

## ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ОТ ВЫБРОСОВ ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ

### 1.3. Снижение выбросов оксидов серы

#### 1.3.2. Технологии снижения выбросов оксидов серы

Шмиголь И.Н., ОАО «ВТИ»

##### Краткое описание технологий и установок сероочистки

Для удаления диоксида серы из дымовых газов предложено более 400 способов, основанных на различных химических и физических принципах:

- химическое связывание с образованием регенерируемых и нерегенерируемых отходов;
- селективная сорбция твердыми веществами (активированным углем, цеолитами, смолами) с последующей регенерацией сорбентов;
- селективная жидкофазная сорбция специальными органическими жидкостями;
- конверсия диоксида серы в триоксид в газовой фазе с помощью катализаторов или специальных электрических разрядов;
- жидкофазное каталитическое восстановление диоксида серы до элементарной серы.

В практической деятельности применяются около 20

способов, обеспечивающих удаление SO<sub>2</sub> с приемлемыми техническими и экономическими показателями. Наиболее часто в мировой практике сероочистки дымовых газов применяются технологии с использованием кальцита и извести: мокрая известняковая; мокрая известковая; мокро-сухая известковая; сухая известняковая.

По этим технологиям сооружены установки более чем на 400 промышленных энергетических котлах преимущественно большой мощности, несмотря на большое количество образующихся отходов при сероочистке.

Возможна различная классификация технологий сероочистки. В мировом сообществе приняты следующие основные классификации технологий сероочистки: по агрегатному состоянию вводимых реагентов и образующихся отходов и по кратности использования реагентов, которые приведены в табл. 1.16 и 1.17.

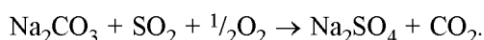
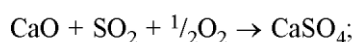
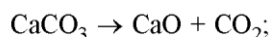
Таблица 1.16. Классификация технологий сероочистки по агрегатному состоянию вводимых реагентов и образующихся отходов

Сухие технологии	Мокро-сухие технологии	Мокрые технологии
Сухая известняковая Сухая известковая Сухая содовая	Упрощенная мокро-сухая (технология E-SO <sub>x</sub> ) С полым абсорбером-сушилкой С циркулирующей инертной массой	Аммиачно-циклическая Магнетитовая циклическая С использованием скрубберов Вентури Мокрая известняковая Мокрая известковая Аммиачно-сульфатная (АСТ) Натрий-сульфит-бисульфитная (двойная щелочная)

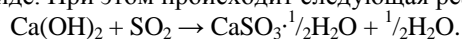
Таблица 1.17. Классификация установок сероочистки по кратности использования реагентов

Кратность использования реагента	Эффективность сероочистки, %	Агрегатное состояние реагентов и отходов	Длительность в течение рабочей кампании котла	Совмещение с котлом или другим оборудованием котельной установки
Однократное (нерегенеративные технологии)	Низкая, менее 35	Сухие (реагенты и отходы в сухом виде)	Периодическая (сезонная) работа	Совмещенные с котлом
		Мокро-сухие (реагенты в жидком виде, отходы в сухом виде)		Совмещенные с золоуловителем
Многократное (регенеративные технологии)	Средняя, 35...70	Мокрые (реагент и отходы в виде суспензии или раствора)	Постоянная работа	Специальные аппараты
				Высокая, более 70

**Сухие технологии сероочистки.** Это технологии, при которых реагенты в сухом виде вводят в топочную камеру котла, в конвективную шахту котла или в газоход уходящих дымовых газов. При этом происходят следующие реакции:



**Мокро-сухие технологии сероочистки.** Технология сероочистки называется мокро-сухой, если реагент вводится в дымовые газы в виде тонко диспергированных капель водной суспензии или водного раствора, которые испаряются в дымовых газах, в результате чего на выходе из абсорбера прореагировавшее вещество получается в сухом виде. При этом происходит следующая реакция:

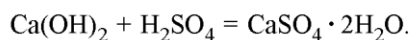
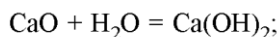
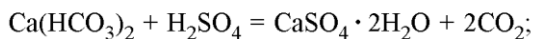
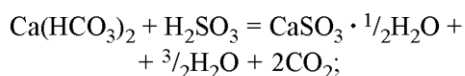
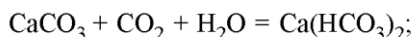
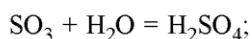
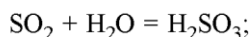


Ввод реагента в жидком виде ускоряет процесс сорбции SO<sub>2</sub>, поскольку в воде и реагент, и диоксид серы присутствуют в ионной форме, что ускоряет их взаимодействие по сравнению с сухими технологиями и снижает избыток реагента по отношению к SO<sub>2</sub>.

В мокро-сухой технологии важно так подобрать размер капель водной суспензии или водного раствора реагента в зависимости от температуры газов и требуемой эффективности сероочистки, чтобы обеспечить необходимое связывание диоксида серы до испарения капель, когда процесс сорбции практически прекращается.

**Мокрые технологии сероочистки.** В мокрых технологиях сероочистки дымовые газы интенсивно промывают водной суспензией или водным раствором, что обеспечивает диссоциацию реагента на ионы. При промывке газов улавливаемый диоксид серы растворяется в воде и также переходит в ионную форму SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Это мак-

симально ускоряет его связывание реагентом. Применяются как регенеративные, так и нерегенеративные мокрые технологии. При этом происходят следующие реакции:



Количество орошающей воды, содержащей реагент, обычно велико, так что теплом дымовых газов можно

испарить только не более 0,5 % воды. При этом дымовые газы сильно охлаждаются вплоть до температуры мокрого термометра (точки росы по водяному пару). Это является причиной того, что в мокрых технологиях очищенные дымовые газы всегда дополнительно нагревают, чтобы избежать коррозии последующего газового тракта, включая дымососы и дымовую трубу.

#### **Основные технические и экономические показатели установок сероочистки**

Техническими показателями установок сероочистки являются:

- расход очищаемых дымовых газов ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ );
- эффективность сероочистки, фактическая и достижимая (%);
- удельный выброс диоксида серы с очищенными газами ( $\text{г}/\text{МДж}$ ) [концентрация  $\text{SO}_2$  в очищенных газах ( $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $\text{мг}/\text{м}^3$ ; ppm)];
- реагент, его токсичность;
- избыток реагента по отношению к стехиомет-

рическому соотношению реагент/ $\text{SO}_2$ ;

- гидравлическое сопротивление газового тракта установки (Па,  $\text{кгс}/\text{м}^2$ );
- удельный расход реагента, отнесенный к  $1 \text{ м}^3$  очищаемых газов при нормальных условиях:  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $760 \text{ мм рт. ст.}$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\text{л}/\text{м}^3$ );
- температура очищаемых дымовых газов ( $^\circ\text{C}$ );
- температура очищенных дымовых газов после установки и перед дымососом (дымовой трубой) ( $^\circ\text{C}$ );
- абсолютные и удельные расходы вспомогательных рабочих сред — воды, воздуха, пара ( $\text{кг}/\text{ч}$ ,  $\text{кг}/\text{с}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\text{кг}/1000 \text{ м}^3$ );
- запыленность очищаемых и очищенных дымовых газов ( $\text{г}/\text{м}^3$ ,  $\text{мг}/\text{м}^3$ );
- число часов работы установки в год;
- время выхода установки на стабильный режим работы (ч);
- возможность работы при изменении нагрузки котла (диапазон изменения расхода очищаемых дымовых газов).

Экономические показатели установок сероочистки включают в себя:

- удельные капитальные вложения в установку ( $\text{руб}/\text{кВт}$ );
- удельные эксплуатационные затраты ( $\text{коп}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ );
- стоимость улавливания диоксида серы ( $\text{руб}/\text{т}$ );
- удельное энергопотребление (% мощности энергоблока или эквивалентной мощности котла);
- удельная стоимость отходов или товарных продуктов сероочистки ( $\text{руб}/\text{т}$ );
- удельная площадь для размещения оборудования в ячейке энергоблока или котла и на генеральном плане ( $\text{м}^2/\text{кВт}$ ).

Далее приведено краткое описание основных технологий сероочистки.