

## **Исследование процесса очистки в электрофильтре атмосферного воздуха.**

### **1. Введение.**

Очистка больших объёмов (более 1 000 000 м<sup>3</sup> /ч) атмосферного воздуха для работы газотурбинной установки (ГТУ) в настоящее время осуществляется с помощью комплексного воздухоочистительного устройства (КВОУ), выполненного на основе воздушных фильтров грубой и тонкой очистки. Применение фильтров требует создания для их работы специальных условий по защите от атмосферных воздействий, и в случае превышения пределов гидравлического сопротивления вызывает необходимость увеличения нагрузки на тягодутьевое оборудование, которое сопровождается повышенными звуковыми эффектами.

Учитывая, что в настоящее время получены положительные результаты по разработке и внедрению энергоэффективной и ресурсосберегающей технологии электрической очистки газов, осуществлены исследования по очистке воздуха в одно зонном электрофильтре и проведено обоснование целесообразности применения электрофильтров для очистки воздуха для ГТУ.

### **2. Лабораторная установка и методика исследования.**

Лабораторная модель электрофильтра состояла из активной зоны с коронирующими и осадительными элементами электродов, установленными с межэлектродным расстоянием 300 мм. Высота осадительного электрода 1080 мм. По длине осадительные электроды набраны из четырех стандартных элементов шириной 640 мм, длина поля 1280 мм. Коронирующие электроды типа СФ с пониженным напряжением зажигания коронного разряда (14 кВ). Неактивные зоны отсутствуют. Электрофильтр оснащён дымососом. В период испытаний скорость воздуха в активной зоне электрофильтра обеспечивалась 1 м/с. Питание электрофильтра осуществлялось от высоковольтного агрегата АТФ-400. Для повышения среднего напряжения питания была использована конденсаторная установка.

В лабораторной модели электрофильтра критерии подобия (безразмерные комплексы), составленные из величин, характеризующих только ее системные (материальные) параметры, равны соответствующим критериям электрофильтра типа ЭГА 1-1-1,2-4-1.

В модели осуществляются процессы, подобные оригиналу - критерии подобия, содержащие параметры процессов, входящих в условия однозначности и в том числе начальные условия (параметры исходного режима, возмущений и отклонений), и в модели и оригинале соответственно одинаковы.

Для измерения концентрации частиц на входе и выходе использован счетчик аэрозольных частиц АЗ-10-0,3 (производство РФ). Область применения - измерение счетной концентрации частиц от 0,3 до 5 мкм и более в воздухе и других неагрессивных газах. Параллельно проведены измерения с помощью прибора АekoТкак (производство США) для размеров частиц от 0,3 до 10 мкм и более. Данные измерительные приборы сертифицированы и подвергнуты проверке в соответствии с требованиями Государственного Метрологического Надзора средств измерения, регламентированными Федеральным Законом [от 26 июня 2008 года N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»](#).

### **3. Результаты исследований.**

Анализ эффективности очистки воздуха в электрофильтре при различных режимах электрического питания (таблицы 1 и 2) позволили сделать следующие выводы:

- показано, что замеры счётных концентраций размерных диапазонов частиц пыли в воздухе позволяют определить эффективность очистки в этих диапазонах (фракциях);

- установлено, что разница в замерах счётных концентраций по прибору Aero Ткак (США) и прибору АЗ-10-0.3(РФ) в области размеров частиц от 1,0 мкм и более не превышает 10 %. Это находится в пределах погрешности приборов в 20 %;

- подтверждена закономерность электрической очистки применительно к очистке воздуха от пыли в том, что с увеличением размера частиц эффективность очистки возрастает, и для частиц размером от 0,3 до 1 мкм составляет от 48,1 до 95,3 %, а для частиц размером от 1 до 10 мкм - от 79,0 до 98,97%;

-выявлено, что с ростом среднего напряжения с 33,0 кВ до 49,2 кВ и ростом размера частиц от 0,5 до 10 мкм выбросы снижаются с 3,8 до 14,6 раза (таблица 1.);

- установлено, что уровень эффективности очистки воздуха в электрофилт্রে соизмерим с требуемым уровнем эффективности КВОУ из фильтров, который составляет около 80 %.

Таблица 1.

Эффективность очистки (в %) *с конденсаторной установкой*.

Замеры: прибор Аеро Ткак (США) и прибор АЗ-10-0.3(РФ).

Параметры электрического питания	Размер частиц (мкм)											
	Страна (разработчик и изготовитель прибора)											
	0,3		0,5		1,0		3,0		5,0		10,0	
	США	РФ	США	РФ	США	РФ	США	РФ	США	РФ	США	РФ
U <sub>ср</sub> = 33,0 кВ U <sub>а</sub> = 43,56 кВ	48,1	68,3	68,2	78,1	79,0	81,3	83,9		84,8	91,9	85,0	
U <sub>ср</sub> = 41,0 кВ U <sub>а</sub> = 41,4 кВ	75,2	87,7	88,0	92,5	93,9	94,1	85,8		96,2	95,3	96,4	
U <sub>ср</sub> = 49,2 кВ U <sub>а</sub> = 51,0 кВ	78,7	99,57	90,1	91,1	95,3	94,9	97,4		97,9	96,3	98,97	

Таблица 2.

Эффективность очистки (в %) *без конденсаторной установки*.

Замеры: прибор Аеро Ткак (США) и прибор АЗ-10-0.3(РФ).

Параметры электрического питания	Размер частиц (мкм)											
	Страна (разработчик и изготовитель прибора)											
	0,3		0,5		1,0		3,0		5,0		10,0	
	США	РФ	США	РФ	США	РФ	США	РФ	США	РФ	США	РФ
U <sub>а</sub> = 43,56 кВ	60,9	76,9	78,4	84,9	86,1	87,5	87,6		86,2	93,9	86,1	
U <sub>а</sub> = 41,4 кВ	73,0	86,8	85,9	91,8	91,6	93,4	94,0		94,9	93,5	96,9	

#### 4. Обоснование применимости электрофильтров для очистки воздуха для ГТУ.

Согласно требованиям ГОСТ Р 55168-2012 «Тракты воздухозаборные стационарных газотурбинных установок. Общие технические требования» концентрация пыли в воздухе после очистки должна быть не более – 0,08 мг/м<sup>3</sup>, в том числе:

- частиц с размером 2 мкм – не более 0,06 мг/м<sup>3</sup>;
- частиц с размером 2 мкм < d < 10 мкм - ≤ 0,02 мг/м<sup>3</sup>;
- частиц с размером d > 10 мкм - ≤ 0,0002 мг/м<sup>3</sup>.

Из ГОСТ Р 55168-2012 следует, что для оценки эффективности очистки воздуха для каждого диапазона размеров частиц необходимо знать такие важные параметры, характеризующие загрязнение воздуха, это распределение частиц по размерам и концентрации частиц в мг/м<sup>3</sup>.

Ранее отмечалось [1], что в жилых районах крупных городов концентрация пыли в атмосферном воздухе составляет 0,1 - 0,5 мг/ м<sup>3</sup> и размер частиц 0,1-60 мкм, но распределение частиц по размерам и концентрации отсутствует.

В каталоге [2] приведены сведения о концентрации и размерах частиц в воздухе в пригородных районах. Согласно этой информации частицы от 0,01 до 10 мкм имеют концентрацию от 0,01 до

0,2 мг/ м<sup>3</sup>, а из графика распределения частиц по размерам в обычном городском воздухе следует, что максимальная концентрация частиц пыли располагается в диапазоне от 0,1 мкм до 10 мкм.

Для дальнейшего анализа принята концентрация частиц размером от 0,01 – 10,0 мкм и более в воздухе 0,4 мг/ м<sup>3</sup>.

Учитывая, что концентрация пыли на входе 0,4 мг/м<sup>3</sup> и требуемая на выходе 0,08 мг/м<sup>3</sup>, а общая эффективность очистки, соответственно составляет 80%, при известной концентрации пыли (в мг/ м<sup>3</sup>) по фракциям можно определить требования к эффективности очистки для каждого диапазона размеров частиц.

Имеющиеся сведения по составу пыли в атмосферном воздухе [3] (частиц размером менее 2 мкм содержится 39 % от общей массы, размером от 2 до 10 мкм – 58% и частиц более 10 мкм – 3 %) позволили определить концентрацию частиц по фракциям и рассчитать эффективность очистки каждой фракции. Расчёты показали, что эффективность очистки должна быть не менее 61,5 % для частиц менее 2 мкм, не менее 91,3% для частиц от 2 мкм до 10 мкм и не менее 98,3% для частиц более 10 мкм.

В исследуемом нами воздухе частиц менее 2 мкм находится 20 %, а от 2 до 10 мкм -77 %, и требования к эффективности очистки для этих размерных диапазонов частиц соответственно 25,0 % и 93,5%.

По результатам расчётов фракционной эффективности очистки [1] для минимальной и максимальной эффективности очистки в каждом диапазоне частиц (таблицы 1 и 2) получены значения общей эффективности 82,3% и 97,9%, что больше требуемой эффективности в 80%. Проведённая (по формуле Дейча [1]) оценка эффективной скорости дрейфа частиц для полученных значений эффективности (для 82,3% - скорость дрейфа составляет 0,10 м/с, для 97,9% - скорость дрейфа составляет 0,22 м/с), позволяет осуществлять расчёт и выбор конструктивных параметров электрофилтра для очистки воздуха перед ГТУ. Следует отметить, что значения скоростей дрейфа находятся в полном соответствии с уровнем пробивных напряжений в электрофилтре, обратно зависимым от абсолютной температуры очищаемой среды.

### ***Литература:***

1. Ужов В.Н., Мягков Б.И. Очистка промышленных газов фильтрами. Изд. «Химия», М., 1970. 320 с.
2. Каталог : «Приточные системы воздухоочистки (КБОУ) на основе фильтров Viledon для турбинных энергоустановок : профессиональное исполнение от разработки до внедрения», 2009.
3. [WWW.electrosad.ru](http://WWW.electrosad.ru). Пыль и защита от неё в ПК.

Чекалов Л.В., Гузаев В.А.