

УДК 504.064.37

Е.И. Веденин, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

*Новороссийский политехнический институт КубГТУ, Россия, Краснодарский край, 353900,
Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20, E-mail: vshemanin@nbkstu.org.ru*

ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО РАЗМЕРАМ В ПОТОКЕ КАК КРИТЕРИЙ ОТКАЗА ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

Возникновение сверхнормативных аэрозольных выбросов влечет изменение функции распределения частиц по размерам. Числовым параметром, позволяющим восстанавливать функцию распределения частиц по размерам является средний объемно-поверхностный диаметр частиц, что позволяет использовать изменение среднего объемно-поверхностного диаметра в качестве критерия возникновения сверхнормативного аэрозольного выброса. Для оценки эффективности использования среднего объемно-поверхностного диаметра в качестве критерия возникновения сверхнормативного аэрозольного выброса введено понятие кратности отказа. Оцененная минимальная кратность отказа, которую позволяет обнаруживать изменение среднего объемно-поверхностного диаметра оказалась меньше минимальной кратности отказа, которую позволяют обнаруживать другие существующие критерии возникновения сверхнормативных аэрозольных выбросов, такие как возрастание массовой концентрации и изменение перепада давления на последней ступени очистки.

**СРЕДНИЙ ОБЪЕМНО-ПОВЕРХНОСТНЫЙ ДИАМЕТР, СВЕРХНОРМАТИВНЫЕ
АЭРОЗОЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ, КРАТНОСТЬ ОТКАЗА, КРИТЕРИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
СВЕРХНОРМАТИВНЫХ ВЫБРОСОВ**

ВВЕДЕНИЕ

Сверхнормативные аэрозольные выбросы характеризуются превышением установленных предельно-допустимых значений концентрации в приземном слое нормируемых территорий. Такие выбросы происходят в результате отказа системы пылегазоочистки и сопровождаются изменением параметров аэрозольных потоков. Изменение параметров аэрозольных потоков может служить критерием возникновения сверхнормативных аэрозольных выбросов.

При использовании в качестве последней ступени очистки рукавного фильтра сверхнормативные выбросы происходят в результате прорыва рукава. Прорыв рукава рукавного фильтра приводит к проникновению крупнодисперсных частиц аэрозоля, поступающих на очистку, на выход последней ступени очистки, что приводит к трансформации функции распределения частиц по размерам (ФРЧ) выходного аэрозоля [1].

Параметром, позволяющим восстанавливать ФРЧ, является средний объемно-поверхностный диаметр частиц d_{32} – диаметр такой частицы, отношение объема к площади поверхности которой равно отношению объема всех частиц к площади поверхности всех частиц аэрозоля [2]. В работе [3] показана возможность контроля функции распределения частиц по размерам в реальном времени лазерными методами на примере описанного в

работе лазерного сенсора для контроля параметров аэрозольных потоков с целью обнаружения сверхнормативных аэрозольных выбросов.

Трансформация ФРЧ аэрозоля на выходе последней ступени очистки в результате прорыва рукава рукавного фильтра приводит к изменению связанного с ней среднего объемно-поверхностного диаметра частиц. Таким образом, изменение среднего объемно-поверхностного диаметра частиц можно использовать в качестве критерия возникновения сверхнормативного аэрозольного выброса.

ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНЕГО ОБЪЕМНО-ПОВЕРХНОСТНОГО ДИАМЕТРА В РЕЗУЛЬТАТЕ ОТКАЗА СИСТЕМЫ ПЫЛЕГАЗООЧИСТКИ

Для оценки эффективности использования изменения среднего объемно-поверхностного диаметра частиц в качестве критерия возникновения сверхнормативного аэрозольного выброса и возможности сравнения его с другими существующими критериями возникновения таких выбросов введем понятие кратности отказа k - кратности возрастания массовой концентрации аэрозольных частиц на выходе последней ступени очистки во время её отказа по отношению к массовой концентрации на выходе исправной системы очистки.

Для определения минимальной кратности, которую позволяет обнаружить изменение среднего объемно-поверхностного диаметра частиц сравнивались изменения среднего объемно-поверхностного диаметра частиц при различных режимах пылегазоочистного оборудования с возрастанием среднего объемно-поверхностного диаметра при различных кратностях отказа на примере прорыва рукава рукавного фильтра.

В [4] была выполнена оценка изменения среднего объемно-поверхностного диаметра частиц в результате варьирования дисперсного состава цементного аэрозоля, поступающего на очистку, регенерации рукавного фильтра, колебаний скорости очистки на первой ступени очистки. Оценка проводилась по функциям распределения частиц по размерам более сотни отобранных проб цемента реального производства. Рассчитанные максимальное и минимальное значения d_{32} до регенерации составили $d_{32 \text{ до рег. min}} = 0,36$ мкм и $d_{32 \text{ до рег. max}} = 0,42$ мкм и после регенерации $d_{32 \text{ после рег. min}} = 0,40$ мкм и $d_{32 \text{ после рег. max}} = 0,46$ мкм. Разница максимального и минимального измеренных значений d_{32} на выходе рукавного фильтра до регенерации составила 0,06 мкм, после регенерации 0,06 мкм. Вычислены разницы d_{32} на выходе рукавного фильтра до и после регенерации рукавного фильтра для каждой из 119 проб цемента. Максимальная из вычисленных разниц d_{32} составляет 0,05 мкм, минимальная из вычисленных разниц d_{32} составляет 0,03 мкм.

Для расчета среднего объемно-поверхностного диаметра частиц на выходе рукавного фильтра при различных кратностях отказа рассчитывалась функция распределения частиц по размерам при прорыве рукава $f_{\text{вых. прор}}$ по формуле:

$$f_{\text{вых. прор.}} = Q_{\text{прор.}} \cdot f_{\text{вх.}} / Q_{\text{вх.}} + (1 - Q_{\text{прор.}} / Q_{\text{вх.}}) \cdot f_{\text{вых.}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{прор.}}$ – расход газа через прорыв рукава, м³/ч;

$Q_{\text{вх.}}$ – расход газа на входе рукавного фильтра, м³/ч;

$f_{\text{вх.}}$ – функция распределения частиц по размерам на входе рукавного фильтра;

$f_{\text{вых.}}$ – функция распределения на выходе рукавного фильтра.

Расход газа через прорыв рукава зависит от кратности прорыва рукава и определялась по формуле:

$$Q_{\text{прор.}} = Q_{\text{вх.}} \cdot k \cdot (1 - \eta) / \eta, \quad (2)$$

где η – степень очистки рукавного фильтра.

Кривые функций распределения при различных кратностях отказа, приведенные к максимальному значению ФРЧ представлены на рис. 1.

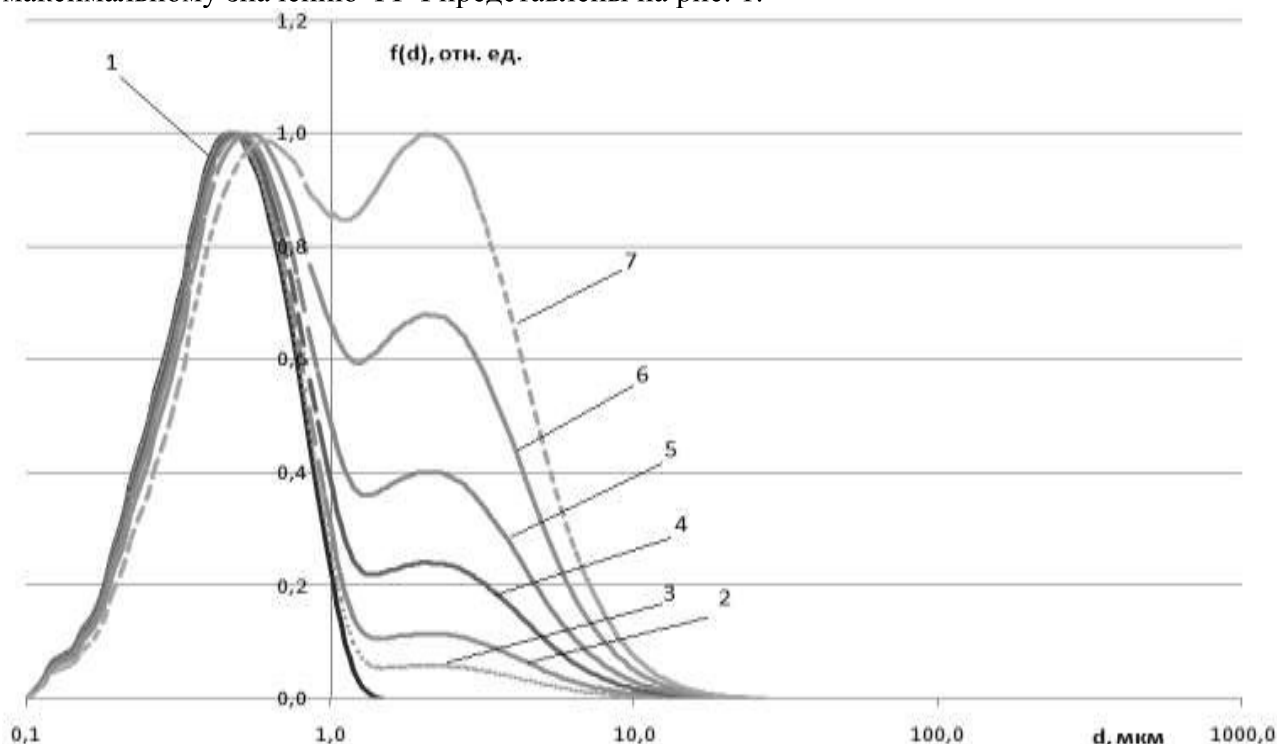


Рис.1 Кривые функции распределения частиц по размерам на выходе рукавного фильтра перед регенерацией в исправном состоянии и при различных кратностях отказа

1 - $f_p.f. / f_{max}$ без прорыва; 2 - $f_p.f. / f_{max}$ при $k=1$; 3 - $f_p.f. / f_{max}$ при $k=0,5$; 4 - $f_p.f. / f_{max}$ при $k=2$; 5 - $f_p.f. / f_{max}$ при $k=4$; 6 - $f_p.f. / f_{max}$ при $k=8$; 7 - $f_p.f. / f_{max}$ при $k=16$

По рассчитанным функциям распределения частиц по размерам при различных кратностях отказа рассчитаны значения среднего объемно-поверхностного диаметра частиц при соответствующих кратностях отказа.

Рассчитанное значение среднего объемно-поверхностного диаметра частиц при оцененной кратности отказа $k=2$ составило $d_{32отказ} = 0,47$ мкм, это значение превышает d_{32} фильтра в исправном состоянии на 0,05 мкм, а также превышает максимальное значение d_{32} исправной последней ступени очистки с учетом регенерации $d_{32} = 0,42$ мкм.

Таким образом, минимальная кратность отказа, которую возможно обнаружить по возрастанию среднего объемно-поверхностного диаметра частиц $k=2$.

ОЦЕНКА СУЩЕСТВУЮЩИХ КРИТЕРИЕВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СВЕРХНОРМАТИВНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ

К существующим критериям возникновения сверхнормативных аэрозольных выбросов применяемым на производстве относятся возрастание массовой концентрации, изменение перепада давления на последней ступени очистки. Для сравнения существующих критериев с изменением среднего объемно-поверхностного диаметра частиц рассчитана минимальная кратность отказа, которую они позволяют обнаруживать.

Для оценки минимальной кратности отказа, которую возможно обнаружить по возрастанию концентрации, сравнивались колебания массовой концентрации до и после регенерации рукавного фильтра с возрастанием концентрации при различных кратностях отказа на примере прорыва рукавного фильтра.

Концентрация аэрозольных частиц определялась по формуле:

$$c = \int_{d_0}^{d_1} f(d) dd \quad (3)$$

где $f(d)$ – функция распределения частиц по размерам;
 d – диаметр аэрозольных частиц, мкм.

По ФРЧ до и после регенерации, рассчитанным в [4] были рассчитаны значения массовой концентрации до и после регенерации по формуле (3). Максимальное значение массовой концентрации после регенерации составило 0,033 г/м³.

По рассчитанным по формуле (1) ФРЧ при различных кратностях отказа были рассчитаны значения массовой концентрации при соответствующих кратностях отказа по формуле (3). При оцененной кратности отказа равной 4 значение массовой концентрации равно 0,034 г/м³ превышает максимальное значение массовой концентрации после регенерации. Отсюда минимальная кратность отказа, которую позволяет обнаруживать возрастание массовой концентрации $k = 4$.

Для оценки минимальной кратности отказа, которую возможно обнаружить по изменению перепада давления, сравнивались колебания перепада давления на последней ступени очистки, связанные с варьированием скорости очистки на первой ступени с изменением перепада давления при различных кратностях отказа на примере прорыва рукавного фильтра.

Гидравлическое сопротивление (перепад давлений) рукавного фильтра при прорыве рукава определяется по формуле:

(4)

где Q_p – расход воздуха через фильтровальную ткань рукавного фильтра с прорванным рукавом, м³/ч;

S – площадь фильтрации, м²;

$\Delta p_{\text{испр.}}$ – гидравлическое сопротивление исправного рукавного фильтра, Па;

u, u_p – скорость фильтрации исправного рукавного фильтра, рукавного фильтра с прорванным рукавом, м/мин.

Согласно [5] скорость на первой ступени очистки может изменяться на $\pm 15\%$ от оптимальной скорости очистки. Гидравлическое сопротивление рукавного фильтра при изменении скорости на $+15\%$ от оптимальной и на -15% от оптимальной скорости очистки соответственно составит:

(5)

(6)

где $\Delta p_{\text{опт.}}$ – гидравлическое сопротивление рукавного фильтра при оптимальной скорости очистки циклона, Па.

По результатам расчетов формул (5) и (6) гидравлическое сопротивление в результате колебаний скорости очистки изменяется в 1,83 раза. При оцененной кратности отказа 47 гидравлическое сопротивление рукавного фильтра до регенерации падает больше чем в 1,83 раза. Отсюда минимальная кратность отказа, которую позволяет обнаруживать изменение перепада давления $k=47$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изменение среднего объемно-поверхностного диаметра возможно использовать в качестве критерия возникновения сверхнормативных аэрозольных выбросов. При этом изменение среднего объемно-поверхностного диаметра позволяет обнаруживать сверхнормативные аэрозольные выбросы при минимальной кратности отказа в сравнении с существующими критериями возникновения таких выбросов.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

Q – расход газа, м³/ч;

f – функция распределения частиц по размерам;

η – степень очистки рукавного фильтра;

d – диаметр аэрозольных частиц;

S – площадь фильтрации, м²;

$\Delta p_{\text{испр.}}$ – гидравлическое сопротивление рукавного фильтра, Па;

u – скорость фильтрации рукавного фильтра, м/мин;

k – кратность отказа;

c – массовая концентрация, г/м³;

d_{32} – средний объемно-поверхностный диаметр, мкм.

Индексы:

прор. – через прорыв рукава;

вх. – на входе рукавного фильтра;

вых. – на выходе рукавного фильтра;

р.ф. – рукавный фильтр;

до рег. – до регенерации;

после рег. – после регенерации;

max – максимальное значение;

min – минимальное значение;

отказ – при отказе;

испр. – исправный рукавный фильтр;

опт. – при оптимальной скорости очистки циклона;

$v+15\%$ – при скорости на +15% от оптимальной;

$v-15\%$ – при скорости на -15% от оптимальной.

Работа выполнена при поддержке базовой части Госзадания Министерства образования и науки РФ, задание №5.7721.2017/БЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденин Е.И., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Лазерная система предупреждения аэрозольных выбросов //Безопасность в техносфере. 2014. № 5. С.25-31.

2. **Чартий П.В., Половченко С.В.** Восстановление функции распределения частиц по размерам с использованием методов лазерного зондирования // *Безопасность в техносфере*. 2014. № 6. С. 37-42.
3. **Веденин Е.И., Каунов В.С., Чартий П.В., Шеманин В.Г.** Лазерный сенсор для контроля параметров аэрозольных потоков // *Оптические методы исследования потоков: Труды XIII Международной научно технической конференции*. 2015. С.276-281.
4. **Веденин Е.И., Половченко С.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г.** Изменение функции распределения частиц по размерам при различных режимах работы пылеулавливающего оборудования. // *Безопасность в техносфере*. 2016. № 1. С.41-47.
5. **Биргер М.И., А.Ю. Вальдберг А.Ю., Б.И. Мягков Б.И. и др.** Справочник по пыле- и золоулавливанию Под ред. А.А. Русанова. // М.: Энергоатомиздат. 1983. 312 с.

Vedenin E.I., Charty P.V., Shemanin V.G.

Novorossiysk polytechnic institute KubSTU, Russia, Krasnodar region, Novorossiysk, 353900, 20 Karl Marx St., E-mail: vshemanin@nbkstu.org.ru

USING CHANGE OF AVERAGE VOLUME-SURFACE DIAMETER PARTICLES AS THE CRITERION OF THE EXCESS EMISSIONS OCCURRENCE

Appearance of excess aerosol emissions is a reason of change function of aerosol particles. A numeric parameter which allows to recover the distribution function of particle size is the mean volume-surface particle diameter, that allow to use change of mean volume-surface diameter as the criterion of the excess emissions occurrence. To evaluation of the effectiveness using mean volume-surface diameter as the criterion of the excess emissions occurrence introduced the term of the rate of failure. Estimated minimal rate of failure that allow to detect change of mean volume-surface diameter was less than minimal rate of failure that allow to detect existing criterion of the excess emissions occurrence such as growth mass concentration and differential pressure on the last stage of treatment change.

AVERAGE VOLUME-SURFACE DIAMETER, EXCESS AEROSOL EMISSIONS, THE RATE OF FAILURE, THE CRITERION OF THE EXCESS EMISSIONS OCCURRENCE