DOI: 10.17117/na.2016.03.03.195

Поступила (Received): 25.03.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.03.03.195.pdf>

Харди́ков И.П., Гонча́ров В.Б., Харла́мов Е.В.
Моделирование и расчет конструктивно-технологических параметров комбинированного зернистого фильтра

Khardikov I.P., Goncharov V.B., Kharlamov E.V.
Simulation and calculation of structural and technological parameters of combined particulate filter

Комбинированный зернистый фильтр представляет собой трехступенчатый пылеуловитель, объединяющий в общем корпусе циклонный элемент, зернистую насадку, занимающую нижнюю часть расширенной выхлопной трубы циклонного элемента и тканевую фильтровальную манжету, надетую на перфорированный выходной патрубок, закрытый снизу сплошным коническим днищем
Ключевые слова: зернистый фильтр, пылеуловитель, циклон, частица

Харди́ков Иван Павлович

Студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Гонча́ров Владислав Борисович

Студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Харла́мов Евгений Владимирович

Кандидат технических наук, доцент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Combined particulate filter is a three-stage dust collector, uniting in a common housing element cyclone, grain packing, occupying the lower part of the expanded exhaust pipe of the cyclone and fabric filter element collar, put on a perforated outlet, bottom-closed solid conical bottom

Key words: particulate filter, dust collector, cyclone, particle

Khardikov Ivan Pavlovich

Student

Belgorod state technological university named V.G. Shukhov

Belgorod, Kostyukova st., 46

Goncharov Vladislav Borisovich

Student

Belgorod state technological university named V.G. Shukhov

Belgorod, Kostyukova st., 46

Kharlamov Evgeniy Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Belgorod state technological university named V.G. Shukhov

Belgorod, Kostyukova st., 46

Площадь поверхности фильтровальной ткани должна быть больше площади зернистого слоя, а диаметры корпуса фильтра, зернистой насадки и выходного перфорированного патрубка находятся в следующем отношении [3]:

$$D_2 = (0,85...0,9)D_1 \text{ и } D_1 = (0,85...0,9)D. \quad (1)$$

Здесь D_2 , D_1 и D – диаметры выходного патрубка (тканевой насадки), зернистой насадки и корпуса фильтра, соответственно.

В тканевых фильтрах используются небольшие скорости фильтрования, обычно не больше 0,02 м/с [1, 2, 4, 5]. При использовании войлочных фильтровальных материалов эта скорость может быть доведена до 0,1 м/с, что значительно меньше скорости фильтрования через зернистый клинкерный слой.

Отсюда с учетом соотношения (1) вытекает определение высоты h_1 тканевой насадки:

$$h_1 = 0,25 \frac{w_3}{w_T} \frac{D_1^2}{D_2}, \quad (2)$$

где w_3 , w_T – скорости фильтрования через зернистый слой и фильтровальную ткань.

Процессы улавливания пыли в тканевых и зернистых фильтровальных перегородках в общем одни и те же, меняется лишь соотношение вкладов различных механизмов улавливания частиц.

Как и в зернистых слоях, в тканевых фильтрах ткань служит основой для формирования и удержания пылевого слоя (автослоя), который играет основную роль в улавливании частиц пыли [6, 7].

Гидравлическое сопротивление тканевой фильтровальной перегородки можно условно разделить на сопротивление самой ткани с оставшейся в ней после регенерации пылью и сопротивление автослоя, который накапливается на ткани на протяжении цикла фильтрования:

$$\Delta p = \Delta p_{з.т} + \Delta p_{а.с}. \quad (3)$$

Гидравлическое сопротивление чистой войлочной ткани, используемой в комбинированном пылеуловителе, найдено экспериментально и составляет $\Delta p_{ч.т} = 36$ Па. Выражение для полного гидравлического сопротивления тканевой фильтровальной перегородки получено путем обработки экспериментальных данных на основе формулы Козени-Кармана [2]:

$$\Delta p = \frac{8,17\mu w_T(1-\varepsilon)}{\delta_{50}^2 \varepsilon^3} \left(12,65 \cdot 10^{-6} \delta_{50}^{0,23} \varepsilon^3 (1-\varepsilon) h_0^{0,667} + \frac{3,2zw_T\tau}{\rho_{\text{ч}}} \right). \quad (4)$$

Входящие в соотношение (4) параметры для условий настоящей работы имеют следующие значения: $\mu = 1,8 \cdot 10^{-5}$ Па·с; $w_T = 0,1$ м/с; пористость слоя пыли $\varepsilon = 0,35$; входная концентрация пыли $Z = 0,0001...0,0005$ кг/м³; медианный размер частиц пыли $\delta_{50} = 5$ мкм; плотность частиц пыли $\rho = 2700$ кг/м³; удельное сопротивление чистой ткани $h_0 = 57$ Па; продолжительность фильтрования $\tau = 900...3600$ с (рис. 1).

Общую эффективность улавливания пыли тканевой фильтровальной перегородкой может быть оценена с помощью формулы:

$$\eta = 0,5(1 + \Phi(x)), \quad (5)$$

где $\Phi(x)$ – интеграл вероятности,

$$x = \frac{1}{2} \left(\frac{K_c \tau_p}{\mu^2 \tau} \right)^{0,5} \frac{\Delta p}{w_T}. \quad (6)$$

Здесь $K_c = 1,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$ – эмпирический коэффициент проницаемости слоя цементной пыли, фильтрующейся через войлок $\tau_p = \delta_{50} \rho_{\text{ч}} / 18 \mu$ – время релаксации частиц медианного размера, Δp – гидравлическое сопротивление тканевой перегородки, вычисляемое по формуле (4).

Рис. 1. Зависимость гидравлического сопротивления тканевой фильтровальной перегородки от скорости и продолжительности фильтрования

Значения интеграла вероятности могут быть найдены по таблицам или вычислены с помощью приближенной формулы:

$$\Phi(x) = 0,5 \left(2 - \left(1 - 0,049867x + 0,021141x^2 + 0,032x^3 + 0,000038x^4 \right)^{-16} \right). \quad (7)$$

Полное гидравлическое сопротивление пылеулавливателя равен сумме сопротивлений его ступеней

$$\Delta p = \Delta p_{\text{ц}} + \Delta p_{\text{з}} + \Delta p_{\text{т}}, \quad (8)$$

и в зависимости от продолжительности фильтрования может изменяться в пределах от 100 до 2070 Па.

Полная эффективность комбинированного пылеуловителя определяется по формуле:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_{\text{ц}}) K (1 - \eta_{\text{т}}) \quad (9)$$

и в зависимости от продолжительности фильтрования может изменяться от 98,5 до 99,97 %.

Исходными данными для расчета комбинированного зернистого фильтра для улавливания цементных пылей являются физико-механические свойства пыли, ее входная концентрация, объемный расход аспирируемого воздуха, его температура и влажность, характеристики зернистого материала и фильтровальной ткани, требуемая концентрация пыли на выбросе в атмосферу.

Список используемых источников:

1. Агарков А.М. Двумерные уравнения динамики потока воздуха в концентраторе // Интерстроймех-2015. Казань, 2015. С. 7-11.

2. Азарков А.М., Шарапов Р.Р., Бойчук И.П., Прокопенко В.С. Гидравлическое сопротивление концентратора // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 160–163.
3. Кабанов С.Ю. Комбинированный зернистый фильтр: дис. канд. техн. наук: 05.02.13. Белгород, 2011. 162 с.
4. Прокопенко В.С., Шарапов Р.Р., Азарков А.М., Шарапов Р.Р. Оптимизация работы оборудования для получения тонкодисперсных порошков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. №1. С. 80–83.
5. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. М.: Химия, 1967. 344 с.
6. Шарапов Р.Р., Бойчук И.П., Азарков А.М., Прокопенко В.С. Уравнение движения взвешенной в потоке воздуха частицы в концентраторе // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 175–178.
7. Шарапов Р.Р., Прокопенко В.С., Азарков А.М. Моделирование процесса разделения тонкодисперсных материалов в динамических сепараторах // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 84–89.

© 2016, Харди́ков И.П., Гонча́ров В.Б., Харла́мов Е.В.
Моделирование и расчет конструктивно-технологических параметров комбинированного зернистого фильтра

© 2016, Khardikov I.P., Goncharov V.B., Kharlamov E.V.
Simulation and calculation of structural and technological parameters of combined particulate filter