

Разговор на чистоту

Вследствие постоянного увеличения загрязнения воздуха, вызванного ростом человеческой активности в таких областях, как автотранспорт, авиация, развитие промышленности, люди стали все чаще задумываться об ущербе для здоровья, наносимом загрязненным воздухом. Это привело к повышению спроса на качественные фильтры для систем вентиляции. А в некоторых отраслях, например, в операционных, а также в фармацевтической и микроэлектронной промышленности, в которых требования к чистоте воздуха еще выше, все шире используются фильтры сверхвысокой эффективности, задерживающие даже бактерии и вирусы.

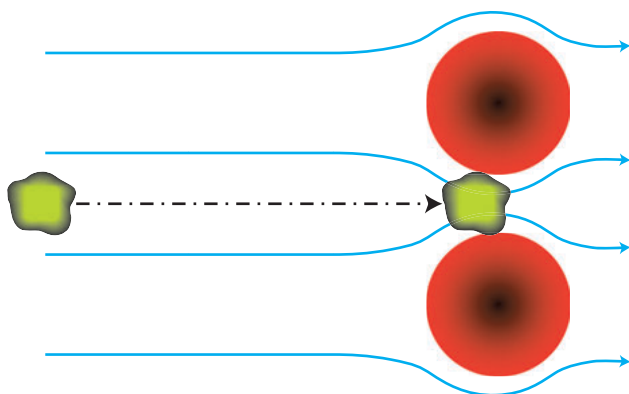
Основы фильтрации

Что же такое фильтрация воздуха?

В механизме фильтрации нет ничего сложного, но, тем не менее, существуют некоторые особенности. Поэтому вначале рассмотрим теорию фильтрации.

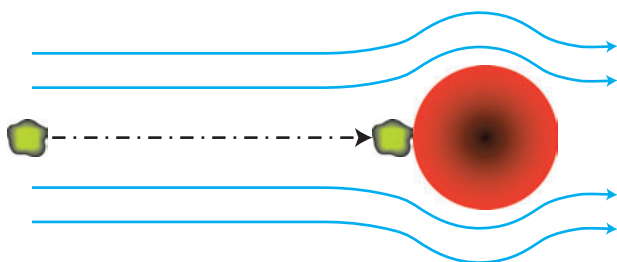
Существуют следующие основные принципы:

1. Эффект отсеивания.



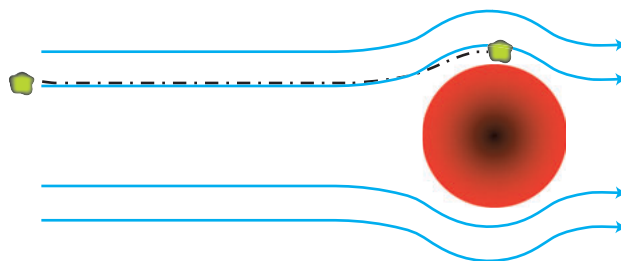
Задерживаются частицы с диаметром, превышающим зазор между волокнами.

2. Эффект инерции.



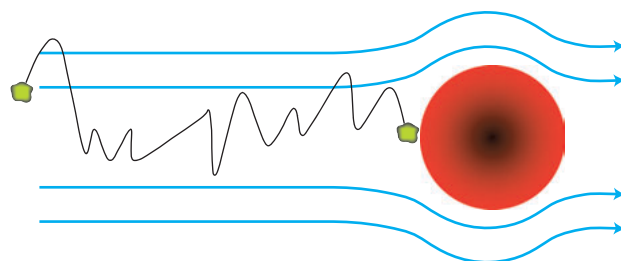
Крупные частицы имеют массу и импульс, достаточные для того, чтобы не отклоняться от линии тока воздуха и столкнуться с волокном фильтра при обтекании его воздушным потоком.

3. Эффект перехвата.



Небольшие легкие частицы следуют с потоком воздуха вокруг волокна фильтра. Если частица следует по траектории, которая расположена от волокна на расстоянии менее ее радиуса, то происходит зацепление, и частица касается волокна.

4. Эффект диффузии.



Частицы с малой массой не следуют линиям потока воздуха вокруг волокна фильтра. Их хаотическое движение (известное как броуновское движение) вызвано постоянными столкновениями с другими частицами и молекулами газа, в котором они находятся во взвешен-

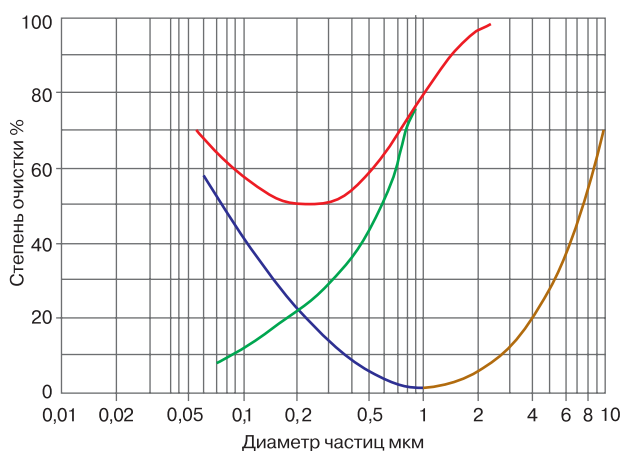
ном состоянии. В процессе такого движения частицы могут касаться волокон фильтра или ранее захваченных частиц.

На частицы, столкнувшиеся с волокном фильтра или с ранее осевшей частицей, действуют значительные силы, величина которых достаточно велика, чтобы удержать частицу.

Существует еще электростатический эффект, но он постепенно ослабевает с течением времени, кроме того, он чувствителен к выхлопам дизельных двигателей.

Считается, что эффект отсеивания играет значительно меньшую роль, т.к. он важен только для частиц большого размера, количество которых в воздухе очень мало.

Общая эффективность фильтра тонкой очистки является суммой различных механизмов удаления частиц из воздуха.



Кривая синего цвета - эффект диффузии.

Кривая зеленого цвета - эффект перехвата.

Кривая коричневого цвета (продолжение синей) - эффект инерции.

Красная кривая - общая эффективность очистки.

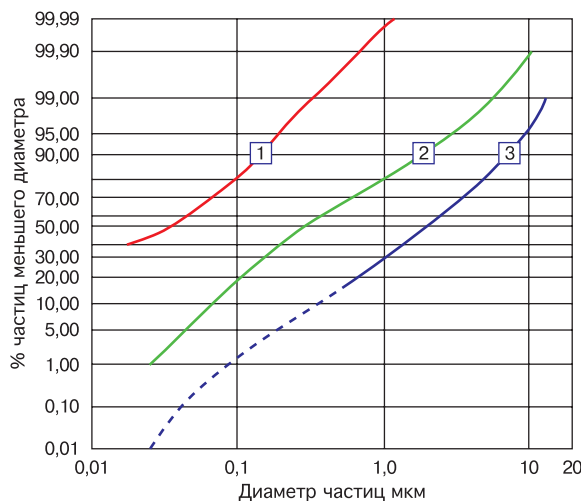
Очень важно отметить, что если размер частицы менее 1 мкм, то имеет значение только эффект перехвата и диффузии, в то время как для более крупных частиц действуют эффекты инерции и перехвата.

На эффективность фильтрации влияют различные факторы.

Эффект фильтрации	Увеличение			
	Скорости	Размера частиц	Диаметра волокна	Плотности волокна
Диффузия	Уменьшение	Уменьшение	Уменьшение	Увеличение
Перехват	Не зависит	Увеличение	Уменьшение	Уменьшение
Инерция	Увеличение	Увеличение	Уменьшение	Увеличение

Низкая скорость повышает эффект диффузии и понижает эффект инерции. Это означает, что для отделения малых частиц необходима низкая скорость, а для крупных частиц - высокая скорость. Необходимо также волокно меньшего диаметра. Поэтому волокно из синтетического материала, например, полиэфир, полипропилен и др. реже используются для тонкой фильтрации. Для этого используется материал на основе тончайших стекловолоконных нитей.

Теперь рассмотрим распределение частиц разного размера в атмосферной пыли.



На рисунке показаны кривые распределения частиц по количеству, массе и их площади.

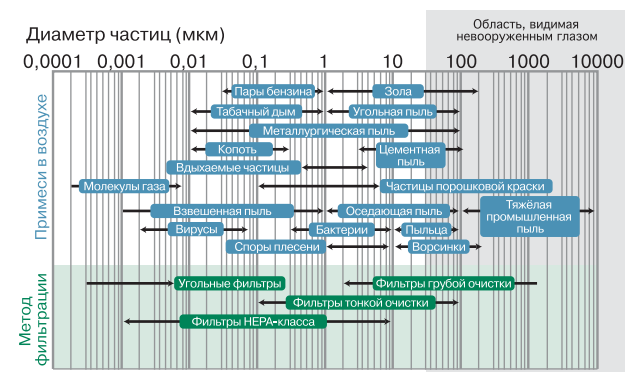
Кривая 1 показывает процентное содержание частиц меньше определенного размера в воздухе. Данные получены с помощью электронного микроскопа.

Кривая 2 показывает распределение площади частиц. Расчетные данные.

Кривая 3 показывает распределение массы частиц атмосферной пыли. Пунктирная часть кривой получена расчетным путем.

Интересно отметить, что более 99,9% частиц имеют размер менее 1 мкм и частицы размером менее 1 мкм составляют приблизительно 30% веса всех частиц.

Теперь рассмотрим различные типы частиц, встречающиеся в воздухе.



Здесь можно видеть, что большинство опасных для здоровья человека частиц, например, бактерии, вирусы, масляный и табачный дым, металлургическая пыль имеют размер менее 1 мкм.

Сделаем выводы, чтобы выделить главное.

- 99,9% всех частиц в атмосфере имеют размер менее 1 мкм.
- Все вредные для здоровья человека частицы имеют размер менее 1 мкм.

Следовательно, качественные фильтры должны отделять частицы размером менее 1 мкм, поэтому необходимо использовать эффекты диффузии и перехвата и предпочтительнее применять для фильтров стекловолоконный материал.

О характеристиках воздушных фильтров трудно судить по внешнему виду, а частицы, которые они должны улавливать, часто не видны невооруженным глазом.

Как же оценивается качество фильтра?

Классификация фильтров

Зная распределение частиц в атмосферном воздухе и принцип действия фильтров, легче понять методы, используемые для испытаний воздушных фильтров.

Используемый в настоящее время в России стандарт ГОСТ Р 51251-99 состоит из двух частей. Первая касается фильтров общего назначения и содержит два метода испытаний: один для фильтров, отделяющий в основном крупные частицы (более 2 мкм) с использованием эффектов отсеивания, инерции и перехвата. В этом методе говорится о весовом улавливании фильтра. Так как крупные частицы являются также тяжелыми, то величина улавливания всегда большая (80-95% - нормальные значения). Эти фильтры называются фильтрами грубой очистки.

Второй метод предназначен для фильтров, улавливающих все частицы, в том числе и менее 1 мкм. В этом методе говорится об эффективности фильтра по атмосферной пыли. Эти фильтры называются фильтрами тонкой очистки.

В обоих случаях результат дается в процентах. Интересно отметить, что эффективность фильтров, например, со степенью очистки 65% и 85%, что соответствует классам F6 и F7 различается не на 20%, как можно было подумать, а более чем вдвое.

Стандарт России ГОСТ Р 51251-99 гармонизирован с европейскими стандартами EN 779 и EN 1822.

Новый европейский стандарт EN 779 вступит в силу в ближайшее время. Стандарт EN 779 классифицирует характеристики фильтров по средней эффективности очистки воздуха от частиц размером 0,4 мкм. Для измерения эффективности очистки используется подсчет частиц. Сегодня лазерный луч и современная электроника позволяют считать и сортировать частицы до размера 0,1 мкм. Вместе с компьютером, который быстро анализирует результаты, это дает возможность использовать только один метод измерения и сравниваемой регистрации для всех типов фильтров. Эффективность фильтрации для частиц разного размера дает более понятный и однозначный результат.

Стандарт EN 1822 классифицирует высокоэффективные фильтры - фильтры HEPA и ULPA. Что же это за фильтры?

Для того чтобы гарантировать удаление из подаваемого воздуха взвешенных частиц и микроорганизмов, применяются фильтры более высокой эффективности, чем те, о которых мы говорили ранее. Лучшие из фильтров, применяемых для обычных систем вентиляции, могут улавливать такие частицы с эффективностью не выше 99%. В некоторых областях

промышленности, например, в фармацевтической или микроэлектронной такой эффективности недостаточно.

Вернемся к графику эффективности фильтра - сумме различных механизмов фильтрации. Видно, что кривая степени очистки имеет минимум для частиц размером 0,1 - 0,3 мкм. Частицы такого размера являются наиболее трудно уловимыми для воздушных фильтров. Размер частиц, соответствующий минимальной эффективности фильтра, называется «размером частиц с максимальной проникающей способностью» - MPPS (Most Penetrating Particle Size). Стандарт EN 1822 описывает метод определения эффективности фильтров, а также их классификацию, основываясь на эффективности для частиц MPPS. Во второй части стандарта ГОСТ Р 51251-99, касающейся фильтров, обеспечивающих специальные требования к чистоте воздуха, эффективность также определяется для частиц MPPS.

До начала 80-х годов для высокоэффективной фильтрации воздуха применялись фильтры HEPA (High Efficiency Particulate Air). Минимальная эффективность таких фильтров составляет примерно 99,97% для частиц размером 0,3 мкм. Однако современное производство интегральных микросхем достигло уровня, требующего применения фильтров более эффективных, чем HEPA, т.е. гарантирующих удаление из воздуха большего числа еще более мелких частиц. Такие фильтры получили название ULPA (Ultra Low Penetration Air) фильтры, т.е. фильтры с ультранизкой проникаемостью. Их эффективность достигает 99,9999% для частиц размером 0,12 мкм.

Классификация фильтров очистки воздуха выглядит следующим образом.

Группа фильтров	Класс фильтра	Средняя эффективность, %	
		Ес	Еа
Фильтры грубой очистки	G1	Ес < 65	-
	G2	65 < Ес < 80	-
	G3	80 < Ес < 90	-
	G4	90 < Ес	-
Фильтры тонкой очистки	F5	-	40 < Еа < 60
	F6	-	60 < Еа < 80
	F7	-	80 < Еа < 90
	F8	-	90 < Еа < 95
	F9	-	95 < Еа

Ес - эффективность, определяемая по синтетической пыли весовым методом (по разности массовой концентрации частиц до и после фильтра);

Еа - эффективность, определяемая по атмосферной пыли.

В основном для определения минимальной эффективности фильтров классов H10 - U17 используют интегральное значение эффективности.

Группа фильтра	Класс фильтра	Интегральное значение		Локальное значение	
		Эффективности, %	Кэфф. проскока, %	Эффективности, %	Кэфф. проскока, %
HEPA, фильтры высокой эффективности	H10	85	15	-	-
	H11	95	5	-	-
	H12	99.5	0.5	97.5	2.5
	H13	99.95	0.05	99.75	0.25
	H14	99.995	0.005	99.975	0.025
ULPA, фильтры сверхвысокой эффективности	U15	99.9995	0.0005	99.9975	0.0025
	U16	99.99995	0.00005	99.99975	0.00025
	U17	99.999995	0.000005	99.99999	0.0001