

ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА ОТ ВЫБРОСОВ ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ

1.1. Снижение выбросов оксидов азота

1.1.3. Очистка дымовых газов от оксидов азота

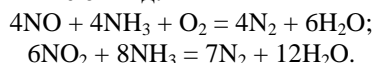
1.1.3.1 Селективное каталитическое восстановление — СКВ (SCR)

Котлер В.Р., ОАО «ВТИ»

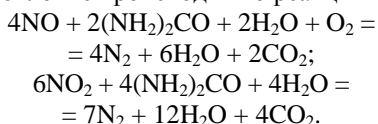
Этот метод в настоящее время является наиболее эффективным средством снижения выбросов NO_x на крупных энергетических котлах и уже длительное время используется на электростанциях Европы, США и Японии (рис. 1.19).

Восстановительный агент, в качестве которого обычно применяют аммиак или мочевины, инжектируется в поток дымовых газов до катализатора. Вблизи поверхности катализатора в диапазоне температур 170...510 °С происходят с разной степенью интенсивности восстановительные реакции, в результате которых оксиды азота переходят в молекулярный азот [20].

При использовании аммиака (аммиачной воды) основные реакции имеют вид:



Если используется более дорогой реагент — мочевина, то восстановление происходит по реакциям:



Аммиак на электростанции хранится, как правило, в виде водного раствора или в сжиженном состоянии при давлении 1,7 МПа (17 бар) и температуре 20 °С. Для небольших установок часто используют более дорогую, но и более безопасную при транспортировке и хранении мочевины в виде белых кристаллических гранул, которые растворяют в воде перед инъекцией в газоход.

Водный раствор аммиака перед вводом в газоход нагревается в электрическом нагревателе. Для нагрева раствора аммиака можно использовать также пар или горячую воду. Для повышения эффективности восстановления NO_x и снижения проскока аммиака необходимо обеспечить равномерное распределение инжектируемого реагента. Только при соблюдении требуемого отношения NH_3/NO_x по всему сечению газохода перед катализатором удается снизить проскок аммиака до его концентрации в дымовых газах, не превышающей 2 ppm (0,0002 % по объему). В противном случае продажа уловленной на пылеугольных котлах золы становится невозможной для строительной индустрии в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к поставляемой потребителям сухой золе.

Другой причиной, заставляющей добиваться минимального проскока аммиака, является опасность взаимодействия NH_3 с SO_3 в дымовых газах при охлаждении последних до температуры 220 °С. Образующийся при этом бисульфат аммония повышает опасность загрязнения и коррозии поверхностей нагрева.

Многое, конечно, зависит и от самого катализатора, в том числе и от формы каталитической решетки, через которую проходят дымовые газы в смеси с аммиаком. Чаще других на практике встречаются каталитические реакторы пластинчатого или сотового типа

Все виды материалов, которые используются в качестве катализаторов для очистки дымовых газов топливосжигающих установок, можно разделить на четыре группы [20]:

- носитель — оксиды металла (например, TiO_2) с активными компонентами: ванадием, молибденом или вольфрамом. Часто используется V_2O_5 с небольшим количеством WO_3 (который добавляется для расширения рамок температурного окна), или SiO_2 (для повышения устойчивости структуры), или MoO_3 (для снижения опасности «отравления» катализатора составляющими дымовых газов);

- цеолиты — кристаллическое природное вещество с чрезвычайно развитой пористостью или синтетические алюмосиликаты, используемые при температурах от 350 до 600 °С;

- оксиды железа в виде частиц, покрытых тонкой кристаллической пленкой из фосфата железа;

- активированный углерод, состоящий из размолотого каменного или бурого угля, смешанного с инертным материалом и обработанного до состояния агломерированных гранул (гранул). Этот катализатор может работать в температурном диапазоне 100...220 °С.

При выборе размера отверстий для прохода дымовых газов, количества слоев катализатора и других параметров необходимо учитывать характеристику запыленного потока, требуемую степень снижения выбросов NO_x , допустимое аэродинамическое сопротивление каталитического реактора и т.д. Опыт эксплуатации установок СКВ за рубежом свидетельствует о том, что продолжительность работы катализатора на угольных котлах составляет 6...10 лет, а на газомазутных — от 8 до 12 лет. Частота замены катализатора определяется не только характеристикой топлива, но и другими показателями установки: входной концентрацией NO_x , степенью снижения содержания оксидов азота, допустимым проскоком аммиака и т.д.

При выборе схемы включения каталитического реактора в газовый тракт котла приходится учитывать не только экономичность работы котла, но и желательную длительность работы очистной установки без замены катализатора. Всего выделяют три схемы, различающиеся условиями работы установок СКВ (рис. 1.20).

Схема А — это простейший и потому наиболее распространенный вариант, при котором каталитический реактор (DENOX) устанавливают за экономайзером, до воздухоподогревателя котельной установки. Температура в этой зоне газового тракта позволяет использовать большинство катализаторов. Однако работа реактора на неочищенных дымовых газах создает существенные проблемы. Во-первых, должны быть приняты меры для снижения абразивного износа. Во-вторых, продукты сгорания и летучая зола могут «отравлять» катализатор, снижая его активность.

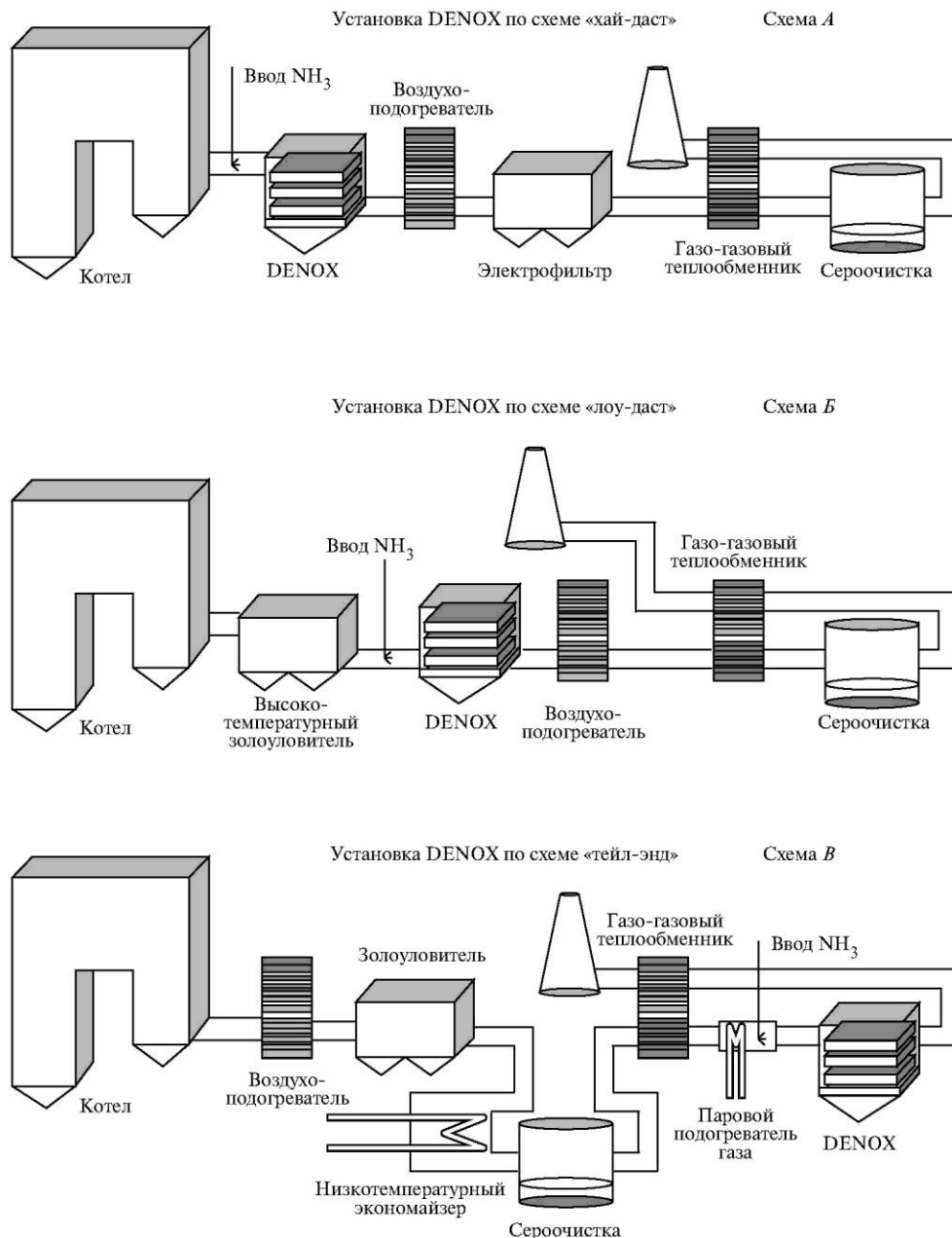


Рис. 1.20. Различные схемы организации процесса СКВ

Это ухудшает эффективность очистки дымовых газов от NO_x (особенно заметно это явление на котлах, оборудованных топками с жидким шлакоудалением). Еще один недостаток этой схемы — для ее реализации на действующих котлах требуется место в непосредственной близости от котла, которое не всегда удается найти. Эта схема получила название «хай-даст» (high-dust) из-за работы катализатора на запыленном потоке.

Схема *Б* в отличие от первого варианта, называется «лоу-даст» (low dust), потому что катализатор в этой схеме установлен после высокотемпературного золоуловителя (но опять же до воздухоподогревателя, что решает проблему обеспечения температуры газов в зоне реактора DENOX). Эта схема снижает механическое воздействие на катализатор, увеличивая тем самым срок его эксплуатации. Недостатком этого варианта считается необходимость установки малоэффективного «горячего» золоуловителя и трудность его установки при внедрении метода СКВ на действующем котле. Кроме того, сохраняется опасность образования бисульфата аммония в зоне воздухоподогревателя при проскоке аммиака.

Схема *В* предполагает установку реактора DENOX после всех поверхностей нагрева, т.е. на «хвосте» (отсюда и ее название «тейл-энд», tail-end). Эта схема больше других подходит для внедрения на действующих котлах, так как катализатор меньше подвергается износу, коррозии и деактивации.

Объем катализатора также может быть снижен по сравнению со схемой «хай-даст» (за счет снижения шага решетки). Недостатком этого варианта является потребность в газо-газовом теплообменнике и дополнительном газовом подогревателе для обеспечения нужной температуры газов в реакторе DENOX.

Главной опасностью при использовании системы СКВ является проскок аммиака, который возможен при снижении каталитической активности и высоком отношении NH_3/NO_x . Проскок аммиака может вызвать:

- образование сульфата аммония с отложением его на последующих элементах газового тракта;
- появление аммиака в смывной воде при обмывке воздухоподогревателя и в отходах сероочистки;
- повышение концентрации аммиака в золе уноса.

Несмотря на перечисленные трудности, установки СКВ применяют все чаще, так как использование катализатора дает ряд преимуществ:

- метод годится при сжигании всех видов топлива — от природного газа до угля;
- восстановление NO не сопровождается образованием других загрязняющих веществ;
- эффективность таких установок может достигать 90 % и более;
- метод СКВ может сочетаться с любыми технологическими (первичными) мероприятиями.

Препятствием для более широкого внедрения метода СКВ являются достаточно высокие капитальные затраты на его реализацию. По зарубежным данным [20], сам катализатор стоит от 10 до 15 тыс. евро за 1 м³. Но если учитывать все затраты (проектирование, монтаж, вспо-

могательное оборудование, включая трубопроводы, насосы, вентиляторы, и т.д.), то затраты будут во много раз больше. Даже при выборе наиболее дешевой схемы «хай-даст» для блока мощностью 200 МВт потребуется от 12 до 20 млн евро. А если будет принята самая дорогая схема «тейл-энд», то для такого же блока потребуется 37,5 млн евро. Для блока мощностью 500 МВт капитальные затраты на установку СКВ по схеме «тейл-энд» составят 60...75 млн евро.

По другим данным [21], для угольного блока мощностью 200 МВт установка СКВ будет стоить 16,9 млн долл., сам котел — 84,0 млн долл., а эксплуатация установки СКВ — 0,86 млн долл/год. Аналогичные цифры для угольного блока мощностью 500 МВт составят: 30,7; 210,0 млн долл. и 1,89 млн долл/год.