ОСНОВЫ ФИЛЬТРАЦИИ. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СТАТЬЯ. ЧАСТЬ 1

Введение

Фильтры играют важнейшую роль в любом промышленном производстве. Фильтрация - это отделение частиц от среды (жидкости или газа) посредством пропускания ее через проницаемый фильтрующий материал.[1] При высоких содержаниях частиц в фильтруемой жидкости этот процесс представляет собой удаление большого объема загрязнения. Если же содержание частиц очень мало (не более 0,01 %), то процесс называют обеспечением заданной чистоты среды.

В большинстве случаев фильтры Pall используются для удаления частиц размером от 1 до 40 микрометров и более. Мельчайшая различимая невооруженным глазом карандашная точка имеет приблизительно 40 микрометров в диаметре. Один микрометр равен 1/1000 миллиметра, а один миллиметр приблизительно одной двадцать пятой дюйма.

Вместо названия «микрометр» обычно используется более короткая форма «микрон». Обозначение микрона – мкм.

Механизмы фильтрации

Существуют три механизма отделения взвешенных твердых частиц из жидкости: инерционное соударение, диффузионное задержание, непосредственное задержание. Относительная важность и вклад каждого механизма зависит от типа фильтра и фильтруемой жидкости.

1. Инерционное соударение

Частицы в потоке фильтруемой жидкости обладают массой и скоростью и, следовательно, соответствующей инерцией движения. При прохождении жидкости с находящимися в ней частицами через фильтр, жидкость протекает по пути наименьшего сопротивления, обтекая волокна фильтрующего материала. Вследствие инерции твердые частицы стремятся двигаться в прямом направлении, поэтому частицы, расположенные в потоке ближе к векторам потока, проходящим через оси волокон или близким к нему, удаляются из потока за счет столкновений с волокнами или взаимодействия с ними. Этот процесс показан на рисунке 1.

На рисунке видно как поток обтекает волокна фильтрующего материала в то время, как частицы, продолжая движение в прежнем направлении (показано пунктирной линией), ударяются о волокна. Как правило, частицы больших размеров с большей вероятностью отклоняются от направления потока, чем мелкие. Однако, если частицы мало отличаются по плотности от фильтруемой жидкости, то отклонение от линии потока мало, и механизм инерционного соударения в процессе фильтрации играет незначительную роль.

2. Диффузионное задержание

Очень мелкие частицы (т.е. с очень малой массой) можно отделять за счет механизма диффузионного задержания. В этом случае частицы сталкиваются с молекулами фильтруемой жидкости. Из-за таких многократных столкновений взвешенные частицы случайным образом движутся около векторов основного направления потока. Такое движение частиц, называемое «броуновским», можно наблюдать через микроскоп. Броуновское движение приводит к отклонению траекторий мелких частиц от направления векторов потока среды и, следовательно, к повышению вероятности их столкновения с волокнами фильтрующего материала и удалению из потока. На рисунке 2 показано броуновское движение частиц в потоке и их задержание волокнами фильтрующего материала. Диффузионный перехват имеет небольшое значение при фильтрации жидкостей, и очень существенное при фильтрации газов.

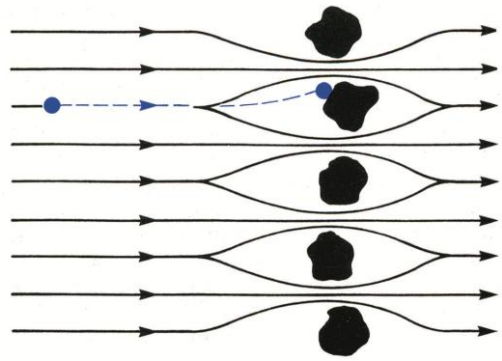


Рисунок 1. Инерционное соударение

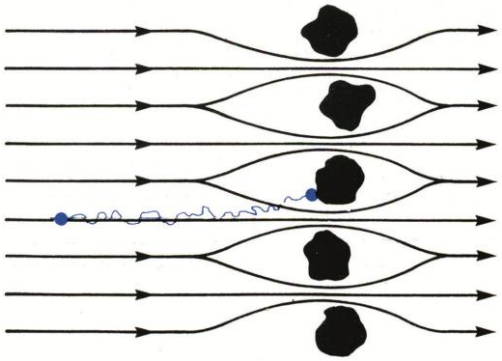


Рисунок 2. Диффузионное задержание

[1] Проницаемый материал – материал со связанными между собой порами, за счет которых обеспечивается протекание жидкости через материал.

3. Непосредственное задержание

В то время как эффективность инерционного соударения и диффузионного задержания при фильтрации жидкостей значительно ниже, чем при фильтрации газов, механизм непосредственного задержания одинаково эффективен в обоих случаях, а при фильтрации жидкостей является основным. Фильтрующий материал в действительности состоит из большого количества волокон. Через пространство между волокнами и проходит фильтруемая жидкость. Если размер частиц превышает размер пор или промежутков в фильтрующем материале, они удаляются из потока, задерживаясь непосредственно в этих порах. Данный механизм фильтрации показан на рисунке 3.

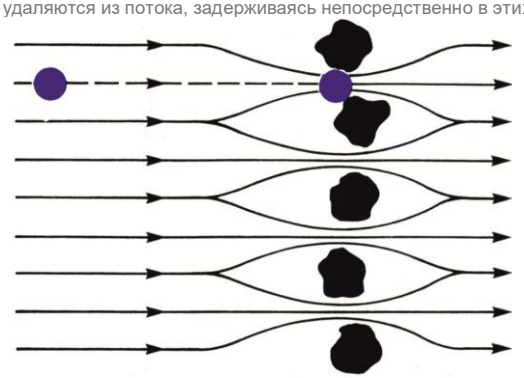


Рисунок 3. Непосредственное задержание

Непосредственное задержание легко понять на примере фильтра из плетеной проволочной сетки с одинаковыми размерами ячеек и очень небольшой толщины самой сетки (или малой глубины материала). В этом случае, если частица проходит через ячейку сетки, то она попадает в выходящий поток. Однако такой фильтр будет задерживать очень большой процент частиц, размер которых меньше размера ячеек или пор фильтрующего материала. Несколько факторов, помогающих объяснить это, описываются ниже и проиллюстрированы на рисунке 4.

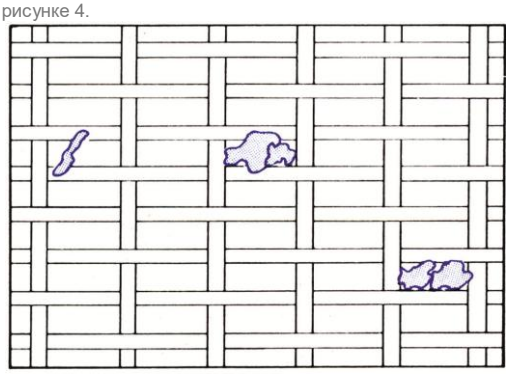


Рисунок 4. Механизмы удаления из потока частиц меньшего размера, чем поры фильтрующего материала

- В действительности, большинство взвешенных частиц имеют неправильную форму и, несмотря на малые размеры, в каких-то проекциях могут перекрыть ячейку фильтра - образовать «мостик».
- Перекрыть ячейку могут также две или более частиц, пытающиеся одновременно попасть в одну ячейку.
- Если задерженные в ячейке частицы частично перекрывают ее, образовавшаяся ячейка меньшего размера может улавливать из фильтруемого потока уже более мелкие частицы.
- За счет молекулярного взаимодействия мелкие частицы могут прилипать к поверхности внутренних пор фильтрующего материала. Так, существенно меньшая по сравнению с порой частица с большей вероятностью пристанет к поверхности поры за счет притяжения противоположных электрических зарядов. Кроме того, работать могут и другие виды взаимодействия, например, водородные связи и силы Ван-дер-Ваальса.

Непосредственное задержание может происходить в фильтрах с неравномерной структурой пор, с изменяющимися по толщине фильтрующего материала размерами пор (изменение размера пор точно контролируется), за счет чего направление потока внутри материала постоянно меняется. К таким фильтрам относятся фильтры, производимые корпорацией Pall: полипропиленовые типа HDC и Profile, стекловолоконные типа Ultipor и Ultipleat и целлюлозные типа Epocel и др.

4. Высвобождение частиц при резких изменениях потока

Мы описали несколько механизмов задержания фильтрами частиц. В некоторых условиях из-за недостатков конструкции фильтра некоторые из этих частиц могут высвобождаться и попадать в выходящий поток. Например, если на фильтрующей сетке из эластичных волокон частицы накопились при малом и стабильном значениии расхода, то при резком увеличении расхода некоторые из этих частиц могут высвободиться и попасть в поток на выходе. Для проверки надежности фильтра в условиях резкого изменения потока можно искуственно

создать такие условия. Освободившиеся в этих условиях частицы будут задержаны более тонким фильтром, установленным после проверяемого фильтра для их подсчета и исследования.
Даже если давление увеличивается плавно и не на слишком большую величину, высвобождение накопленных частиц более вероятно, если размеры пор фильтрующего материала увеличиваются при деформации. Те существующие фильтрующие элементы, склонные к подобным явлениям, т. е. высвобождению частиц, произведены из фильтрующего материала со множеством волокон, непрочно скрепленных между собой, которые могут смещаться при возрастании давления. Корпорация Pall не производит таких фильтрующих элементов.
Итак, механизмы инерционного соударения и диффузионного задержания значительно хуже работают при фильтрации жидкостей, чем при фильтрации газов. Так как плотность частиц обычно ближе к плотности жидкостей, чем газов, отклонение траекторий взвешенных частиц от основного направления потока фильтруемой жидкости значительно меньше, а, следовательно, взаимодействие частиц с фильтрующим материалом также слабее. Более того, такое взаимодействие во многих системах не приводит к последующей адгезии частиц к поверхности фильтрующего материала. Диффузионное задержание в жидкостях происходит только в очень небольшой степени, поскольку броуновское движение взвешенных частиц в жидкостях выражено гораздо слабей, чем в газах.
Хорошо спроектированные фильтры не пропускают частицы, размер которых больше пор фильтрующего материала. Гарантию надежного задержания частиц дает использование фильтрующих материалов, поры которых не могут деформироваться при увеличении давления, и обладающих достаточной толщиной для улавливания при нормальных условиях эксплуатации большей доли частиц внутри поверхностного слоя толщиной 10% – 20% от общей толщины фильтрующего материала.

5. Факторы, способствующие процессу фильтрации жидкости

Эффективность удаления фильтрами из жидкостей посторонних частиц можно повысить несколькими способами, которые будут кратко рассмотрены ниже.

A. Электростатическое осаждение

Большинство частиц несут отрицательный поверхностный заряд. Фильтрующий материал также несет поверхностный заряд, что может влиять как на эффективность удаления, так и на эффективность удержания частиц фильтром. Следовательно, за счет придания поверхности волокон фильтрующего материала желаемого заряда (обычно положительного) можно повысить эффективность задержания частиц.[2] На рисунке 5 показано типичное взаимодействие между частицами загрязнений и волокнами фильтрующего материала вследствие электрокинетического потенциала (дзета-потенциала).[3]

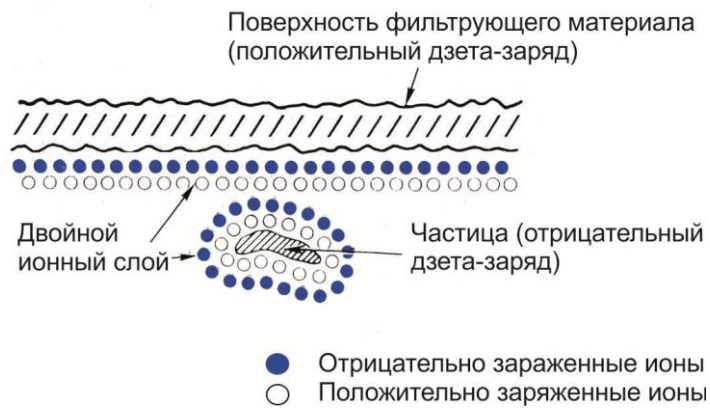


Рисунок 5. Взаимодействие частиц и волокон вследствие дзета-потенциала

Частица обладает отрицательным поверхностным зарядом за счет образования на ее поверхности двойного ионного слоя. Белыми кругами показаны положительные ионы, а темными – отрицательные. Фильтрующий материал обладает наведенным положительным дзета-потенциалом, который способствует удалению частиц из фильтруемой среды.

Важное значение имеет интенсивность заряда взаимодействующих между собой частиц и волокон фильтрующего материала. Уменьшение размеров частиц и увеличение разности потенциалов между фильтроматериалом и частицами обычно повышает эффективность улавливания частиц. Очевидным преимуществом фильтрующего материала с поверхностным зарядом является способность улавливать очень мелкие частицы при относительно большом размере пор, низкое сопротивление потоку и высокая грязеемкость.

B. Флокуляция

Очень мелкие частицы трудно отфильтровать. Один из способов повышения эффективности фильтрации состоит в обеспечении агрегации мелких частиц в более крупные, которые проще отфильтровать, и которые обычно образуют фильтрующий слой с более низким сопротивлением потоку, и, следовательно, большей пропускной способностью. Обычно для флокуляции частиц в жидкости добавляют полиэлектролиты (длинноцепочные молекулы с большим количеством положительно и отрицательно заряженных ионов, распределенных по длине цепей). Полиэлектролиты (например, растворимый крахмал, желатин и производные полиакрилатов) прикрепляются ко взвешенным в жидкости противоположно заряженным частицам, вызывая их агрегацию и увеличивая скорость их осаждения. Для каждого типа жидкости оптимальные полиэлектролиты выбираются опытным путем. На рисунке 6 показаны основные процессы флокуляции.

[2] Под стандартной испытательной пылью подразумевается природная пыль из штата Аризона, США. Обычно речь идет о мелкодисперсной испытательной пыли и о крупнодисперсной испытательной пыли. Мелкодиперсную пыль (ACFTD) обычно используют при определении номинального рейтинга фильтров менее 50 мкм, а крупнодисперсную (ACCTD) – при тестировании фильтров с рейтингом более 50 мкм.

[3] Дзета-потенциал фильтра – разность потенциалов, возникающая между поверхностью фильтрующего материала и фильтруемой жидкостью.

Использование полиэлектролитов: большие молекулы с зарядами разной полярности, отличными от дзета-потенциала частиц способствуют связыванию частиц с образованием агломератов

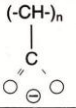
Тип	Структура
Катион	
Анион	
Неионогенный	Оба типа заряда с общей нейтральностью

Рисунок 6. Процесс флокуляции

В обычной практике раствор полиэлектролита добавляется в очень небольшом количестве к значительно большему объему жидкости со взвешенными частицами, которые необходимо флокулировать. Подбирается оптимальный режим перемешивания для системы - достаточный для распределения полиэлектролита в жидкости, но не чрезмерный, чтобы не разрушать образующиеся хлопья. Продолжительное перемешивание может привести к снижению качества флокуляции и повышению мутности жидкости. Для подачи жидкости после флокуляции на фильтр желательно использовать давление воздуха или неразрушающий насос для исключения дефлокуляции. Из тех же соображений следует избегать рециркуляции суспензии.

Оправданность применения полиэлектролита во время фильтрации зависит от его эффективности, стоимости и возможного влияния на качество продукта.

C. Вспомогательные фильтрующие материалы

Облегчить удаление мелких частиц из фильтруемой жидкости можно также добавлением небольшого количества вспомогательных материалов, способствующих процессу фильтрации. Это известно как «добавление вспомогательных фильтровальных веществ» и отличается от фильтрации с намывным слоем, когда вспомогательные фильтровальные материалы сначала намываются на фильтр и затем уже фильтруется жидкость. Как и в случае флокуляции, цель применения вспомогательных веществ состоит в повышении проницаемости фильтрующего слоя.

Чаще всего в качестве вспомогательного фильтрационного материала применяют диатомит, состоящий из осадочных отложений окаменелых диатомовых водорослей. Останки этих водорослей бывают самой разной формы, и именно это их свойство способствует образованию высокопроницаемого фильтрующего слоя. Другие вспомогательные фильтрационные материалы, облегчающие фильтрацию, включают перлит (вулканическая порода, образующаяся при резком охлаждении расплавленной вулканической лавы в воде), углерод и целлюлозу.

Фильтрация со вспомогательными материалами нечасто используется при осветлении жидкостей, но когда используется, то чаще частицы этих материалов часто можно обнаружить перед фильтрами со сменными фильтрующими элементами (картриджными фильтрами). Фильтры со сменными фильтрующими элементами используются в качестве фильтров, устанавливаемых после намывных фильтров для задержания любых частиц, которые могут вымываться из намывных фильтров.

Типы фильтров

В последнее время фильтры и фильтрующие материалы все чаще определяют терминами «глубинного типа» и «поверхностного типа». К сожалению, производители фильтров не могут договориться об официальном использовании терминологии. В результате, по этому поводу происходит множество недоразумений. Ниже мы постараемся разрешить эту проблему, отделив факты от домыслов.

1. Фильтрующие материалы с нефиксированными порами

Задерживание частиц в порах и ячейках фильтрующих материалов с нефиксированными порами происходит в основном за счет механизмов инерционного соударения и диффузионного задержания. В качестве примеров таких материалов можно привести нетканные материалы, ткани или плетенные сетки, асбестовые листы и стекловолоконные материалы с нескрепленными волокнами. В фильтрах из материалов с нефиксированными порами толщина материала выбирается, исходя из требуемой эффективности задерживания частиц определенного размера, подтверждаемой на основе определенной статистики.

Как уже говорилось выше, высвобождение накопленных фильтром частиц более вероятно, если поры фильтрующего материала могут увеличиваться при повышении перепада давления. Кроме того, фильтрующие материалы всех типов улавливают в том числе и частицы меньшего размера, чем размеры пор. При определенных условиях такие накопленные мелкие частицы будут удерживаться хуже, если поры фильтрующего материала могут увеличиваться.

В этом и состоит известная проблема фильтрующих материалов с нефиксированными порами. В таких фильтрующих материалах имеется множество извилистых каналов, через которые жидкость может проходить различными путями. Естественно, что более узкие каналы блокируются раньше, в результате чего все большая часть потока протекает через более широкие каналы. Так как структурно такие фильтрующие материалы не представляют собой единого целого, повышенный перепад давления внутри более широких проходов может нарушить структуру, и, следовательно, расширить эти проходы. Очевидно, что данное обстоятельство отрицательно влияет на характеристики фильтра.

Фильтрующие характеристики материалов с нефиксированными порами зависят не только от возможности задерживания частиц, но и от возможности их адсорбирования. До тех пор пока силы, действующие на задержанные частицы со стороны фильтруемой среды, меньше сил, удерживающих эти частицы в фильтрующем материале, частицы остаются зафиксированными в нем. Однако в процессе длительной эксплуатации фильтра в фильтроматериале накапливается определенное количество частиц. При резком изменении потока или давления воздействие со стороны фильтруемой среды может превысить удерживающие силы, и часть частиц будет унесена потоком фильтруемой среды. Вследствие частых сбросов накопленных частиц в выходящий из фильтра поток с некоторой периодичностью, может создаться ложное впечатление, что данный фильтр обладает высоким ресурсом и сроком службы.

Кроме того, для большинства фильтрующих материалов с нефиксированной пористой структурой характерна миграция фильтрующего материала в отфильтрованную жидкость. Это означает, что частицы/волокна фильтрующего материала отделяются от него и уносятся потоком фильтруемой среды, загрязняя фильтрат. Миграцию фильтрующего материала в фильтруемую среду часто ошибочно связывают с выносом из фильтрующего материала «изначальных» загрязнений, например, пыли и волокон, попавших в фильтр в процессе его производства.

2. Фильтрующие материалы с фиксированными порами

Фильтрующие элементы с фиксированными порами состоят либо из нескольких слоев фильтрующего материала или одного, но более толстого слоя. Такие фильтрующие материалы работают в основном за счет непосредственного задержания частиц, и поэтому они проектируются таким образом, чтобы была исключена деформация структуры фильтрующего материала, а траектории похождения жидкости через фильтроматериал были сложными. Нужно признать, что такие фильтры могут задерживать некоторое количество частиц адсорбцией вследствие инерционного соударения и диффузионного задержания. Известно также, что такие фильтрующие материалы обеспечивают тонкость фильтрации меньше размера их пор. Однако, в процессе производства обеспечивается такой размер пор, чтобы гарантировать заданную эффективность удаления частиц, размер которых больше заявленного производителем рейтинга фильтрующего материала. Более того, за счет необходимой толщины фильтрующего материала можно минимизировать высвобождение накопленных частиц размером меньше тонкости фильтра даже при резких изменениях условий фильтрации.
Поверхностные или сетчатые фильтры – единственные фильтры, в которых поры/ячейки расположены в одной плоскости, и, следовательно, основную роль в работе таких фильтров играет непосредственное задержание частиц из фильтруемой жидкости. В настоящее время лишь немногие предлагаемые на рынке фильтрующие материалы, например, ткани и тканые проволочные сетки, можно отнести к чисто поверхностным фильтрующим материалам, хотя многие из этих материалов представляют собой более сложные структуры, подобные описанным выше.
Естественно, что поверхностный или сетчатый фильтрующий материал задерживает все частицы, размеры которых превышают размеры самых крупных ячеек (только в случае, когда фильтроматериал представляет собой цельную структуру). Хотя фильтрующий материал способен улавливать частицы меньших размеров вследствие факторов, рассмотренных выше (образование «мостов» и т. д.), нельзя гарантировать, что такие частицы не будут пропущены фильтром. Так как сетчатые фильтрующие материалы могут иметь как фиксированную, так и нефиксированную структуру пор/ячеек, наилучшим вариантом будет их классификация по этим признакам.

3. Выводы о типах фильтров

Из сказанного выше следует очевидный вывод, что деление фильтров на глубинные и поверхностные не имеет смысла. Практически любые фильтры оказываются «глубинными», если рассматривать их под микроскопом.
Более оправдана следующая классификация фильтров:
а) тип фильтров с нефиксированными порами, у которых поры могут расширяться при увеличении перепада давления (тканые, нетканые низкой плотности);
б) тип фильтров с фиксированными порами, ячейки которых не расширяются при увеличении давления (большинство мембранных фильтров, в т. ч. **Nylon 66** и **Ultipor AB**, полипропиленовые **HDC** и **Profile**, стекловолоконный Ultipor и **Ultipleat**, и пропитанный эпоксидной смолой целлюлозный материал **Epocel,** выпускаемые корпорацией Pall).
Фильтры на основе материалов с фиксированными порами лучше всего подходят для большинства применений. В них сочетается высокая удельная грязеемкость (на единицу площади поверхности фильтрации), удаление из потока частиц размером больше, чем заявленный производителем рейтинг материала, и минимальное высвобождение накопленных частиц размером меньшим, чем заявленный рейтинг материала при резких изменениях условий фильтрации.
Фильтры на основе материалов с нефиксированными порами не обладают абсолютной эффективностью фильтрации. У таких фильтров существует вероятность миграции фильтрующего материала в фильтруемую жидкость и высвобождения большого количества частиц при резких изменениях условий фильтрации. Сравнение грязеемкости фильтров на основе матералов с фиксированными порами и нефиксированными порами бессмысленно, поскольку теоретические фильтрующие характеристики материалов с нефиксированными порами слабо соотносятся с их характеристиками в реальных условиях.
Так как же оценивать фильтры, если практически не имеет значения, какого они типа: поверхностного или глубинного? Пользователя должен волновать только один вопрос: подвержен ли фильтр высвобождению накопленных загрязнений, неконтролируемому пропусканию загрязнений или миграции фильтрующего материала? Если ответом на первый же вопрос будет ДА, то, наверное, будет не очень разумно использовать такой фильтр. Если же НЕТ, то следует ответить на второй вопрос: гарантирует ли изготовитель фильтра надежное удаление им из фильтруемой среды всех посторонних частиц, которые должны быть удалены, а также, безопасен ли фильтр в эксплуатации?

Оценка эффективности фильтров

Для описания эксплуатационных качеств фильтров используются различные системы показателей. К сожалению, в настоящий момент нет общепринятой системы оценки фильтров, которая помогла бы потребителям разобраться в проблеме. Ниже описываются несколько применяющихся на сегодняшний день систем оценок фильтров.

1. Номинальная тонкость фильтрации

Многие производители фильтров (но не корпорация Pall) используют или полагаются на «номинальную тонкость фильтрации» – параметр, определенный Национальной ассоциацией по гидравлическим приводам (NFPA, США) как «произвольный, выбранный производителем размер частиц в микронах, соответствующий удалению определенной процентной доли от общего числа частиц данного или большего размера». Редко можно встретить строгое определение такого параметра, к тому же он не воспроизводим. На практике «загрязнитель»[4] вводится в поток перед фильтром, после чего под микроскопом анализируется поток на выходе. Конкретная номинальная тонкость фильтра означает, что 98 % (по массе) частиц загрязнителя, размером больше заявленного рейтинга, задерживаются фильтром, а 2 % (по массе) загрязнителя проходят через него.
Нужно отметить, что данный тест скорее гравиметрический, чем гранулометрический (при котором подсчитывается количество частиц). Для определения эффективности фильтрации более показательным является подсчет количества частиц до и после фильтра.
Различные тесты, предназначенные для определения номинальной тонкости фильтров из материалов с нефиксированными порами, дают, если не совсем ошибочные, то просто неточные результаты. Типичные проблемы использования данных методов:
а) определение 98% удаления загрязнителя по массе производится для определенного загрязнителя в заданной концентрации и для определенного расхода. При изменении любого из этих условий результаты теста существенно меняются;
б) не оговаривается качество 2% по массе загрязнителя, прошедшего через фильтр. Нередко в потоке за фильтром номинальной тонкости 10 мкм можно обнаружить частицы размерами от 30 до 100 мкм;
в) данные тесты часто невозможно воспроизвести, особенно в других лабораториях;
г) некоторые производители определяют номинальную тонкость своих фильтров на основе не 98% удаления загрязнителя по массе, а 95 %, 90 % и даже ниже. Поэтому часто получается так, что фильтры Pall абсолютной тонкости 10 мкм в действительности оказываются более тонкими, чем фильтры других производителей номинальной тонкости 1 мкм. Всегда следует проверять, при каких условиях определялась заявленная номинальная тонкость фильтра;
д) очень высокая концентрация загрязнителей в потоке перед фильтром, используемая в таких тестах, не типична для обычных условий работы фильтра в реальных системах и способствует получению вводящих в заблуждение высоких показателей эффективности фильтрации. Вполне обычно в таких условиях для сетчатого проволочного фильтра со средним размером ячеек 17 мкм получать по результатам теста номинальную тонкость фильтрации 10 мкм. При этом в условиях реальной концентрации загрязнителей в системе аналогичный фильтрующий материал практически не будет задерживать частицы размером 10 мкм.

[4] Лабораторное тестирование грязеемкости фильтров с использованием мелкодисперсной тестовой пыли (ACFTD) для испытаний или каких-либо других тестовых загрязнителей очень часто не соответствует реальным условиям эксплуатации фильтров и, в лучшем случае, может быть использовано для грубого прогноза сроков эксплуатации фильтров. Также сравнение по результатам тестирования грязеемкости фильтров из разных фильтрующих материалов (например, из намотанной и из гофрированной бумаги) не имеет смысла, т. к. оно не соответствует сравнению фильтров при тестировании в реальных условиях. В настоящее время ни одно лабораторное тестирование грязеемкости не используется и не рекомендуется к использованию для получения надежного показателя срока службы фильтра, потому что ресурс фильтра очень сильно зависит от типа загрязнителя, его взвешенного состояния в фильтруемой жидкости, размеров частиц, гранулометрического состава и т. д. Результаты также сильно зависят от вязкости жидкости и от расхода. Действительные результаты можно получить только при тестировании фильтров в реальных системах.

Поэтому, никто не может поручиться за то, что фильтр номинальной тонкости 10 мкм задержит все или почти все частицы размером 10 мкм и более. Многие производители до сих пор используют в качестве единственной характеристики своих фильтров номинальную тонкость фильтрации, т. к., во первых, при этом их фильтры кажутся более «тонкими», чем есть на самом деле, а во вторых, потому что к фильтрующим материалам с нефиксированными порами просто невозможно применить значение абсолютной тонкости фильтрации. На рисунке 7 приведено сравнение фильтроэлемента номинальной тонкости фильтрации 1 мкм из намотанного фильтрующего материала и фильтроэлемента Pall абсолютной тонкости 30 мкм. Из графиков видно, что в потоке на выходе из фильтроэлемента тонкостью 30 мкм отсутствуют частицы размером более 30 мкм.



Рисунок 7. Сравнение эффективности фильтрации фильтроэлементов

2. Абсолютная тонкость фильтрации

Организация NFPA (Национальная ассоциация по гидравлическим приводам) определила абсолютную тонкость фильтрации следующим образом: «Максимальный диаметр твердых частиц сферической формы, пропускаемых фильтром при определенных условиях тестирования». Эта характеристика описывает максимальный размер пор/ячеек фильтра. Такая характеристика применима только к фильтрующим материалам цельной структуры (например, производимые корпорацией Pall фильтрующие материалы с фиксированными порами или из спеченного металлического материала).

Впервые термин «абсолютная тонкость фильтрации» был предложен доктором Дэвидом Паллом, председателем совета директоров корпорации Pall в середине 1950-х годов. Он был рассмотрен Комиссией по фильтрации комитета А-6 SAE (Международное сообщество автомобильных инженеров) и с минимальными поправками принят.

Единственное, что смущает пользователей фильтров абсолютной тонкости фильтрации, это то, что при анализе загрязнений в потоке за фильтром, в нем неизменно обнаруживаются частицы размером, превышающим абсолютную тонкость фильтра. На первый взгляд это вроде бы не соответствует самой концепции «абсолютности» тонкости фильтрации. Однако нужно понимать, что невозможно взять образцы, доставить их, протестировать их, точно также как невозможно промыть новый фильтр, совершенно не занеся при этом загрязнений. Загрязнения попадают даже на новый фильтр при его распаковывании! Во всех этих случаях говорят об «исходном загрязнителе», и имеющие большой опыт работы лаборатории перед любым тестированием определяют концентрацию исходного загрязнителя в экспериментальной установке. Для достоверности тестирования концентрация исходного загрязнителя должна быть ниже установленного предела.

Для определения абсолютной тонкости фильтрации фильтроэлементов применяются несколько общепризнанных тестов. Выбор конкретного теста зависит от производителя, типа фильтрующего материала, а иногда от отрасли, в которой применяется фильтр. Во всех случаях фильтры тестируются в составе целевых систем. Для тестирования через фильтр прокачивается жидкость со взвешенными в ней частицам легко распознаваемых загрязнителей (например, стеклянные шарики или суспензия бактерий) и производится анализ на присутствие загрязнителей в потоке до фильтра и после него.

Такие тесты являются разрушающими, т. е. после них фильтры уже нельзя использовать для фильтрации. Поэтому были разработаны неразрушающие тесты на целостность фильтров, результаты которых коррелируют с результатами разрушающего тестирования. Другими словами, успешный неразрушающий тест на целостность фильтра может быть проведен вместо разрушающего теста. После успешного прохождения теста на целостность фильтроэлемент можно использовать по назначению, с гарантией соответствия характеристик заявленными производителем.

3. Тест с использованием стеклянных шариков

Один из методов определения абсолютной тонкости фильтра – тест с использованием стеклянных шариков, показанный на рис. 8. Взвесь стеклянных шариков, размер которых укладывается в определенный диапазон, пропускается через фильтр, собирается и далее анализируется с помощью тестовой мембраны. Стеклянные шарики удобны тем, что за счет их сферической формы они легко отличаются от фонового загрязнения, которое могло оказаться в системе во время тестирования. С помощью микроскопа определяют наибольший размер прошедших через фильтр стеклянных шариков. Таким образом определяется абсолютная тонкость фильтрации.

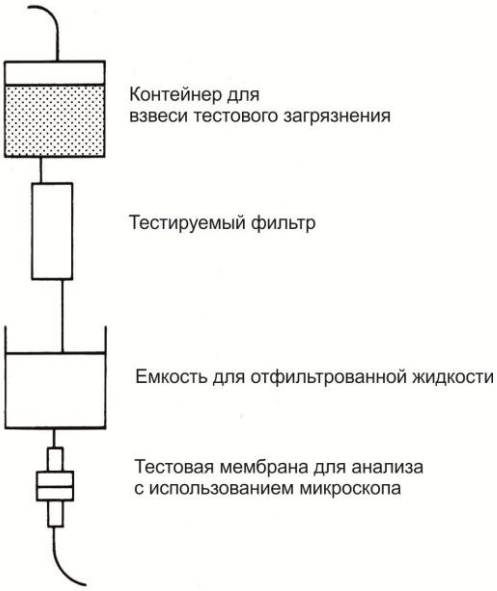


Рисунок 8. Схема установки для теста с использованием стеклянных шариков