

З. Егорина А.В. Климат Юго-Западного Алтая. – Усть-Каменогорск, 2003. – 239 с.

Получено 17.03.11

УДК 502.3

**В.В. Запасный, Н.М. Мехнина, Д.А. Асанов, С.В. Галкин**  
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА СЕРЫ С ДЫМОВЫМИ ГАЗАМИ  
ОТ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

В промышленных населенных пунктах одним из основных загрязнителей атмосферы является диоксид серы, выбрасываемый предприятиями теплоэнергетики и металлургическими заводами.

Диоксид серы (Sulphur Dioxide, E220) – бесцветный газ с раздражающим запахом, токсичен. Предельно допустимая концентрация (ПДК) в атмосфере населенных мест: максимально-разовая ПДК<sub>м.р.</sub> = 0,5 мг/м<sup>3</sup>, среднесуточная ПДК<sub>с.с.</sub> = 0,05 мг/м<sup>3</sup>.

Существующие методы очистки газов от диоксида серы (SO<sub>2</sub>) разнообразны. Выбор оптимального для конкретных условий зависит от концентрации SO<sub>2</sub> в очищаемых газах, их температуры, влажности, наличия других примесей. При выборе метода необходимо также учитывать масштабы производства, наличие местного сырья для приготовления поглотительных растворов, возможность реализации получаемых при очистке продуктов.

Ниже рассмотрены примеры разработки и использования различных способов нейтрализации диоксида серы в дымовых газах различных производств.

*Магнезитовый метод очистки.* Впервые решение проблемы по снижению выбросов диоксида серы в атмосферу тепловыми электростанциями было начато в бывшем СССР в конце тридцатых годов XX века. На Каширской ГРЭС была сооружена пилотная установка производительностью по газу 5000 м<sup>3</sup>/ч. На установке отрабатывали магнезитовый метод очистки.

Сущность магнезитового метода состоит в поглощении SO<sub>2</sub> водной суспензией окиси магния. Расход магнезита незначительный.

*Достоинства:*

- Высокая степень очистки (90-92 %).
- Возможность утилизации.

*Недостатки:*

- Большие энергетические затраты.
- Громоздкость технологического оборудования.

*Аммиачно-циклический метод.* В послевоенный период на ТЭЦ-12 Мосэнерго была изготовлена сероулавливающая установка производительностью по газу 200 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Она эксплуатировалась на высокосернистом угле Подмосковного бассейна. Очистка дымовых газов осуществлялась аммиачно-циклическим методом. Отличительной особенностью установки являлось охлаждение дымовых газов ниже точки росы (до 32 °C). Конденсат, в котором растворялась двуокись серы, нейтрализовался известью и сбрасывался в реку Москву. В процессе абсорбции в газовой фазе образовывались твердые частички сульфита аммония, которые улавливались в мокром электрофильтре. Отработанный поглотительный раствор нагревался в отгонной колонне, десорбированная двуокись серы осушалась, сжижалась, после чего отгружалась на химический комбинат для производст-

ва серной кислоты.

Учитывая наработанный опыт, в конце прошлого столетия была построена промышленная аммиачно-циклическая сероулавливающая установка для получения жидкой двуокиси серы на Дорогобужской ТЭЦ производительностью по очищаемому газу 500 тыс. м<sup>3</sup>/ч. ТЭЦ работала на высокосернистом угле Подмосковного бассейна. Концентрация двуокиси серы в дымовых газах составляла около 12 г/м<sup>3</sup>(н.у.).

Установка была построена в двух вариантах: с охлаждением очищаемых газов до температуры 32 °С путём конденсации и без охлаждения. Вариант с охлаждением газа был прототипом установки, которая работала на ТЭЦ-12.

При первых пусках установки с охлаждением газа возникли проблемы. Охлаждающая вода поглощала двуокись серы, которую нейтрализовали известью. После нейтрализации воду направляли в градирню для охлаждения и возврата её в первую ступень абсорбера. В результате испарения части воды в градирне происходило перенасыщение ее солями кальция, что вызвало интенсивное зарастание оборудования и трубопроводов.

На установке без охлаждения газа предусматривалось получение сульфата аммония. Полученный раствор сульфата выпаривался. Кристаллы сульфата аммония отделялись на фильтрующей центрифуге, сушились и продавались как товарный продукт, используемый в сельском хозяйстве.

*Достоинства:*

- Простота оборудования.
- Экономическая целесообразность.

*Недостатки:*

- Низкая эффективность очистки (75...79 %).
- Необходимость очистки газов перед выбросом в атмосферу от твердых частиц сульфита аммония.
- При нарушении технологического режима возможно отложение трудно удаляемых кристаллов солей на оборудовании и в трубопроводах.

*Мокрый известняковый метод.* В шестидесятые годы XX века была построена крупная сероулавливающая установка на Магнитогорском металлургическом комбинате производительностью по газу 3,5 млн м<sup>3</sup>/ч. Отходящие газы от агломерационных машин поступали на несколько полых форсуночных абсорбёров, орошаемых суспензией известняка. Очищенные газы выбрасывались в атмосферу через дымовую трубу без подогрева. Отработанную суспензию сбрасывают в котлован. За более чем сорокалетнюю эксплуатацию установки технология очистки не претерпела изменений.

В 1993 г. по инициативе Минэнерго ССР был создан консорциум с участием Германской фирмы «SHL» по строительству сероулавливающей установки на Рязанской ГРЭС для блока 300 МВт, работающей на высокосернистом угле Подмосковного бассейна.

Для очистки дымовых газов была принята мокрая известняковая технология с получением в качестве продукта утилизации гипса. Установка включала следующее оборудование:

- Абсорбер – скруббер с двумя ступенями контакта фаз (прямоточная и противоточная) с форсуночным орошением. Внутренняя поверхность абсорбера защищалась от коррозионного воздействия среды путем покрытия листами резины. На выходе очищенного газа из абсорбера размещался брызголовитель. В средней части размещались трубопроводы с форсунками для разбрзгивания суспензии. Для поддержания твердых частиц во взвешенном состоянии в период остановок были установлены консольные мешалки. Для принудительного окисления сульфита кальция в сульфат подавался сжатый воздух от компрессора.

- Циркуляционные насосы производительностью 2500 м<sup>3</sup>/ч.
- Ленточный вакуум-фильтр для отделения твердой фазы сульфата кальция и промывки водой осадка от растворенного хлористого кальция.
- Выпарные аппараты для упарки раствора хлористого кальция для захоронения.
- Емкости с перемешивающими устройствами различных объемов.

Очищенный газ перед выбросом в дымовую трубу подогревался в паровом трубчатом теплообменнике. Полученный двухводный сульфат кальция отправлялся на завод по получению гипсовяжущих материалов. Степень очистки от диоксида серы составляла около 200 мг / м<sup>3</sup>(н.у.).

*Достоинства:*

- Доступность сорбента, - широко распространённого природного известняка.
- Простота технологической схемы.
- Получаемый продукт утилизации двуокиси серы – двухводный сульфат кальция, является сырьем в производстве вяжущего строительного материала гипса, а при отсутствии потребителя его можно сбрасывать вместе с золой на золоотвал, не загрязняя грунтовые воды и способствуя герметизации днища хранилища.
- Использование оборотной воды.

*Недостатки:*

Возможность кристаллизации солей кальция на поверхностях оборудования и в трубопроводах. Однако эта проблема решается путем снижения pH супензии с увеличением плотности орошения. Удельная плотность орошения в зависимости от количества улавливаемой двуокиси серы может колебаться от 3 до 20 литров супензии на один м<sup>3</sup> газа. При этих параметрах зарастание не происходит.

*Сравнительные комплексные испытания.* В семидесятые годы XX века на Северодонецкой ТЭЦ (Украина) была построена опытно-промышленная сероулавливающая установка производительностью по очищаемому газу 30 тыс. м<sup>3</sup>/ч, работающая на высокосернистом Донецком угле.

На установке были проведены испытания различных абсорберов: аппарат распыливающего типа, горизонтальная труба Вентури, аппарат с шаровой насадкой и полый форсуночный абсорбер.

В качестве сорбента использовались известняк, обожженный магнезит и кальцинированная сода. На основании полученных результатов было проведено технико-экономическое сравнение. Установлено, что использование обожженного магнезита и полого форсуночного абсорбера является по технико-экономическим показателям целесообразнее.

*Достоинства:*

- Высокая степень очистки газов (90...95 %).
- Возможность утилизации полученных продуктов.
- Определен температурный режим образования кристаллогидратов сульфита магния шестиводных и трехводных.

*Недостатки:*

- Большие энергетические затраты.
- Громоздкость технологического оборудования.

*Озонно-аммиачный метод.* В восьмидесятых годах XX века на Молдавской ГРЭС, работавшей на сернистом угле, была сооружена опытная установка по одновременной очистке дымовых газов от диоксидов серы и азота озонным способом.

Производительность по газу составляла 10 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Очистка газов осуществлялась в абсорберах двух типов: трёхступенчатая труба Вентури и насадочный скруббер.

В качестве абсорбента использовался аммиак. Экспериментально было установлено, что при вводе озона в газоход окись азота окислялась до двуокиси азота, а двуокись серы не окислялась. Поступая в абсорбер, орошающий водным раствором аммиака, оксиды азота и серы поглощались раствором с образованием аммонийных солей сульфита и нитрата аммония. Нитрит аммония частично восстанавливается до молекулярного азота, окисляя сульфит аммония до сульфата.

*Достоинства:*

- Высокая эффективность очистки газов (93...97 %).

*Недостатки:*

- Высокие энергозатраты.

*Метод двойного контактирования.* На давно действующих в странах СНГ заводах цветной металлургии при производстве серной кислоты в основном применяют метод двойного контактирования с промежуточной абсорбцией. Этот метод позволяет достичь общей степени контактирования 99,5...99,7 % при концентрации диоксида серы в отходящих газах не выше 0,03 %.

На контактирование газ поступает из сушильного отделения при температуре 60 °C. Поэтому перед подачей в контактный аппарат первой стадии контактирования его предварительно нагревают в двух теплообменниках до температуры 420 °C. После прохождения через контактный аппарат газ охлаждают в теплообменнике и направляют на промежуточную абсорбцию для извлечения диоксида серы. На выходе из абсорбера газ очищают от брызг и тумана серной кислоты в волокнистом фильтре или электрофильтре, нагревают в теплообменниках и затем подают в контактный аппарат на вторую стадию контактирования. Затем газ охлаждают в теплообменнике и подают во второй абсорбер, из которого выбрасывают в атмосферу. Оба абсорбера орошаются концентрированной (98,3...98,7 %) серной кислотой. Плотность орошения составляет 10...15  $m^3/(m^2 \cdot ч)$ .

На первой стадии контактирования степень превращения диоксида серы в серный ангидрит составляет около 90 %, т.е. основное количество серного ангидрида абсорбируется в первом абсорбере. Однако основные размеры и характеристики абсорбиров (диаметр, поверхность насадки) принимают одинаковыми, так как скорость поглощения серного ангидрида во втором абсорбере должна быть меньше из-за более низкой концентрации его в газе.

Практикой установлено, что автотермичность метода двойного контактирования обеспечивается при переработке газов, содержащих 6...12 % диоксида серы. При использовании метода двойного контактирования не удается перерабатывать газы с низким содержанием сернистого ангидрида.

*Установка «Хальдор-Tонсе».* В 2004 г. с целью снижения выбросов диоксида серы в атмосферу на Усть-Каменогорском металлургическом комплексе (УКМК) ТОО «Казцинк» по новейшей в мире технологии построена установка Хальдор-Тонсе для утилизации слабосернистых газов, которые на протяжении 50 лет выводились через высокую трубу в атмосферу, поскольку отсутствовала технология по их переработке. До ее запуска содержание диоксида серы в атмосфере города составляло 1,8 ПДК, после запуска установки - 1 ПДК. В результате внедрения установки Хальдор-Тонсе на УКМК ТОО «Казцинк» выбросы диоксида серы в атмосферу города Усть-Каменогорска снизились на 31 тыс. т/год. На реализацию установки затрачено 4,9 млрд тенге.

*Проект «Новая Металлургия».* Дальнейшее снижение выбросов диоксида серы на УКМК ТОО «Казцинк» связано с внедрением проекта «Новая металлургия» при строительстве нового сернокислотного цеха с установкой «Лавалин» канадского производства.

Предусматривается применение на медном заводе передовых методов по утилизации слабосернистых технологических газов, образующихся в процессе обжига медных концентратов в печи ISASMELT.

Технологические газы печи ISASMELT, после очистки их от основного количества пыли в сухих электрофильтрах, в количестве 150 000 м<sup>3</sup>(н.у.)/ч, с температурой 340...350 °C, направляются в промывное отделение, которое состоит из первой и второй промывных башен, двух скруббер-электрофильтров первой ступени очистки и двух скруббер-электрофильтров второй ступени очистки, установленных последовательно.

Во всех агрегатах в качестве промывочной жидкости используется серная кислота различной концентрации и принцип противотока, т.е. подача газа производится снизу, а жидкости – сверху.

Первые промывные башни предназначены для охлаждения газа, очистки его от пыли и частичной очистки от вредных примесей. Башни – полые, орошается серной кислотой концентрацией 30...50 % с температурой 40...50 °C, подаваемой насосами. При соприкосновении с серной кислотой, имеющей более низкую температуру, примеси, находящиеся в газообразном и парообразном состоянии, растворяются в серной кислоте. Концентрация серной кислоты, орошающей первую промывную башню, не должна превышать 50 %, т.к. при повышении концентрации кислоты ухудшается растворимость в ней четырехфтористого кремния, являющегося вредной примесью.

Газ в башне охлаждается кислотой до температуры 70...90 °C. Вытекающая из первой промывной башни серная кислота поступает самотеком в шламоотстойник, освобождается от взвешенных частиц, направляется в сборник, откуда насосом вновь подается на орошение первой промывной башни. Для дополнительного охлаждения кислоты на втором участке установлены погружные холодильники, которые включены в процесс между шламоотстойником и сборником кислоты.

Шлам, по мере накопления его в оборудовании, выводится,нейтрализуется и отправляется в химико-металлургическое отделение для извлечения ртути и редких металлов. Серная кислота из цикла орошения первой промывной башни, по мере увеличения концентрации ее до 50 %, периодически выводится на склад кислоты.

Из первой промывной башни газ с температурой 70...90 °C поступает во вторую промывную башню, где происходит дальнейшее его охлаждение до 40...45 °C, укрупнение капель тумана серной кислоты и улавливание вредных примесей.

Вторая промывная башня орошается серной кислотой концентрацией 20-25 %. Башня имеет насадку в виде керамических колец «Рашига» для увеличения площади контакта газа с орошающей кислотой. Кислота из башни направляется самотеком в погружной холодильник, а затем – в сборник кислоты, откуда насосами через кожухотрубный холодильник вновь подается на орошение. Избыток кислоты из цикла орошения второй промывной башни подается в цикл орошения первой промывной башни. После второй промывной башни газ направляется через общий коллектор в два скруббера-электрофильтра первой и два – второй ступени очистки.

Скруббер-электрофильтр состоит из двух частей: нижней – орошающей кислотой и верхней – электрической. Нижняя часть скруббер-электрофильтра загружена керамическими кольцами «Рашига» и орошается серной кислотой, подаваемой центробежными насосами. В этой части скруббер-электрофильтра происходит охлаждение газа, его увлажнение для того, чтобы достичь укрупнения капель тумана серной кислоты и более эффективного улавливания тумана серной кислоты в верхней (электрической) части агрегата.

Электрическая часть скруббер-электрофильтра состоит из осадительных электродов (в виде свинцовых пластин) и коронирующих электродов (в виде свинцовой проволоки). Эта часть агрегата предназначена для улавливания из газа тумана серной кислоты с растворенными в ней примесями. Капли тумана при прохождении через электрическое поле заряжаются ионами, и под воздействием того же поля движутся к осадительным электродам, где отдают им свой заряд и осаждаются, превращаясь в жидкость.

Серная кислота, орошающая скруббер-электрофильтры первой ступени очистки, имеет концентрацию 10...15 %. Кислота из скруббера-электрофильтра направляется самотеком в погружной холодильник, а затем – в сборник, и насосом через кожухотрубный холодильник подается вновь на орошение. Избыток кислоты из цикла орошения скруббер-электрофильтров первой ступени очистки направляется в цикл орошения вторых промывных башен.

После скруббер-электрофильтров первой ступени очистки газ с температурой 35...40 °C направляется в скруббер-электрофильтры второй ступени очистки для дальнейшего его охлаждения и очистки от тумана серной кислоты с растворенными в нем примесями. Концентрация кислоты в скруббер-электрофильтрах второй ступени очистки составляет 1...5 %.

Избыток кислоты из цикла орошения скруббер-электрофильтров второй ступени очистки подается в цикл орошения скруббер-электрофильтров первой ступени очистки, а во вторую ступень при необходимости подается вода.

Газ, после очистки его в промывной системе, с содержанием тумана не более 5 мг/м<sup>3</sup>(н.у.) и температурой 32...42 °C, поступает в сушильно-абсорбционную систему.

Осушка газа производится в сушильной башне с целью предупреждения туманообразования при абсорбции триоксида серы, а также ликвидации вредного воздействия паров воды в смеси с серосодержащим газом на катализатор и аппаратуру цеха. Здесь поглощение влаги из газа производится орошающей кислотой. Необходимым условием соблюдения параметров осушки газа и незначительного брызгоноса является равномерное распределение кислоты по сечению сушильной башни и стабильность ее концентрации. Вытекающая из сушильной башни кислота передается в сборник.

Осущенные газы после сушильной башни с температурой 50...70 °C направляются через патронный фильтр на нагнетатели контактных аппаратов и далее на моногидратный абсорбер. Он предназначен для поглощения серной кислотой серного ангидрида из газовой смеси и превращения его в серную кислоту. Вытекающая из моногидратного абсорбера кислота поступает в сборник кислоты. Газы после моногидратного абсорбера через фильтр ДВФ поступают в электрофильтры типа БВК и далее на трубу. Товарная кислота из напорных баков башен кислотопроводами направляется на склад товарной кислоты.

Контактный аппарат К-39-4-240 включает выносной теплообменник с поверхностью 2460 м<sup>2</sup> и фильтр-брзыгоуловитель. Аппарат рассчитан на производительность по газу 225 000 м<sup>3</sup>(н.у.)/ч. Он имеет диаметр 7 м и высоту 18,8 м и состоит из распределительного слоя с шамотной крошкой, а также четырех горизонтально расположенных слоев с контактной массой. Между первым и вторым слоями, а также между вторым и третьим слоями находятся встроенные теплообменники. Для запуска аппарата и поддержания температуры в технологическом процессе предусмотрена подача горячего воздуха от коллектора подогревателей.

Процесс окисления SO<sub>2</sub> происходит в четырех слоях ванадиевого катализатора с выделением тепла. Это тепло используется для нагревания газа, поступающего на окисление. После выносного теплообменника окисленный газ SO<sub>3</sub> подается на коллектор SO<sub>2</sub> на аб-

сорбцию.

Предусматриваемая очистка серосодержащих газов по новой технологии в 10 раз эффективнее, чем классическая сернокислотная установка двойного контактирования и в четыре раза превышает показатели установки «Хальдор-Топсе».

В результате перехода УКМК ТОО «Казцинк» на новые технологии произойдет снижение выбросов диоксида серы в атмосферу г. Усть-Каменогорска на 13 тыс. т/год. Приземные ее концентрации в атмосфере с учетом фона будут снижены на границе санитарно-защитной зоны с 2,68 до 0,926 ПДК<sub>м.р.</sub>, в жилой зоне – с 1,67 до 0,687 ПДК<sub>м.р.</sub>.

Для предприятий с выделением небольшого объема диоксида серы рекомендуется применять старые отработанные методы его утилизации: известняковый или магнезитовый. Крупные же предприятия с выделением в атмосферу больших объемов диоксида серы должны использовать инновационные технологии, обеспечивающие очень высокую эффективность его улавливания, несмотря на большие финансовые затраты.

#### Список литературы

1. Шабанова С.В. Атмосфера промышленного предприятия, методы анализа и очистки. – Оренбург, 2003. – 234 с.
2. Дерябин В.А. Очистка запылённого воздуха / В.А. Дерябин, С.Г. Власова, Е.П. Фарантова. – Екатеринбург, 2006. – 548 с.
3. Ватин Н.И. Методы очистки атмосферы воздуха / Н.И. Ватин, К.И. Стрелец. – СПб., 2003. – 479 с.
4. Справочник инженера по охране окружающей среды. – Инфра-Инженерия, 2005. – 185 с.

Получено 15.02.11

---

УДК 332.3

**М.М. Тогузова, А.К. Утепбаева**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

#### АНАЛИЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УСТАНОВЛЕНИЯ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Как известно, работа промышленных предприятий, заводов, производств оказывает негативное воздействие на здоровье населения. Для того чтобы уменьшить неблагоприятное воздействие на человеческий организм, вокруг предприятия производится (на основании проекта) организация санитарно-защитной зоны (с. 33).

Согласно статьи 58 Закона РК от 16.07.01 г. № 242-II «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в РК» в случаях, когда размещение и функционирование производственных, коммунальных и складских объектов, а также объектов специального назначения может представлять угрозу населению и (или) оказывать вредное воздействие на окружающую среду, должна предусматриваться соответствующая СЗЗ [1].

СЗЗ – это особая функциональная зона, отделяющая предприятие от селитебной зоны, либо от иных зон функционального использования территории с нормативно закрепленными повышенными требованиями к качеству окружающей среды. Она является обязательным элементом любого предприятия, которое может быть источником химического, физического или биологического воздействия. СЗЗ устанавливается в целях снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха, уровней шума и других факторов негативного