

УДК [677.075:66.067.33]:517

ФИЛЬТРАЦИЯ АЭРОЗОЛЕЙ ТРИКОТАЖНЫМ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫМ МАТЕРИАЛОМ

И.Г. ЧЕРНОГУЗОВА

(Витебский государственный технологический университет)

Исследуется фильтрация аэрозолей трикотажным фильтровальным материалом. Основываясь на положениях теории фильтрации аэрозолей через пористые слои, получено уравнение фильтрации аэрозолей трикотажным фильтровальным материалом, описывающее взаимосвязь коэффициента проскока частиц со структурными характеристиками трикотажного материала. Уравнение может быть рекомендовано к практическому использованию при определении коэффициента проскока частиц на стадии проектирования трикотажного фильтровального материала с заданными эксплуатационными свойствами без проведения дополнительных экспериментальных исследований.

Для подтверждения точности полученного уравнения фильтрации аэрозолей проведены теоретические и экспериментальные исследования трикотажных фильтровальных материалов, выработанных платированным и комбинированным переплетениями. Результаты экспериментальных исследований трикотажных фильтровальных материалов, выработанных платированным и комбинированным переплетениями, свидетельствуют об адекватности полученного уравнения фильтрации аэрозолей.

Введение. Оценка фильтрующих свойств нового фильтровального материала, выбор способа и режимов его регенерации, проектирование фильтров требует информации о закономерностях и характеристиках процесса фильтрования, которые реализуются при использовании данного материала. Известно, что задерживающая способность, пылеемкость, аэродинамическое сопротивление фильтровального материала зависят от скорости газового потока, дисперсного и минералогического состава аэрозоля, влажности газовой среды и самого фильтровального материала, электрического заряда частиц аэрозоля и фильтровального материала и т.д. Однако в большей степени показатели фильтрующих свойств зависят от параметров, характеризующих структуру фильтровального материала.

В настоящее время экспериментальные исследования фильтровальных материалов являются единственным способом получения информации о фильтрующих свойствах и выбора фильтровального материала конкретной структуры для заданных условий работы фильтра. Такие эксперименты требуют больших временных и материальных затрат как на изготовление образцов фильтровальных материалов, так и на их испытания. В связи с этим большой практический интерес представляет возможность теоретического определения основных показателей фильтрующих свойств фильтровальных материалов для заданных условий эксплуатации. Особенно важное значение теоретическое описание процесса фильтрования имеет для фильтрующих перегородок из трикотажа, которые в последнее время пользуются большой популярностью как на отечественном, так и зарубежном рынках фильтровальных материалов.

Анализ отечественных и зарубежных информационных ресурсов в области теории фильтрации аэрозолей текстильными фильтровальными материалами показал наличие попыток теоретического описания процесса фильтрования волокнистыми [1 – 3] и ткаными [4 – 6] фильтрами и практически полное отсутствие информации в отношении фильтровальных материалов из трикотажа.

В связи с этим, **целью настоящей работы** являлось получение уравнения фильтрации аэрозолей трикотажным фильтровальным материалом, позволяющее описать взаимосвязь коэффициента проскока частиц со структурными характеристиками фильтровального материала из трикотажа на стадии проектирования полотна.

Получение уравнения фильтрации аэрозолей трикотажным фильтровальным материалом. Основываясь на положениях теории фильтрации аэрозолей через пористые слои [1 – 3], составим уравнение фильтрации для трикотажных фильтровальных материалов.

Примем, что трикотажный фильтровальный материал представляет собой фильтрующий слой одинаковой плотности упаковки. Фильтрующий слой образован элементами петельной структуры трикотажа из нитей одного диаметра, расположенных перпендикулярно потоку аэрозоля. Составим уравнение баланса осевших на фильтрующий слой твердых частиц аэрозоля и убывших из газового потока при прохождении его через фильтровальный материал:

$$-v dz = \frac{\eta_s v' z d(S_n)}{S}, \quad (1)$$

где v – средняя скорость газового потока со взвешенными в нем твердыми частицами, набегающего на фильтровальный материал; v' – средняя скорость газового потока со взвешенными в нем твердыми ча-

стицами, при прохождении его через структуру фильтровального материала; η_{Σ} – коэффициент захвата твердых частиц петель трикотажного фильтровального материала под влиянием всех механизмов осаждения (инерции, броуновского движения, гравитационного осаждения, ситового эффекта); z – концентрация твердых частиц в аэрозоле; S_n – суммарная поверхность петли трикотажного фильтровального материала; S – лобовая поверхность фильтровального материала, равная 1 м^2 .

$$\frac{d(S_n)}{S} = \frac{d(\pi d l_n)}{1}, \quad (2)$$

где S_n – суммарная поверхность петли трикотажного фильтровального материала; S – лобовая поверхность фильтровального материала, равная 1 м^2 ; d – диаметр нити в петле; l_n – длина нити в петле.

В уравнении (2) произведение длины нити в петле на диаметр нити можно выразить через поверхностное заполнение трикотажного фильтровального материала и такие технологические параметры трикотажа, как петельный шаг и высота петельного ряда. Учитывая, что петельный шаг и высота петельного ряда взаимосвязаны известной из трикотажного материаловедения зависимостью с числом петельных столбиков на 10 см и числом петельных рядов на 10 см , уравнение (2) может быть преобразовано в уравнение (3):

$$\frac{d(S_n)}{S} = \frac{d(\pi E_s 10000)}{N_c N_p}, \quad (3)$$

где S_n – суммарная поверхность петли трикотажного фильтровального материала; S – лобовая поверхность фильтровального материала, равная 1 м^2 ; E_s – поверхностное заполнение трикотажного фильтровального материала; 10000 – переводной коэффициент; N_c – число петельных столбиков на 10 см ; N_p – число петельных рядов на 10 см .

Известно [2, 3], что средняя скорость газового потока со взвешенными в нем твердыми частицами, при прохождении через фильтровальный материал определяется с помощью уравнения (4):

$$v' = \frac{v}{1 - \alpha}, \quad (4)$$

где v' – средняя скорость газового потока со взвешенными в нем твердыми частицами, при прохождении через структуру фильтровального материала; v – средняя скорость газового потока со взвешенными в нем твердыми частицами, набегающего на фильтровальный материал; α – плотность упаковки фильтровального материала, равная отношению плотности фильтровального материала к плотности использованных для его изготовления нитей.

Применительно к фильтровальному материалу из трикотажа, плотность его упаковки может быть выражена через среднюю плотность трикотажа и среднюю плотность нитей, используемых для его изготовления, т.е.

$$\alpha = \frac{\delta}{\delta_n}, \quad (5)$$

где α – плотность упаковки трикотажного фильтровального материала; δ – средняя плотность трикотажа; δ_n – средняя плотность нитей.

Из текстильного материаловедения [7, 8] известно, что отношение, представленное в правой части уравнения (5) есть не что иное, как объемное заполнение трикотажного материала, выраженное в долях единицы.

Тогда, с учетом вышесказанного, уравнение (4) примет вид:

$$v' = \frac{v}{1 - E_v}, \quad (6)$$

где v' – средняя скорость газового потока со взвешенными в нем твердыми частицами, при прохождении через структуру фильтровального материала; v – средняя скорость газового потока со взвешенными в нем твердыми частицами, набегающего на фильтровальный материал; E_v – объемное заполнение трикотажного фильтровального материала.

Подставляя уравнения (3), (6) в уравнение баланса (1) получим:

$$-v dz = \eta_{\Sigma} \frac{v}{1-E_V} z \frac{d(\pi E_S 10000)}{N_c N_p}, \quad (7)$$

где v – средняя скорость газового потока со взвешенными в нем твердыми частицами, набегающего на фильтровальный материал; v' – средняя скорость газового потока со взвешенными в нем твердыми частицами, при прохождении его через структуру фильтровального материала; η_{Σ} – коэффициент захвата твердых частиц петель трикотажного фильтровального материала под влиянием всех механизмов осаждения (инерции, броуновского движения, гравитационного осаждения, ситового эффекта); z – концентрация твердых частиц в аэрозоле; E_S – поверхностное заполнение трикотажного фильтровального материала; 10000 – переводной коэффициент; N_c – число петельных столбиков на 10 см; N_p – число петельных рядов на 10 см.

После сокращения множителей и преобразования уравнения (7) получим

$$-\frac{dz}{z} = \eta_{\Sigma} \frac{d(\pi E_S 10000)}{(1-E_V) N_c N_p}. \quad (8)$$

Проинтегрируем выражение (8)

$$\int -\frac{dz}{z} = \int \eta_{\Sigma} \frac{d(\pi E_S 10000)}{(1-E_V) N_c N_p}; \quad (9)$$

$$\ln \frac{z}{z_0} = -\eta_{\Sigma} \frac{\pi E_S 10000}{(1-E_V) N_c N_p}; \quad (10)$$

$$\frac{z}{z_0} = e^{-\eta_{\Sigma} \frac{\pi E_S 10000}{(1-E_V) N_c N_p}}. \quad (11)$$

Соотношение, представленное в левой части уравнения (11), характеризует отношение твердых частиц z , пропущенных трикотажным фильтровальным материалом, к частицам z_0 , поступившим на него с газовым потоком. Из физического смысла данного соотношения следует, что оно есть не что иное, как математическое выражение такого показателя фильтрующих свойств фильтровального материала как «коэффициент проскока частиц» K_0 , стандартная методика определения которого регламентируется ГОСТ 30201-94 [9].

Учитывая, что трикотажный фильтровальный материал имеет некоторую толщину, которая оказывает влияние на значения показателей фильтрующих свойств, то с ее учетом уравнение (11) примет вид:

$$K_0 = e^{-\eta_{\Sigma} \frac{\pi E_S 10000 h}{(1-E_V) N_c N_p}}, \quad (12)$$

где K_0 – коэффициент проскока частиц; E_S – поверхностное заполнение трикотажного фильтровального материала; 10000 – переводной коэффициент; h – толщина трикотажного фильтровального материала; E_V – объемное заполнение трикотажного фильтровального материала; N_c – число петельных столбиков на 10 см; N_p – число петельных рядов на 10 см.

Уравнение (12) представляет собой основное уравнение фильтрации аэрозолей трикотажным фильтровальным материалом и может быть использовано для определения коэффициента проскока частиц с учетом структурных особенностей фильтровального материала из трикотажа. Все переменные величины, входящие в состав указанного уравнения, могут быть легко найдены экспериментально или расчетным путем. Так, число петельных рядов на 10 см, число петельных столбиков на 10 см, толщина трикотажного фильтровального материала определяются по стандартным методикам, коэффициент захвата твердых частиц – экспериментально в процессе фильтрования аэрозолей, поверхностное и объемное заполнения – экспериментально или расчетным путем по известным зависимостям [7, 8, 10].

Особого внимания заслуживает рассмотрение полученного уравнения фильтрации аэрозолей применительно к трикотажным фильтровальным материалам, выработанным двух- и многоребеночным переплетениями, т.е. имеющими неоднородную структуру по толщине материала. В данном случае пред-

лагается введение такого показателя как коэффициент соотношения минимального размера сквозных пор в трикотажном фильтровальном материале и минимального размера частиц фильтруемого аэрозоля K_p . С учетом K_p уравнение (12) примет вид:

$$K_0 = e^{-\eta_2 \frac{\pi E_s 10000 h K_p}{(1-E_v) N_c N_p}}. \quad (13)$$

Введение в уравнение фильтрации аэрозолей коэффициента соотношения минимальных размеров пор и частиц аэрозоля K_p позволяет учесть многослойность и неоднородность структуры фильтровального материала из трикотажа и получить формулу расчета коэффициента проскока частиц с учетом структурных характеристик фильтровального материала и дисперсности фильтруемого аэрозоля.

Апробация уравнения фильтрации аэрозолей трикотажным фильтровальным материалом. Для подтверждения точности полученного уравнения фильтрации аэрозолей проведены теоретические и экспериментальные исследования трикотажных фильтровальных материалов, выработанных платированным и комбинированным переплетениями. Экспериментальные исследования проводились с использованием методики определения показателей фильтрующих свойств, основанной на методе весового анализа [11, 12].

Для испытаний использовали калиброванную доломитовую пыль с полидисперсным составом до 140 мкм. Значения структурных характеристик трикотажных фильтровальных материалов, теоретически и экспериментально полученных коэффициентов проскока частиц, а также отклонения фактических значений коэффициента проскока частиц от теоретических приведены в таблице.

Исходные данные
для расчета коэффициента проскока частиц трикотажных фильтровальных материалов

Наименование показателя	Вариант трикотажного фильтровального материала			
	1	2	3	4
Число петельных столбиков на 10 см	117	116	118	114
Число петельных рядов на 10 см	148	186	182	189
Толщина материала, мм	0,90	0,80	0,68	0,63
Поверхностное заполнение, доля	0,9997	0,9998	0,9999	0,9999
Объемное заполнение, доля	0,731	0,813	0,974	0,990
Коэффициент соотношения минимальных размеров пор в трикотажном фильтровальном материале и частиц аэрозоля	0,745	0,830	0,170	0,074
Коэффициент проскока частиц, рассчитанный по формуле (13)	0,0106	0,0058	0,001	0,001
Коэффициент проскока частиц, полученный экспериментально	0,011	0,006	0,001	0,001
Относительное отклонение, %	3,7	3,4	0	0

В процессе расчета коэффициента проскока частиц по формуле (13) значение коэффициента захвата твердых частиц петель трикотажного фильтровального материала принято равным единице, что не противоречит характеру осаждения пыли, так как в используемой методике испытаний пыль определенной концентрации (массы) располагается на поверхности фильтровального материала до момента подачи воздушного потока через фильтровальный материал.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что полученное уравнение фильтрации аэрозолей трикотажным фильтровальным материалом достаточно точно описывает взаимосвязь коэффициента проскока частиц со структурными характеристиками исследованных трикотажных фильтровальных материалов, что подтверждается невысокими значениями отклонения коэффициента проскока частиц, полученного экспериментально, от его расчетного значения (до 3,7 %). Для определения возможности применения его для трикотажных фильтровальных материалов других структур целесообразно проведение дополнительных исследований.

Заключение. Основываясь на положениях теории фильтрации аэрозолей через пористые слои, с использованием элементов трикотажного материаловедения и приемов математического описания объектов впервые разработано уравнение фильтрации аэрозолей трикотажным фильтровальным материалом. Полученное уравнение фильтрации аэрозолей описывает экспоненциальную зависимость показателя

фильтрующих свойств «коэффициент проскока частиц» со структурными характеристиками фильтровального материала из трикотажа. Результаты экспериментальных исследований трикотажных фильтровальных материалов, выработанных платированным и комбинированным переплетениями, свидетельствуют об адекватности полученного уравнения фильтрации аэрозолей. Уравнение фильтрации аэрозолей трикотажным фильтровальным материалом может быть рекомендовано к практическому использованию для определения коэффициента проскока частиц на стадии производства фильтровальных материалов из трикотажа, способствуя экономии затрат на проведение соответствующих испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русанов, А.А. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике / А.А. Русанов, И.И. Урбах, А.П. Анастасиади. – М.: Энергия, 1969. – 456 с.
2. Пирумов, А.И. Обеспыливание воздуха / А.И. Пирумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 296 с.: ил. – (Охрана окружающей среды).
3. Хлебников, Ю.П. Фильтры систем кондиционирования воздуха и вентиляции / Ю.П. Хлебников. – М.: Стройиздат, 1990. – 128 с.: ил. – (Охрана окружающей среды).
4. Рукавные фильтры / М.Л. Моргулис [и др.]. – М.: Машиностроение, 1977. – 256 с.
5. Юдашкин, М.Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии / М.Я. Юдашкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1984. – 320 с.
6. Обеспыливание газообразных продуктов сгорания тканями рукавными фильтрами / Б.А. Пермяков [и др.]. – Ашхабад, 1989. – 75 с.
7. Кукин, Г.Н. Текстильное материаловедение / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев. – М.: Легкая индустрия, 1967. – 302 с.
8. Кобляков, А.И. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению: учеб. пособ. для вузов / А.И. Кобляков, Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев ; под общ. ред. А.Н. Коблякова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 344 с.
9. ГОСТ 30201-94. Материалы текстильные для фильтрации промышленных аэрозолей. Метод определения массовой концентрации пыли за фильтром. – Введ. 1996-01-01. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Минск: Белстандарт, 1994. – 9 с.
10. Шалов, И.И. Технология трикотажного производства: основы теории вязания / И.И. Шалов, А.С. Далидович, Л.А. Кудрявин. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 296 с.
11. Черногузова, И.Г. Разработка новой методики определения фильтрующей способности текстильных фильтровальных материалов / И.Г. Черногузова // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2006. – № 6. – С. 66 – 74.
12. Коган, М.А. Методика определения фильтрующей способности текстильных фильтровальных материалов / М.А. Коган, И.Г. Черногузова // Метрологическое обеспечение, стандартизация и сертификация в сфере услуг: междунар. сб. науч. трудов / Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса; ред. кол.: В.Т. Прохоров [и др.]. – Шахты, 2006. – С. 42 – 45.

Поступила 24.04.2007