метода сероочистки.....	10
6. Выводы.....	10



## 1. ВВЕДЕНИЕ.

Развитие современного общества неразрывно связано с развитием промышленности, которое создает как возможности, так и опасности. С другой стороны, постоянно возрастает важность защиты окружающей среды и природопользования.

С целью уменьшения негативного влияния промышленности на окружающую среду и для обеспечения устойчивого развития общества были введены определенные ограничения на выбросы вредных веществ в окружающую среду, включающие максимальные уровни загрязнения, обращение с отходами, водными ресурсами и другими аспектами индустриального развития.

В Законе Украины «Про охорону атмосферного повітря» в редакциях 2001 и 2004г.г., определены максимальные уровни выбросов оксидов серы и азота для каждого энергогенерирующего предприятия и блока.

Внедрение современных технологий контроля выбросов вредных веществ в атмосферу позволяет с высокой степенью надежности обеспечить защиту окружающей среды от воздействия оксидов серы.

Современное состояние развития технологий сероочистки в тепловой энергетике достигнуто во многом благодаря научным и техническим разработкам ведущих мировых и Европейских компаний, задействованных в процессах, связанных со всем комплексом природоохранных мероприятий в тепловой энергетике: **FLS**, Дания, **Alstom Power**, Франция, **AE&E**, Австрия, **Siemens AG**, Германия, **RAFAKO SA**, Польша и многих других.

Были определены основные технологии сероочистки:

- технология сжигания топлива «в кипящем слое»,
- модернизация котельного оборудования,
- удаление серных и азотнокислых соединений из уходящих газов.



## 2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ СЕРООЧИСТКИ ИЗ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Существующие основные методы сероочистки из уходящих газов в теплоэнергетике могут в принципе удовлетворить требования любого заказчика. Методы классифицируются как по виду сорбента, так и по месту проведения реакции, а также по типу конечного продукта.

	Вид сорбента	Конечный продукт	Место проведения реакции
Сухой метод	Сухая	Сухой	В котле
Полусухой метод	Мокрая или сухая	Сухой	Вне котла
Мокрый метод	Мокрая	Жидкий	Вне котла

**2.1** Сухой метод представлен на Рис. 1. Сорбент вносится в топку котла пропорционально топливу и воздействует на уходящие газы при соответствующей температуре.

Такой метод является наиболее простым, однако при этом методе надо вносить порошкообразный сорбент (карбонат кальция, оксид кальция, гидроксид кальция) распылением непосредственно в камеру сгорания. Степень очистки от диоксида серы

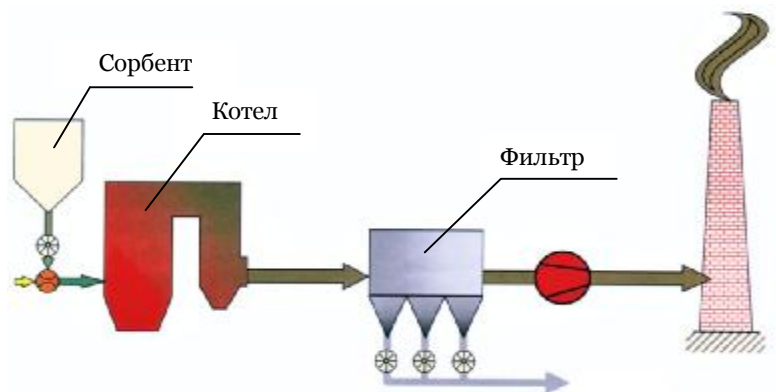


Рис. 1

достигает 50...75%. Твердые частицы отделяются на фильтрах вместе с пылью. В настоящее время метод применяется редко.

**2.2** Полусухой метод сероочистки имеет несколько разновидностей:

- комбинация сухого метода с внесением сорбента в топку котла и распылением воды внизу по потоку уходящих газов при соответствующей температуре (Рис. 2);
- полусухой метод, состоящий из контакта уходящего газа с сорбентом и циркулирующим реагентом в реакторе, оборудованном атомайзером;
- полусухой метод, состоящий из трех последующих операций: кондиционирование уходящего газа, контакт уходящего газа с сухим сорбентом и, наконец, циркуляция сорбента и уходящего газа в пневматическом реакторе.

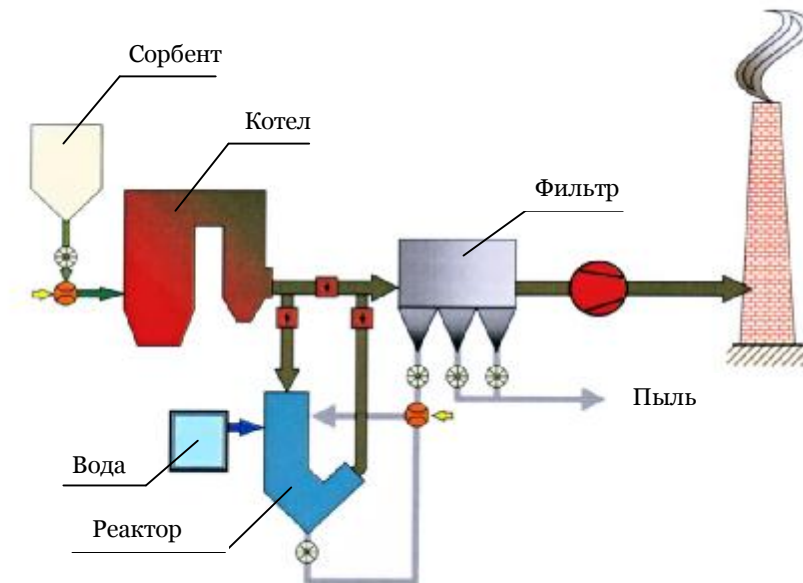


Рис. 2

2.3 Мокрый метод на сегодняшний день наиболее популярен для ТЭС для блоков с мощностью более 350МВт. Однако этот метод требует больших инвестиций и занимает большие площади.

На Рис. 3 показано оборудование сероочистки, работающее мокрым способом, установленное на ТЭС в г.Бельчатов, Польша.



Рис. 3



### 3. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КРИТЕРИИ ВЫБОРА МЕТОДА СЕРООЧИСТКИ

При выборе метода сероочистки заказчик и разработчик руководствуются следующими критериями:

- допустимое количество выбросов;
- содержание серы в топливе;
- количество рабочих часов котла в течение всего года;
- доступность абсорбента;
- способ использования продукта сероочистки
- операционные расходы;
- инвестиционные затраты.

Исходя из этих положений, следует, что для украинских ТЭС с мощностью до **200 МВт**, применимы два основных метода:

**3.1** Полусухой метод с эффективностью **50...95%**; сорбент подается к реактору (абсорберу) во взвешенном состоянии, условия процесса выбраны так, что продукт сероочистки удаляется в сухом виде. Этому методу соответствует:

- топливо с низким содержанием серы;
- периодическая работа котла;
- небольшое количество (**150.000...700.000** нм<sup>3</sup>/ч) уходящих газов;
- большие изменения газового потока;
- переменное содержание серы в топливе.

**3.2** Мокрый метод с эффективностью до **99%**; сорбент подается к реактору (абсорберу) во взвешенном состоянии, продукт сероочистки удаляется из системы в жидком состоянии и после соответствующей обработки (обезвоживания) может быть отобран в сыпучем виде. Этому методу соответствует:

- топливо с повышенным содержанием серы;
- непрерывная работа котла,
- большое количество (свыше **800.000** нм<sup>3</sup>/ч) уходящих газов;
- требование высокой степени сероочистки.

Схема мокрого метода сероочистки представлена на Рис. 4, где:

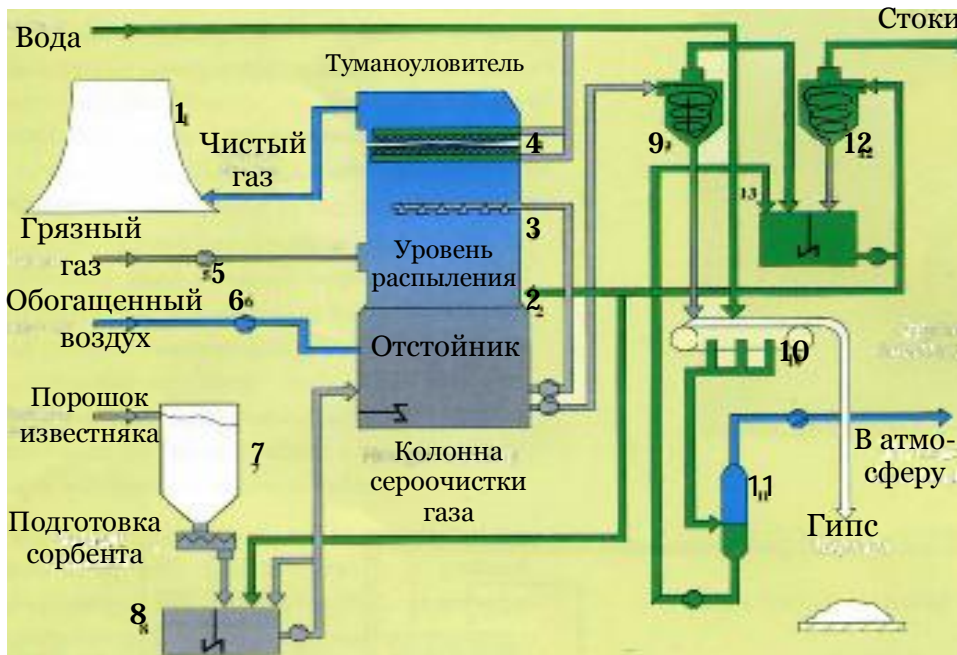


Рис. 4

1. Градирня;
2. Отстойник;
3. Распылитель;
4. Туманоуловитель;
5. Дымосос;
6. Воздушный насос;
7. Сорбент;
8. Сорбент-смеситель;
9. Гидроциклон для жидкого гипса;
10. Тканевый фильтр;
11. Бак для фильтрата;
12. Гидроциклон для стоков;
13. Бак для воды.

Мокрый метод сероочистки основан на промывании уходящих газов в водном растворе извести или известняка. Процесс промывки происходит в абсорбционной колонне, где происходит реакция получения сульфита кальция  $\text{CaSO}_3$ . Дополнительное обогащение кислородом приводит к образованию  $\text{CaSO}_4$ , который после осаждения с помощью промывки и сушки преобразуется в гипс ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ).

После предварительной подготовки в смесителе 8, водный раствор порошка известняка закачивается в колонну сероочистки (абсорбер). Специальная система циркулирующих насосов, трубопроводов и форсунок обеспечивает интенсивную промывку уходящих газов в колонне. Результаты процесса сероочистки напрямую зависят от интенсивности промывки уходящего газа раствором сорбента.

В процессе сероочистки происходит удаление не только соединений серы, но и других вредных веществ:  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$  и золы. Эти компоненты удаляются вместе в стоки в процессе осушения гипса. Затем они химически обрабатываются с целью осаждения тяжелых металлов.

Ввиду высокой производительности мокрого метода и простой утилизации отходов (гипса), мокрая сероочистка широко распространена на немецких, японских и американских тепловых электростанциях.



Эксплуатационные параметры полусухого и мокрого методов сероочистки показаны в Таблице 1.

Таблица 1.

Показатели параметров эксплуатации сероочистки	Полусухой метод	Мокрый метод
Температура уходящих газов на входе, Т °С	до <b>200</b>	без ограничений
Содержание SO <sub>2</sub> на входе	До <b>10</b>	без ограничений
Реагент	СаО	СаСО <sub>3</sub>
Расход реагента на 1 т SO <sub>2</sub>	<b>1.4...1.5</b> т	<b>1.7</b> т
Полупродукт сероочистки	Сыпучий продукт	<b>15%</b> водная суспензия
Конечный продукт сероочистки	Сыпучий продукт	<b>10%</b> водная суспензия
Температура уходящих газов на выходе, Т °С	<b>70...80</b>	То же
Относительная влажность уходящих газов, %	<b>60</b>	<b>100</b>
Потребление электроэнергии, % в продукте	<b>0.4...0.7</b>	<b>1.2...2.0%</b>

При выборе между полусухим и мокрым методами сероочистки также следует руководствоваться критериями, указанными в Таблице 2.

Таблица 2.

Показатели выбора метода сероочистки	Полусухой метод	Мокрый метод
Высокое содержание серы в углях, < <b>2.5%</b>		++
Среднее и низкое содержание серы в углях, > <b>2.5%</b>	++	+
Эффективность сероочистки	+	++
Время работы котла в год, ≈ <b>8.000</b> часов		+
Время работы котла в год, ≈ <b>4.000</b> часов	+	
Стоимость абсорбента	+	++
Метод переработки продукта сероочистки	+	++
Количество уходящего газа, < <b>800.000</b> нм <sup>3</sup> /ч	+	
Количество уходящего газа, > <b>800.000</b> нм <sup>3</sup> /ч		+
Эксплуатационные затраты	+	+
Инвестиционные затраты	+	





4. КЛАССИЧЕСКИЙ ПОЛУСУХОЙ МЕТОД СЕРООЧИСТКИ представляет собой комплекс узлов и оборудования (Рис. 4), включающий электростатический фильтр предварительной очистки уходящих газов, узел приготовления водного раствора сорбента, реактор, рукавный фильтр и узел подготовки конечного продукта.

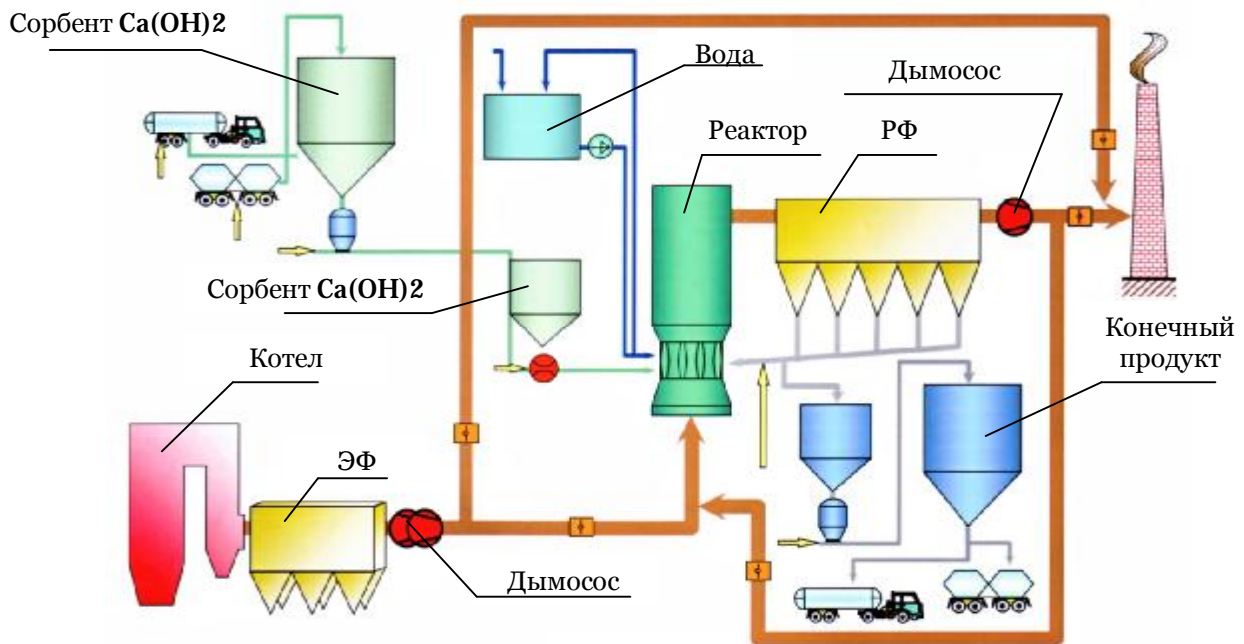
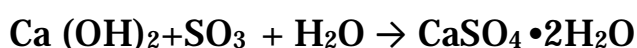
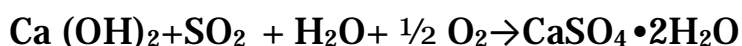


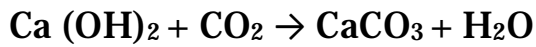
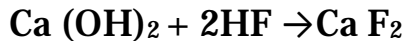
Рис.4

В этой сероочистке пневматический реактор объединен в одном корпусе с рукавным фильтром. Уходящие газы нагнетаются с помощью первого дымососа в реактор, затем в рукавный фильтр и, наконец, в дымовую трубу. Процесс сероочистки происходит в реакторе и в пылесборнике. Реактор содержит три зоны очистки уходящих газов:

- зона кондиционирования, где распыленная и испаренная вода снижает температуру уходящих газов и повышает их влажность;
- зона сероочистки, заполняемая циркулирующим из пылесборника сорбентом;
- зона сероочистки, в которой свежий сорбент соединяется с циркулирующим сорбентом.

В зоне сероочистки кислотные составляющие уходящих газов, реагируя с распыленным сорбентом, образуют неорганические соли. Реакции протекают по следующим формулам:





Твердые продукты реакции, такие как смесь золы, сульфаты кальция, сульфиты, хлориды, флюориты и карбонаты вместе с неотреагировавшей известью убираются из уходящих газов.

Фото данной сероочистки, установленной на ТЭС в Лодзи, Польша, представлено на Рис. 5. Метод может быть реализован на заводах со



Рис. 5

сжиганием топлива с высоким содержанием серы или угля и даже в муниципальных или промышленных заводах по сжиганию отходов. В случае, когда требуется эффективность сероочистки уходящих газов на уровне **60-80%**, или в случае очистки уходящих газов, производимых заводами по сжиганию отходов, процесс может осуществляться при температуре **90...120°C**. Устройство по очистке уходящих газов дает возможность достижения указанной эффективности

и поддержанию температуры уходящего газа на выходе на уровне температуры входящего газа, таким образом, обеспечивая безопасность операции без изменения уровня выбросов.

## 5. ИНВЕСТИЦИОННО ПРИВЛЕКАТЕЛЬНЫЙ ПОЛУСУХОЙ МЕТОД СЕРООЧИСТКИ.

Предлагаемый ниже компактный высокоэффективный метод с привлекательными инвестиционными затратами имеет следующие преимущества по сравнению с вышеописанным методом:

- низкая стоимость;
- меньшие затраты на техобслуживание;
- пониженное энергопотребление;
- компактная конструкция;
- не требует предварительного фильтра;
- возможность использования низкорекреационной извести.



Эффективность улавливания  $\text{SO}_2$  такого метода достигает **90...95%**, что аналогично вышеописанному полусухому методу с распылением жидкого реагента при одинаковой стехиометрии. Схема установки реализации данного метода представлена на Рис. 6. Установка позволяет

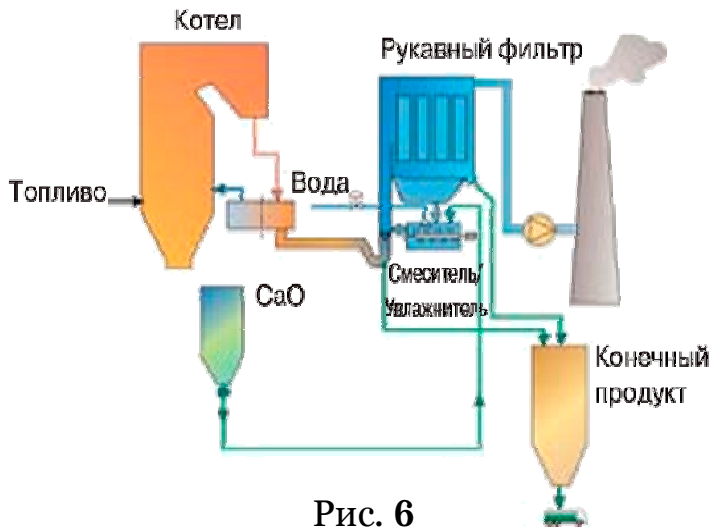


Рис. 6

осуществлять полный цикл сероочистки в габаритах обычного электро- или рукавного фильтра. При строительстве данных сероочисток предварительная очистка уходящих газов не требуется, а при реконструкции существующий фильтр можно конвертировать в данную установку сероочистки.

Установка сероочистки работает следующим образом:

- мелкая влажная пыль, эффективно распределяемая в горячих газах и состоящая из твердых частиц, обеспечивает резкое охлаждение газа и его увлажнение. Реактор интегрирован в подводящий газоход пылеуловителя, что сводит занимаемое им пространство к минимуму. Снижение объема составляет **80%** от объема традиционного абсорбера или реактора с кипящим слоем. При таком расположении реактора время протекания реакции и высыхания составляет менее **2** секунд.
- рукавный фильтр в сочетании с полусухой системой сероочистки в позволяет достичь наилучших результатов. Возможно использование электростатического фильтра. Реактор и фильтр составляют единую функциональную систему сероочистки. Охлажденные увлажненные уходящие газы обеспечивают отличную фильтрацию и условия для реакции, позволяющие использовать большинство типов топлива, обеспечивает крайне низкие выбросы твердых частиц (минимальное количество токсичных субмикронных частиц), а также дополнительного поглощения газообразных соединений ( $\text{SO}_2, \text{HCl}, \text{SO}_3, \text{HF}$ ) в пылевом слое.

Одним из самых важных элементов данной системы является смеситель-увлажнитель пыли (Рис.7). Уравновешенная влажность пыли, поступающей из пылеуловителя, увеличивается на несколько процентов

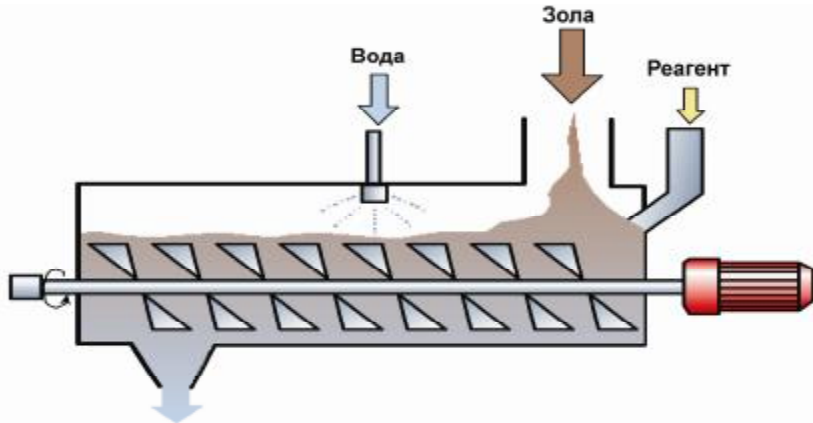


Рис. 7

В качестве сорбента (реагента) обычно выступает негашеная известь,  $\text{CaO}$ , которая гасится всухую до гидратной извести,  $\text{Ca(OH)}_2$ , реально взаимодействующей с  $\text{SO}_2$ . В случае, когда содержание твердых частиц в циркулирующем газе 95% и выше требуется высокая степень рециркуляции от 30 до 100 раз, гарантирующая эффективную утилизацию извести.

Реагент приготавливается в гидраторе и имеет на выходе высокоактивную сухую известь с пористой структурой. Известь непрерывно подается непосредственно в область смесителя.

Большинство частиц реагента взаимодействуют с кислотными компонентами газа и испаряют избыточную влагу в момент прохождения вертикального газохода-реактора (Рис. 8) и в течение времени пребывания внутри пылеуловителя. Вследствие естественной влажности воздуха небольшое количество влаги остается абсорбированной в порошке. Из бункера пылеуловителя пыль поступает в смеситель-увлажнитель.

Влажный реагент, состоящий из

небольшого количества свежей извести, и намного большего количества циркулирующей щелочной золы и продуктов реакции, однородно

путем добавления воды непосредственно в поток пыли. Влажные твердые частицы, попадая в смеситель, начинают вести себя как текучая нелипкая масса, равномерно распределяемая в дымовых газах для эффективной абсорбции кислотных компонентов.

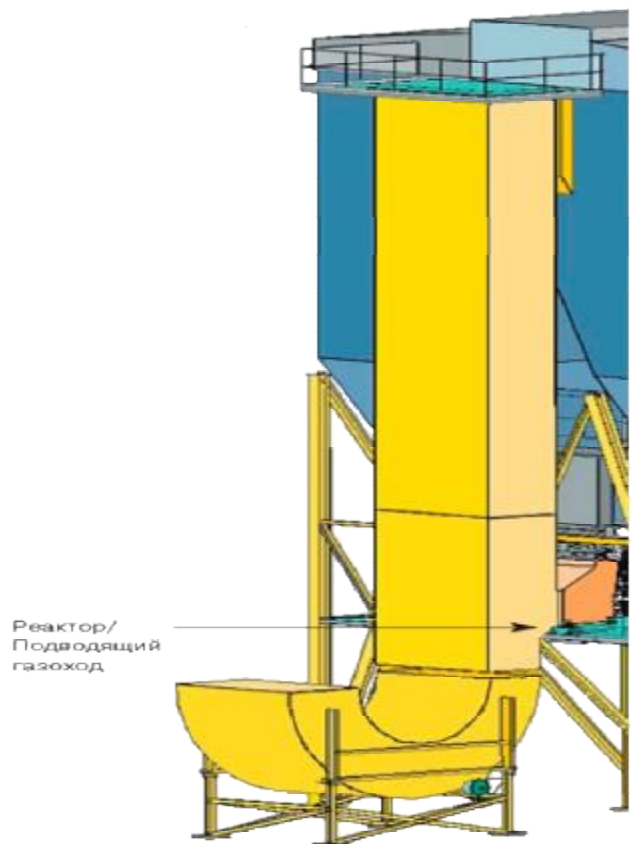


Рис. 8



увлажняется до содержания влаги в несколько процентов в смесителе-увлажнителе. Свежая известь, в зависимости от кислотности газов, непрерывно добавляется в увлажнитель. Процесс увлажнения контролируется температурой уходящих газов за пылеуловителем, которая составляет обычно  $70^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности в 40% для угольных тепловых электростанций.

На графике (Рис.9) можно увидеть отличия между предлагаемой технологиями очистки и традиционной. В то время как содержание твердых веществ в суспензии должно быть ограничено на уровне 30...40%, при использовании новой технологии эта величина составляет 95% и более. Таким образом, исчезают возможные проблемы при транспортировке вязкого и липкого порошка. Данная технология использует сыпучий и легко распыляемый активированный реагент для обработки кислотных газов.

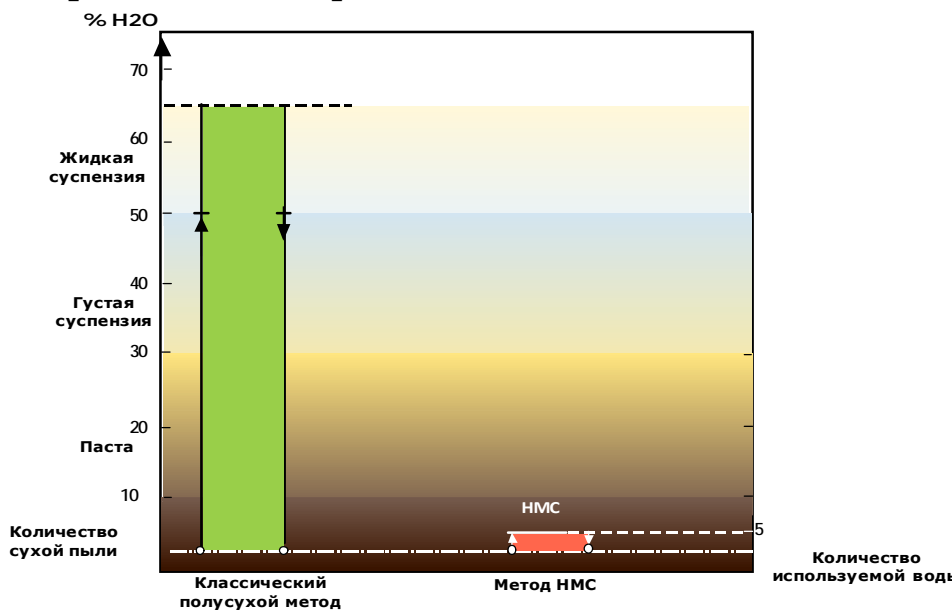


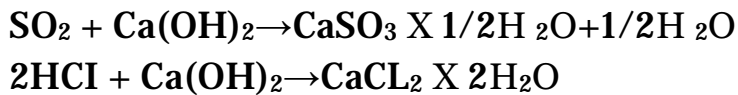
Рис. 9

При протекании реакции между кислотными газами и кальциевыми щелочами в абсолютно сухих условиях температура протекания реакции многократно повышается: в случае с  $\text{SO}_2$  и кальциевым реагентом она может достигать нескольких

тысяч градусов по Цельсию. Для поддержания высокой эффективности очистки реакция должна протекать при значительном доступе щелочного реагента, с стехиометрическим коэффициентом (Ca/S) два и более. В результате взаимодействия кислотных соединений  $\text{SO}_2$  и  $\text{HCl}$  с известью образуются сульфитные и хлоридные соли. В обоих случаях гидроксид кальция или гидратная известь,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , намного активнее, чем оксид кальция,  $\text{CaO}$ . Присутствие хлоридов при абсорбции способствует протеканию реакции  $\text{SO}_2$  с ионами кальция. Наиболее важным фактором при реакции  $\text{SO}_2$  является влажность, а так же



наличие влаги как в виде воды для переноса реагента - извести, так и в виде суспензии на вторично использованном реагенте. В основе процесса очистки лежат следующие реакции:



В дополнение к этому, сульфит в некоторой мере окисляется до сульфата, гидроксид откоксовывается и образуется сложная соль ( $\text{CaOHCl}$ ).

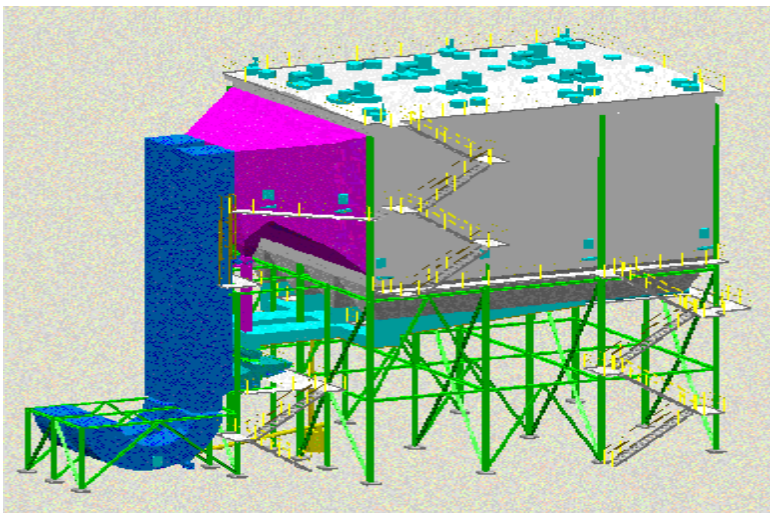


Рис. 10

Предлагаемая система сероочистки удобна для реконструкции, т.к. занимает минимум дополнительной площади. Процесс сероочистки может быть реализован даже в пределах существующей площадки для пылеуловителя (Рис. 10). Существующие электро-фильтры могут быть

использованы в такой системе или заменяться на рукавные фильтры. Гидратор, увлажнитель, транспортер золы и т.д. могут размещаться под бункером для сбора пыли. Важным является наличие пространства для входного газохода, в то время как бункер для извести и бункер для уловленного продукта могут быть расположены в стороне от газохода. Может быть также использована существующая дымовая труба. Подогрев не требуется.

Когда в качестве основного фильтра в данной системе сероочистки используется рукавный фильтр, он имеет следующие преимущества по сравнению с ЭФ:

- меньшие капитальные затраты
- меньше площадка для установки
- высокая степень очистки



- высокая степень очистки от  $\text{SO}_2$  при сохранении пропорции  $\text{Ca/S}$  вследствие вторичной абсорбции  $\text{SO}_2$  на сформированном слое на поверхности фильтра.

Для транспортировки может быть использован как механический, так и пневматический тип конвейера, вследствие низкого содержания воды в составе уловленного продукта. Уловленный продукт может быть помещен в бункер, нелогичный по конструкции используемому в традиционных полусухих системах.

Свойства конечного сухого продукта позволяют использовать его для отсыпки грунта, а так же для следующих типов применения:

- засыпка шахт
- щелочное удобрение
- изолирующий материал
- полотно для строительства дорог
- строительные материалы

Конечный продукт представляет собой летучую пыль, которая затвердевает при добавлении воды и образует смесь пыли и кальциевых соединений, которые химически связывают хлорные соединения и тяжелые металлы.

## 6. ВЫВОДЫ

Существующее разнообразие методов сероочистки позволяет потребителю (заказчику) выбрать наиболее приемлемый для него способ.

Предлагаемый здесь инновационный метод особенно подходит в случае:

- необходимости сероочистки уходящих газов от малых и средних котлов;
- при сжигании основных типов украинских энергетических углей;
- при сжигании углей с изменяющимся содержанием серы;
- при необходимости изменения нагрузки на котлы;
- при необходимости организации процесса сероочистки от нескольких котлов.