

К вопросу об изменении аэродинамических параметров угольных адсорберов типа АУ-1500 систем вентиляции АЭС

Л.И.Федорова, П.Я.Полтинин, Л.В.Карнацевич, М.А.Хажмурадов, С.О.Лыцов

ННЦ ХФТИ, г. Харьков, ЗАЭС, г. Энергодар

1. ВВЕДЕНИЕ

Опыт работы систем вентиляции контролируемой зоны ЗАЭС свидетельствует о том, что в процессе эксплуатации угольных йодных адсорберов типа АУ-1500, входящих в состав всех систем вентиляции АЭС, наблюдается не нормативный рост в 10–12 раз аэродинамического сопротивления адсорбера на протяжении 8–20 месяцев. Это приводит к резкому падению производительности вентиляционных систем АЭС и создает угрозу радиационного загрязнения рабочих помещений станции. Проведившийся в течение нескольких лет на ЗАЭС анализ причин роста аэродинамического сопротивления адсорберов типа АУ-1500, обследование их узлов, а также физико-химических параметров адсорбента однозначно не выявили причин возрастания аэродинамического сопротивления адсорберов с течением времени. В лаборатории молекулярной физики ННЦ ХФТИ проведено изучение возможного влияния на аэродинамические характеристики адсорберов типа АУ-1500 усадки и механического износа адсорбента марки СКТ-3, используемого в адсорбере, при длительной прокачке через него воздуха.

2. РАСЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АДСОРБЕРА В РАМКАХ КАПИЛЛЯРНОЙ МОДЕЛИ

Исходя из опыта разработки и эксплуатации динамических адсорбционных систем в ННЦ ХФТИ [1,2] и анализа литературных данных можно утверждать, что при длительной эксплуатации адсорберов необходимо считаться с ростом их аэродинамического сопротивления в результате уплотнения слоя при усадке и появления в нем мелких пылевидных фракций, которые связаны с износом материала адсорбента. По опубликованным данным сопротивление может возрастать с течением времени в несколько раз. Величина роста сопротивления зависит от конструкции адсорбера, режимов его эксплуатации и механических свойств адсорбентов. Для анализа роли указанных факторов на аэродинамическое сопротивление адсорбера была

использована капиллярная модель адсорбционного слоя. В этой модели все свободное пространство, через которое проходит поток газа, представляется в виде системы одинаковых цилиндрических каналов. Для каждой конкретной среды задача сводится к правильному выбору эффективной длины и диаметра канала. В нашем случае все гранулы адсорбента рассматривались как шарики одинакового диаметра равного 1,5 мм. Как следует из геометрических представлений, например, для случая плотной упаковки шариков, число каналов в два раза превышает количества гранул адсорбента. Длина каждого канала принималась равной высоте засыпки адсорбента 300 мм.

Из оценки степени турбулентности потока воздуха, проходящего через каждый канал, проведенной с использованием критерия Рейнольдса, характер потока остается ламинарным для его типичных значений, составляющих 500–2000 м³/час.

Перепад давлений на адсорбере для ламинарного потока можно вычислить, используя закон Пуазейля. Для величин потоков воздуха: 500, 1000, 1500 и 2000 м³/час расчет дает значения перепада давления, равные соответственно 380, 760, 1150 и 1500 Па, что достаточно хорошо согласуется с исходными заводскими данными для не работавших адсорберов (340, 880, 1570 и 2450 Па). Это свидетельствует о достаточной адекватности выбранной нами модели описания аэродинамики угольного адсорбера.

3. УСАДКА АДСОРБЕНТА

При эксплуатации любого адсорбера, в котором используется насыпной адсорбент, происходит усадка (уплотнение) этого адсорбента. Следовательно, высота слоя адсорбента и его пористость уменьшаются. Расчет в рамках капиллярной модели показывает, что эффективный диаметр канала уменьшается линейно с уменьшением высоты слоя. Максимальные значения сопротивления достигаются при плотной упаковке шариков (гранул адсорбента). При такой упаковке относительное уменьшение высоты слоя составляет

15%. Аэродинамическое сопротивление слоя адсорбента, при плотной упаковке круглых гранул, по сравнению с исходным значением может вырасти в 4–8, но не в 10–12 раз, как наблюдается на практике. Более того, гранулы далеки по форме от идеально круглых шариков. Специальные эксперименты на вибростенде показали, что относительное уменьшение высоты слоя даже при длительной вибрационной нагрузке не превышает 4%. Таким образом, ясно, что учет только усадки адсорбента не может объяснить реального роста сопротивления угольных фильтров.

Отдельно нужно остановиться на влиянии формы гранул. Дело в том, что если бы гранулы имели форму идеально одинаковых цилиндров, то возможно такое правильное расположение гранул в горизонтальном слое, когда аэродинамическое сопротивление слоя станет практически равным бесконечности. Оставаясь в рамках простых моделей, трудно оценить возможность возникновения подобной ситуации, однако некоторую роль таких эффектов усадки адсорбента исключить нельзя.

4. МЕХАНИЧЕСКОЕ ИСТИРАНИЕ АДСОРБЕНТА И ЗАПЫЛЕНИЕ АДСОРБЕРА

При эксплуатации адсорбера, как бы сильно прижимная решетка не сжимала слой адсорбента, все равно происходит взаимное движение гранул и истирание их поверхности. Степень такого истирания зависит от механических свойств адсорбента, эффективности работы прижимной решетки, режимов протекания воздуха, возможности толчков давления. Образующаяся при этом мелкая пылевидная фракция материала гранул может, в определенной мере, накапливаться между гранулами или в отдельных местах адсорбера. Наличие пылевидной фракции может существенно повлиять на аэродинамическое сопротивление фильтров. На возможность описанных явлений указывают следующие факты. Пылевидная фракция наблюдалась на выходе из адсорбера в трубопроводах и арматурных элементах. На поверхности гранул отработанного адсорбента в оптическом микроскопе хорошо виден слой прилипших пылевидных частиц, которого нет на гранулах неиспользованного адсорбента марки СКТ-3 (возможный механизм такого налипания мы рассмотрим позже). Анализ влияния наличия пылевидной фракции на аэродинамическое сопротивление фильтров в рамках описанной выше капиллярной модели можно свести к изменению эффективного диаметра шаровидных гранул в результате налипания пылевидного слоя. Отметим, что поскольку диаметр частиц пыли очень мал (около 3 мкм), то пористостью пылевого слоя можно пренебречь, рассматривая его, как сплошной материал.

Согласно полученным расчетным данным одновременное действие усадки и запыления

адсорбента может приводить к значительному увеличению его аэродинамического сопротивления. В частности, увеличение сопротивления в 10 раз достигается при увеличении эффективного диаметра гранул за счет налипания пыли на 110–170 мкм (т.е. на 7–11%).

Механизм удержания пыли на поверхности гранул может быть связан не только с механической адгезией, но и с эффектами электризации пылинок и гранул в процессе истирания адсорбента. Об этом свидетельствуют экспериментальные данные.

5. ВЫВОДЫ

Таким образом, в настоящей работе показано, что при эксплуатации угольных адсорберов в них образуется пылевидная фракция материала адсорбента, за счет истирания поверхности гранул. Такая фракция, очевидно, накапливается на поверхности гранул, а возможно, и создает где-то мелкодисперсные прослойки. И то, и другое может вызвать значительное увеличение аэродинамического сопротивления фильтра. Причины повышенного истирания адсорбента и накопления пыли могут быть различны: это неправильная работа прижимной решетки, недостаточная механическая прочность адсорбента, неоптимальный режим работы адсорбера по величине расхода воздуха, охрупчивание адсорбента в результате взаимо-действия с химически активными примесями в воз-духе.

Результаты проведенной работы свидетельствуют о том, что основными причинами повышения аэродинамического сопротивления угольных йодных фильтров типа АУ-1500 систем вентиляции АЭС являются усадка и механическое истирание гранул углеродного гранулированного адсорбента марки СКТ-3. Экспериментальные исследования помогут выявить механизмы истирания гранул и найти способы ликвидации этого явления.

Литература

1. Колобродов В.Г., Шейнина А.А., Карнацевич Л.В., Григорова Т.К., Воробьева В.П., Хажмурадов М.А. Химическая промышленность, 1995, №2, с. 38-42.
2. Дракин В.И., Карнацевич Л.В., Колобродов В.Г., Першин В.Л. Хажмурадов М.А., Шейнина А.А. Химическая промышленность, 1997, №2, с. 62-68.

Статья поступила в редакцию 25 мая 1998 г.,
в издательство 1 июня 1998 г.