



ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ ЗАВОДНЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ

Введение.

Неотъемлемой частью большинства технологических процессов является очистка значительных объемов жидкости от механических загрязнений.

Знание физических основ процесса фильтрации, факторов, определяющих режимы работы фильтрационного оборудования и, в конечном счёте, качество производимого продукта, позволяет использовать наиболее рациональные типы современного фильтро-сепарационного оборудования.

Обслуживание фильтро-сепарационного оборудования требует достаточной теоретической подготовки, знания конструкций применяемого оборудования, умения обеспечить наиболее рациональные режимы работы при изменении физических характеристик поступающих суспензий.

Разработка современных высокоэффективных устройств очистки жидкостных и газовых потоков **требует предварительного изучения дисперсной структуры загрязнений.**

Главным фактором выбора эффективных устройств очистки жидкостей (газов), имеющих минимальную стоимость, является технологический аудит производственных условий эксплуатации, создаваемого фильтро-сепарационного оборудования.

К сожалению, в настоящее время такой аудит не проводится, потребители приобретают оборудование только на основе каталожной информации без учета реальных условий производства, зачастую, несут повышенные затраты.

С точки зрения современных научных представлений высоко-эффективные технические устройства для очистки жидкостей (газов) должны быть сконструированы в виде многоступенчатой системы средств очистки, в которой каждая ступень работает в своей рекомендуемой зоне дисперсного состава загрязнений.

Высокоэффективная очистка воды для заводнения нефтяных пластов от загрязнений является весьма сложной технической задачей, решение которой на этапе проектирования ввода новых объектов требует проведения специальных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Основным нормативным документом, регламентирующим требования к качеству подготовки воды для заводнения нефтяных пластов, является ОСТ 39-225-88 «Вода для заводнения нефтяных пластов» (Приложение 1,2,3)

Особенностями фильтрования пластовых вод после их предварительного отстаивания в резервуарах (РВС) является наличие в загрязненной воде: нефтепродуктов (неньютоновской жидкостей), АСПО, растворенных полимеров, поверхностно активных веществ и ряда других примесей, **приводящих к облитерационным процессам фильтрующей перегородки.**

Регенерация ФЭ обратным током фильтрата в этом случае оказывается недостаточно эффективной.

Вода поступающая из РВС представляет собой суспензию (КДС) содержащую мелкие в основном (5÷10 мкм) и зачастую липкие взвеси, что приводит к быстрому забиванию фильтровальной перегородки, а ее регенерация сложна, как правило, требуется замена фильтровальной перегородки или фильтрующего материала. В этих случаях задача фильтрования жидких сред традиционными фильтрами представляет наибольшую сложность или является экономически нерентабельной.

НПП «ЭкоЭнергоМаш» в течение 2007÷2012 г.г. совместно с ОАО «ТАТНИПИнефть» был выполнен большой объем НИР и ОКР по разработке различного фильтро-сепарационного оборудования и выбора оптимальных схем фильтрации с целью **подготовки воды для заводнения нефтяных пластов.**

В зависимости от качества очищаемой воды, требуемой степени её осветления и производительности установок применяют фильтры с различными устройствами пористой фильтрующей среды:

- Фильтры с зернистой загрузкой;
- Сетчатые фильтры;
- Намывные фильтры;
- Фильтры, в которых в качестве фильтрующей среды используются эластичные или жёсткие объёмные пористые материалы.

Обычная фильтрация позволяет отделить от жидкости (газа) частицы с размером более 10 мкм.

Для отделения от жидкости (газа) частиц с размером 0,1 - 10 мкм используется микрофильтрация. Главными областями применения микрофильтрации являются получение стерильной воды в пищевой и фармацевтической промышленности.

ОСТ 39-225-88 «Вода для заводнения нефтяных пластов», регламентирует очистку воды от механических примесей размером 1÷2 мкм.

В то же время при проектировании фильтрационного оборудования для подготовки воды с целью заводнения нефтяных пластов, информация о дисперсном составе механических примесей в интервале ≤ 2 мкм не приводится, наименьший интервал ≤ 5 мкм (0-5мкм), см. таблицу 1

Таблица 1

| Объёмная доля частиц, % | | | | |
|-------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| от 5,0 до 10,0 мкм | от 10,0 до 25,0 мкм | от 25,0 до 50,0 мкм | от 50,0 до 100,0 мкм | более 100 мкм |

Такой характер анализа дисперсионного состава механических примесей в воде закачиваемой в нефтяные пласты присущ для всей нефтедобывающей отрасли России, что в общем подтверждает банальный факт экономической нерентабельности очистки воды от механических примесей менее 5 мкм и фактического отсутствия примеров выполнения требований очистки воды от механических частиц ≤ 2 мкм в соответствие с ОСТ 39-225-88.

В соответствие с требованием ОСТ 39-225-88 рассмотрим преимущества и недостатки различных систем фильтрационной подготовки воды для заводнения нефтяных пластов.

Приходится констатировать, что единственным методом, подготовки воды для заводнения нефтяных пластов, применяющимся повсеместно, остается метод отстаивания (отстойники). Для этого используются различные отстойники с комбинацией всевозможных внутренних устройств, для интенсификации осаждения различных примесей, - твердых, жидких.

Опыт применения фильтров, с зернистой загрузкой широко применяющихся для очистки сточных вод в процессах подготовки воды для закачки в нефтяные пласты крайне незначителен из-за их специфических особенностей.

В тех случаях, когда необходимость очистки обусловлена удалением из жидкости частиц размер которых, больше некоторого значения, применяют различное фильтрационное оборудование.

Работоспособность фильтрующего оборудования во многом определяется фильтрующими перегородками, с помощью которых осуществляется отделение частиц твердой фазы от жидкости или газа. Фильтрующие перегородки, как правило, выполняются из пористых материалов в виде плоских или цилиндрических поверхностей, называемых фильтрующими элементами.

Фильтрующие элементы (ФЭ) обычно изготавливаются из ткани, керамики, металлокерамики, различного вида сеток, набора пластин, из волокнистых материалов и др., образующих фильтрующие проходные сечения заданной величины.

Общим во всех перечисленных фильтрующих элементах является неизменность фильтрующих зазоров в обоих режимах работы фильтра: и при фильтровании, и при регенерации обратным током жидкости или газа.

Наибольшее распространение для заводнения нефтяных пластов получили фильтры с ФЭ на основе металлических сеток и пористо-ячеистых материалов (металлокерамические, керамические, полимерные).

Как показали многочисленные исследования в.т.ч. и НПП «ЭкоЭнергоМаш» фильтроэлементы изготовленные из пористо-ячеистых материалов (изготавливаются методом спекания из различных порошков) имеют большое количество тупиковых пор, что приводит к необратимой кольтматации порового пространства. Применение обратной промывки не позволяет восстанавливать фильтрующую способность ФЭ даже при достижении предельных (давление разрушения) давлений.

В трактах высокого давления: компримирование газов, насосы высокого давления применение металлокерамических ФЭ может привести к аварийной ситуации т.к. предельные давления разрушения не превышают 1 МПа (10кг/см²), к тому же при высоких скоростях фильтруемой среды происходит вынос субмикронных частиц из материала ФЭ, что резко снижает срок работы уплотнений.

Лучшие результаты в фильтрах для заводнения нефтяных пластов дает применение пружинных (спиральных) фильтроэлементов (ФЭК) и ФЭ на основе металлических сеток.

Фильтры на основе пружинных (Приложение 4) и сетчатых ФЭ обладают гарантированной крупностью очистки, низким гидравлическим сопротивлением, хорошей способностью к регенерации.

В пружинных ФЭ (фильтрующие элементы Крапухина) обеспечено различие свойств элементов: при фильтровании фильтрующие проходные сечения имеют заданную (при их изготовлении) неизменную величину, а при регенерации ФЭ обратным током жидкости или газа эти проходные сечения увеличиваются и, кроме того, имеют возможность совершать колебательные движения под воздействием регенерирующего потока жидкости или газа.

Основное отличие пружинных фильтроэлементов (ФЭК) от известных фильтрующих материалов и элементов состоит в том, что они свободны от главного их недостатка - от необратимого закупоривания пор.

На фильтрах, оснащенных ФЭК, можно проводить бесконечное число циклов «фильтрация-регенерация», не опасаясь их остановки из-за необратимого закупоривания пор и необходимости замены фильтрующих материалов.

Выпускаемые сегодня ФЭК имеют абсолютную минимальную тонкость фильтрации 15÷18 мкм, и обеспечивают эффективную тонкость фильтрации в соответствии с ГОСТ 14066-68, на уровне 7÷10 мкм. Допустимый перепад давления на ФЭК не более 2 кг/см².

Фильтроэлементы ФЭК были разработаны для фильтрации радиоактивных растворов и наибольшее применение нашли в атомной промышленности.

НПП «ЭкоЭнергоМаш» разрабатывает и изготавливает различное фильтрационное оборудование для очистки жидкостей и газов на основе пружинных ФЭ.

Для очистки жидкостей с тонкостью фильтрации менее 10 мкм предприятием изготавливаются фильтры на основе проницаемых конструкций из металлических сеток, см. Приложение 5.

В отличие от фильтрующих материалов из металлических сеток, функциональный срок работы ФЭ из КПСМ (срок работы фильтроэлементов, при котором сохраняется паспортная тонкость фильтрации, производители никогда не указывают этот параметр!!!) сохраняется на все время эксплуатации ФЭ.

Функциональный срок работы ФЭ из металлических сеток как правило не превышает 20÷30 циклов регенерации и после предельного количества регенераций тонкость фильтрации не соответствует паспортным данным и может на порядки отличаться от первоначальной (паспортной).

Недостаток порошковых ФЭ (металлических, металлокерамических, керамических, полимерных материалов), необратимое закупоривание и как следствие падение производительности и невозможность регенерации.

Сетчатые ФЭ, обладая гарантированной степенью очистки, имеют малую грязеемкость. Для устранения этого недостатка используется механизм саморегенерации фильтра.

Различают фильтры, регенерация которых ведется постоянно (гидродинамические фильтры) и фильтры, в которых устройство очистки включается по мере необходимости (фильтры с противоточной регенерацией ФПР).

Преимущество последних проявляется при очистке слабозагрязненных сред, когда период фильтрования существенно превышает период регенерации.

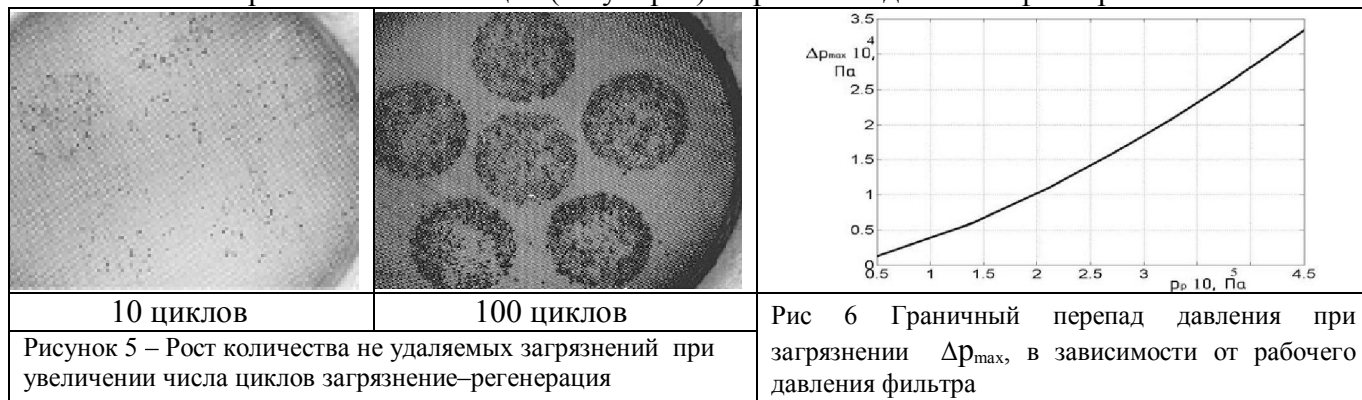
Как указывалось выше вода поступающая на фильтрацию после отстойников представляет собой суспензию содержащую мелкие в основном (5÷10 мкм) липкие взвеси.

Регенерация ФЭ обратным током фильтрата в этом случае оказывается недостаточно эффективной. Визуальные наблюдения на испытательных стендах свидетельствуют, что поверхность ФЭ в момент наложения «шоковой» регенерации покрывается «вулканическими кратерами», но налипший осадок не отстает полностью от пористой перегородки, что приводит к постепенному падению производительности фильтра.

При продолжительной эксплуатации сетка зарастает частицами размер которых сопоставим с размером ячейки сетки (рис. 5)

На рис 5. приводится пример роста количества не удаляемых загрязнений при увеличении числа циклов загрязнение–регенерация для ФЭ изготовленных из металлических сеток.

На рис 6 приводится график граничного перепада давления Δp_{max} на ФЭ при котором начинается необратимая кольтматация (закупорка) от рабочего давления фильтра.



Поэтому, ограничение максимального перепада давления при засорении ФЭ дает реальную возможность обойтись без устройств интенсифицирующих процесс противоточной регенерации. Превышение рабочего давления фильтра над максимальным перепадом давления на ФЭ при засорении должно быть более чем на один порядок и на практике, как правило, подбирается экспериментально.

При эксплуатации фильтров крайне важно производить своевременную регенерацию ФЭ не допуская граничных перепадов давления Δp_{max} !.

Для пористо-ячеистых материалов, это приводит к необратимой кольтматации и фактически к необходимости замены ФЭ (как вариант восстановление на специальных ультразвуковых установках, что крайне проблематично по имеющемуся опыту эксплуатации фильтрационного оборудования на промышленных предприятиях).

Для сетчатых материалов такое требование также важно т.к. при достижении граничного Δp_{max} происходит деформация ячеек на фильтре, полотно сетки начинает деформироваться, ячейки теряют свою форму, что приводит к местному увеличению размеров проходных отверстий металлической сетки и **после предельного количества регенераций тонкость фильтрации не соответствует паспортным данным и может на порядки отличаться от первоначальной (паспортной).**

Причина такого состояния в недостаточной эффективности противоточной промывки при удалении частиц загрязнителя, которые застряли в моменты близкие к началу цикла регенерации, в эти моменты площадь сетки остающейся чистой минимальна, а так как расход поддерживается постоянным, то скорости жидкости и частиц максимальны.

Многочисленные исследования показали, что именно переход кинетической энергии в упругие деформации частицы и проволоки сетки обуславливает появление трудно удаляемых загрязнений.

Для устранения эффекта увеличения размеров проходных сечений применяют спекание узлов сетки после переплетения. Применение синтерированных сеток (сетки со спеченными узлами) исключают деформацию проходных отверстий, однако значительно усложняет технологию изготовления сеток, см. Приложение 5.

Одним из способов повышения пропускной способности фильтровальной перегородки и ресурса фильтроэлементов, является применение самоочищающихся фильтров, т. е. фильтров, которые в процессе работы очищались бы от образующегося на поверхности фильтровальной перегородки слоя осадка загрязнения и тем самым восстанавливали свою пропускную способность.

Известно, что очистка фильтровальной перегородки в процессе работы фильтра может осуществляться за счет гидродинамического смыва образующегося осадка потоком жидкости, а также за счет воздействия центробежных и вибрационных сил, акустических колебаний.

Непрерывная регенерация осуществляется в аппаратах 2-х типов:

- 1. Гидродинамических фильтрах;**
- 2. Пульсационных аппаратах;**

Первые нашли широкое применение при очистке сточных вод. Механизм работы гидродинамических фильтров заключается в том, что часть потока непрерывно омывает фильтрующую перегородку, или через всасывающие сопла непрерывно отбирается и сливается в дренаж.

Зарубежными и отечественными производителями гидродинамических фильтров предлагается множество конструктивных решений повышающих эксплуатационные качества таких фильтров. В качестве фильтрующей перегородки для гидродинамических фильтров используется щелевая решетка (значительно реже, металлические сетки и зернистые загрузки) с специальным профилем и полировкой фильтрующей поверхности. Минимальная тонкость фильтрации 50÷100мкм, применение сеток с меньшей тонкостью фильтрации в качестве фильтрующей перегородки в таких фильтрах приводит к значительному усложнению аппаратов и сложностью их эксплуатации.

В МГТУ им. Н. Э. Баумана разработаны гидродинамические вибрационные фильтры, которые обеспечивают необходимую тонкость фильтрации, позволяют достичь высокой эффективности очистки жидкостей при обеспечении большой пропускной способности и ресурса работы фильтра.

Гидродинамические вибрационные фильтры (ГВФ) могут применяться для очистки сильно загрязненных сточных вод, регенерации отработанных масел, для очистки технологических и рабочих сред, особенно эффективны для очистки высоковязких сред, а также сред, загрязненных нефтепродуктами, растворами полимеров.

В настоящее время происходят испытания фильтров ГВФ на машиностроительных предприятиях России.

Научными коллективами России возрождается направление создания фильтровального оборудования сильно загрязненных жидкостей, на основе пульсационных процессов в жидкостях, широко применявшихся на предприятиях Министерства Среднего машиностроения (сегодня министерство атомной промышленности)

Суть пульсационных процессов при фильтрации сильно загрязненных жидкостей через фильтрующую перегородку, заключается в создании пульсаций давления в жидкости различными пульсационными аппаратами (пульсаторами, акустическими излучателями).

Пульсации давления (акустические волны) воздействующие на суспензии (КДС), предотвращают прилипание (адгезии) примесей на фильтрующей перегородке, т.е. создается пульсирующий взвешенный слой примесей в жидкости, который по мере накопления дренируется.

В 2013г. НПП «ЭкоЭнергоМаш» планирует начать выпуск акустических фильтров для очистки газовых сред от аэрозольных примесей, и акустических фильтров на базе спиральных ФЭ и проницаемых конструкций (КПСМ) для фильтрации сильно загрязненных жидкостей (КДС) с акустическими излучателями.

Схема подготовки воды для заводнения нефтяных пластов состоит из 2-х последовательно включенных аппаратов:

1. Фильтр с пружинными фильтроэлементами типа ФЭК, с абсолютной тонкостью фильтрации 15÷20 мкм и эффективной тонкостью фильтрации 7÷10мкм.
2. Фильтр с ФЭ КПСМ с абсолютной тонкостью фильтрации 5 мкм, эффективной тонкостью фильтрации 1÷3мкм;
3. Аппараты комплектуются УЗ генераторами;

Допустимое содержание механических примесей и нефти в закачиваемой в продуктивный коллектор воде с целью поддержания пластового давления

Таблица 1

| Проницаемость пористой среды коллектора, мкм ² | Коэффициент относительной трещиноватости коллектора | Допустимое содержание в мг/л воде. | |
|---|---|------------------------------------|-------|
| | | механических примесей | нефти |
| до 0,1 вкл. | - | до 3 | до 5 |
| свыше 0,1 | - | до 5 | до 10 |
| до 0,35 вкл | от 6,5 до 2 вкл | до 15 | до 15 |
| свыше 0,35 | менее 2 | до 30 | до 30 |
| до 0,6 вкл | от 3,5 до 3,6 вкл | до 40 | до 40 |
| свыше 0,6 | менее 3,6 | до 50 | до 50 |

Примечание.

Коэффициент относительной трещиноватости определять в соответствии с РДС 39-01-041-81 "Методика прогнозного определения норм качества сточных вод для внутриконтурного заводнения новых нефтяных месторождений платформенного типа. Содержание механических примесей и нефти в сточной воде".

Технологические приемы обработки воды

Таблица 2

| Показатели качества воды | Технологические приемы обработки воды |
|---|--|
| Фильтрационная характеристика | Отстаивание, коалесценция, флотация, фильтрование через различные материалы, гидравлическая сортировка, коагулирование с последующим фильтрованием, применение ингибиторов солеотложения и коррозии |
| Стабильность | Ингибирование отложения солей |
| Совместимость | Ингибирование отложения карбонатов и сульфатов |
| Размер частиц механических примесей и эмульгированной нефти | Отстаивание, коалесценция на твердых и жидких средах, фильтрование через различные зернистые материалы, гидравлическая сортировка, флотация, коагулирование с последующим фильтрованием, диспергирование |
| Содержание эмульгированной нефти и механических примесей | Отстаивание, коалесценция на твердых и жидких средах, фильтрация через различные зернистые материалы, отделение в гидроциклонах и мультигидроциклонах, флотация, коагулирование с последующей фильтрацией |
| Содержание растворенного кислорода | Десорбция нефтяным газом, "холодная" вакуумная деаэрация, связывание реагентами-восстановителями |
| Коррозионная активность | Применение <u>ингибиторов коррозии</u> |
| Содержание сероводорода, углеводородных газов | Деаэрирование, связывание химическими реагентами, ингибирование |
| Наличие сульфатовосстанавливающих бактерий | Обработка бактерицидами, бактерицидными лучами, хлором |
| Содержание иона железа | Обработка и закачка воды по закрытой (без доступа воздуха) схеме, окисление, подщелачивание или смешение железо- и сероводородосодержащих промышленных сточных вод с последующим отстаиванием и фильтрованием. |

Перечень нормативно-технических документов на методы определения показателей качества воды для заводнения нефтяных пластов

| | |
|---------------|--|
| ОСТ 39-227-89 | Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение фильтрационной характеристики и водовосприимчивости низкопроницаемых пород-коллекторов в пластовых условиях. |
| ОСТ 39-228-89 | Вода для заводнения нефтяных пластов. Оценка совместимости закачиваемой воды с пластовой водой и породой продуктивного пласта. |
| ОСТ 39-229-89 | Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение совместимости закачиваемых и пластовых вод по кальциту и гипсу расчетным методом. |
| ОСТ 39-230-89 | Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение размера частиц механических примесей. |
| ОСТ 39-231-89 | Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания механических примесей в речных и промысловых водах. |
| ОСТ 39-232-89 | Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение размера частиц эмульгированной нефти. |
| ОСТ 39-133-81 | Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания нефти в промышленной сточной воде. |
| ОСТ 39-233-89 | Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания растворенного кислорода в нефтепромысловых сточных водах. |
| ГОСТ 9.506-87 | Единая система защиты от коррозии и старения. Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности. |
| ОСТ 39-234-89 | Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания сероводорода. |
| ОСТ 39-191-85 | Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания железа в промышленной сточной воде. |

Приложение 4

ПРУЖИННЫЕ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТЫ ФЭК
новое техническое решение в области фильтрующего оборудования

Пружинные фильтроэлементы превосходят отечественные и зарубежные разработки по технологическим и эксплуатационным характеристикам.

Известно, что после проведения ряда циклов "Фильтрация-Регенерация", поры фильтрующих материалов, таких как металлокерамика, картоны, ткани, фторопласт, угольные, сетчатые и др. необратимо закупориваются частичками твердой фазы.

Фильтрующие элементы приходится периодически извлекать из фильтрующих аппаратов и заменять их на новые, или производить довольно трудоемкую операцию по регенерации фильтрующих элементов, с применением различных устройств и химреагентов.

В отличие от пружинных фильтроэлементов, ни один тип фильтроэлементов выпускаемых промышленностью как у нас в России, так и за рубежом, не восстанавливает первоначальную пропускную способность.

Пружинные фильтроэлементы могут быть использованы для фильтрования жидкостей и газов практически в любой отрасли промышленности.

Основное отличие ФЭК от известных фильтрующих материалов и элементов состоит в том, что они свободны от главного их недостатка - от необратимого закупоривания пор.

На фильтрах, оснащенных ФЭК, можно проводить бесконечное число циклов «фильтрация-регенерация», не опасаясь их остановки из-за необратимого закупоривания пор и необходимости замены фильтрующих материалов.

Использование ФЭК, даст любому предприятию, значительную экономию на ремонтно - восстановительных работах, закупках фильтрующих материалов, реагентах, которые в ряде случаев применяют для регенерации фильтрующих материалов.

На рис 1. показан вертикальный разрез ФЭК. Фильтрующая перегородка \ выполнена в виде винтовой специально изготовленной спирали. Один конец спирали снабжен крышкой 2, а второй - штуцером 3. К наружной поверхности штуцера прикреплен каркас 4, внутри которого размещены фильтрующая перегородка 1. Между каркасом и крышкой размещена пружина 5.

Примеры использования Пружинных фильтроэлементов ФЭК

Для очистки жидкостей:

- Вода из колодцев;
- Очистка воды после помывки автомобилей и ливневых стоков;
- Растворы поваренной соли;
- Фосфатирующие растворы;
- Водные радиоактивные растворы.

Для очистки газов:

- Доочистка дымовых газов ТЭЦ;
- Мучная пыль.

Специальное оборудование:

Паразитарный контроль.



КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРУЖИННЫХ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ

Работоспособность фильтрующего оборудования во многом определяется фильтрующими перегородками, с помощью которых осуществляется отделение частиц твердой фазы от жидкости или газа. Фильтрующие перегородки, как правило, выполняются из пористых материалов в виде плоских или цилиндрических поверхностей, называемых фильтрующими элементами.

Фильтрующие элементы обычно изготавливаются из ткани, керамики, металлокерамики, различного вида сеток, набора пластин, из волокнистых материалов и др., образующих фильтрующие проходные сечения заданной величины. Общим во всех перечисленных фильтрующих элементах является неизменность фильтрующих зазоров в обоих режимах работы фильтра: и при фильтровании, и при регенерации обратным током жидкости или газа.

В отличие от такого рода фильтрующих элементов в фильтрующих элементах ФЭК обеспечено различие свойств элементов: при фильтровании фильтрующие проходные сечения имеют заданную (при их изготовлении) неизменную величину, а при регенерации ФЭК обратным током жидкости или газа эти проходные сечения увеличиваются и, кроме того, имеют возможность совершать колебательные движения под воздействием регенерирующего потока жидкости или газа.

Устройство ФЭК

Общий вид ФЭК (его вертикальное сечение) показан на рис.1.

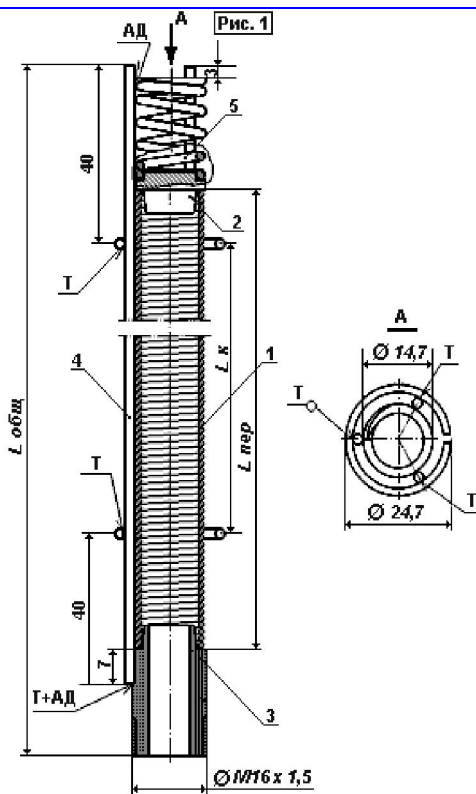
ФЭК состоит из фильтрующей перегородки (1), крышки (2), штуцера (3), каркаса (4) и пружины (5). Фильтрующая перегородка (1) выполняется из проволоки диаметром 0,6-0,8 мм. Фильтрующая перегородка может быть выполнена длиной до 400мм с проходными фильтрующими зазорами от 7 до 100 микрон. Наружный диаметр фильтрующей перегородки 14-15мм.

Осветляемая жидкость или газ подаются на внешнюю поверхность фильтрующей перегородки (1).

Задержанные частички твердых взвесей остаются на внешней поверхности элемента, а очищенная жидкость или газ (фильтрат) выводятся через штуцер (3).

После окончания цикла фильтрования, когда производительность фильтра упадет ниже заданной, производится регенерация ФЭК. При этом жидкость или газ подаются в штуцер (3) в направлении, обратном направлению выхода фильтрата. В этом случае происходит растягивание фильтрующей перегородки (1) и увеличение ее фильтрующих зазоров, что дает возможность практически полностью удалить частицы загрязнений с наружной поверхности фильтрующей перегородки и из фильтрующих зазоров.

Первоначально ФЭК разрабатывались для радиохимического производства, поэтому преимущественно они изготавливаются из нержавеющей стали и могут отличаться способом крепления их в фильтрующем аппарате и конструктивным исполнением. Однако это не исключает их изготовления и из других (обычных или со специальными свойствами) металлов.



Основные отличия ФЭК от пористых фильтрующих материалов



Отличие ФЭК от пористых фильтрующих материалов поясняется рис.2, на котором схематично показаны две фильтрующие перегородки:

- А – пористая;
- В - выполненная из проволоки в виде винтовой спирали для ФЭК

Рис. 2 Пример отличия ФЭК от пористых фильтрующих материалов

Как видно из Рис.2, пористая перегородка имеет множество извилистых каналов неправильной формы, а проходные сечения ФЭК образованы за счет зазоров между гладкими поверхностями цилиндрической формы.

Начальная стадия фильтрования в любом случае сопровождается некоторым периодом времени, в течение которого происходит образование сводов над фильтрующими каналами. В этот период неизбежен проскок твердых частиц, содержащихся в фильтруемой суспензии (более подробные сведения о начальной стадии фильтрования можно получить в следующей главе).

После формирования над каналами устойчивых фильтрующих сводов наступает период непосредственного фильтрования с получением чистого фильтрата. Чистота фильтрата в этот период будет зависеть от устойчивости фильтрующих сводов по отношению к воздействию давления фильтруемой суспензии и от устойчивости фильтрующих сводов по отношению к возможным вибрациям фильтрующей перегородки.

От величины пор фильтрующей перегородки зависят все стадии фильтрования:

- во-первых - время образования сводов, а, следовательно, и величина первоначального проскока твердых частиц суспензии;
- во-вторых, прочность образованных сводов; и, наконец, качество последующего установившегося процесса фильтрования.

На этапе установившегося процесса фильтрования качество фильтрата (его чистота) зависит от пористости слоя, сформированного из задержанных частиц. Частицы, не задержанные слоем осадка, сумевшие проникнуть сквозь фильтрующие своды имеют возможность прилипнуть к внутренним поверхностям фильтрующих каналов за счет сил адгезии и уменьшить проходное сечение фильтрующей перегородки. Этот процесс прогрессирует с течением времени в случае использования пористой перегородки.

В случае использования ФЭК частицы также могут проникнуть сквозь фильтрующий слой и далее через фильтрующий свод. Но в этом случае площадь возможного контакта проскочивших частиц с цилиндрической поверхностью витков несравненно меньше, чем в случае использования пористой перегородки.

Адгезия частиц к поверхности фильтрующих каналов при фильтровании постепенно приводит к снижению скорости фильтрования пористых фильтрующих перегородок, а затем и к полному закупориванию пор.

Регенерация таких перегородок потоком жидкости, направленным в сторону, противоположную тому направлению, при котором производилось фильтрование, с каждым разом становится все менее эффективной. Даже использование химических реагентов не приводит к восстановлению первоначального сечения пор. Это объясняется тем, что доступ реагентов к поверхностям застрявших в порах частиц затруднен из-за самих частиц, находящихся в порах пористой фильтрующей перегородки.

В отличие от пористых фильтрующих перегородок вся фильтрующая поверхность ФЭК и, соответственно прилипшие к ней частички, становятся легко доступными и для противотока жидкости, и для реагентов, предназначенных для регенерации фильтрующей перегородки.

После проведения ряда циклов "фильтрация - регенерация" поры фильтрующих материалов, таких как картон, ткани и др., необратимо закупориваются частичками твердой фазы, поэтому фильтрующие элементы, составляющие основу всякого фильтра, приходится извлекать из фильтрующих аппаратов и заменять новыми.

Извлеченные из аппаратов фильтрующие материалы превращаются в отходы. Кроме того, сама процедура замены фильтрующих материалов также требует непроизводительных затрат времени и средств. Все описанные трудности проведения процесса фильтрования многократно

возрастают, когда приходится иметь дело с токсичными и радиоактивными жидкостями или газами. ФЭК свободны от необратимого закупоривания пор.

На фильтрах, оснащенных ФЭК, можно проводить бесконечное число циклов "фильтрация-регенерация", не опасаясь их остановки из-за необратимого закупоривания пор и необходимости замены фильтрующих материалов.

Использование ФЭК позволяет предприятиям-пользователям получить экономию на ремонтно-восстановительных работах, закупках фильтрующих материалов и реагентах, которые в ряде случаев применяются для регенерации фильтрующих материалов.

Высокая способность ФЭК к регенерации подтверждается многочисленными экспериментальными данными, фрагмент которых показан на рис.3, где приведено сравнение фильтрационных характеристик металлокерамического фильтрующего элемента (МКФ) и ФЭК.

Испытания проводились на элементах, имеющих одинаковые фильтрующие поверхности и пористость при одинаковом начальном перепаде давления на фильтрующих перегородках. Условия регенерации обратным током жидкости также были одинаковыми

Каждая последующая точка на графике (рис.3) указывает на производительности ФЭК и МКФ, которые получаются после регенерации элемента, проводимой вслед за проведением предыдущего цикла фильтрования

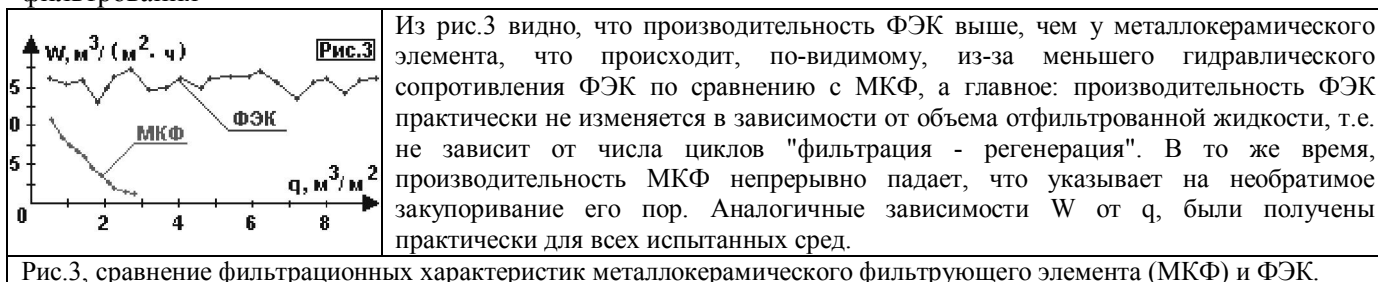


Рис.3, сравнение фильтрационных характеристик металлокерамического фильтрующего элемента (МКФ) и ФЭК.

Процесс фильтрования

Характер процесса фильтрования с использованием ФЭК также, как и при использовании любых других фильтрующих материалов или элементов, зависит, прежде всего, от характеристики среды, подвергаемой очистке.

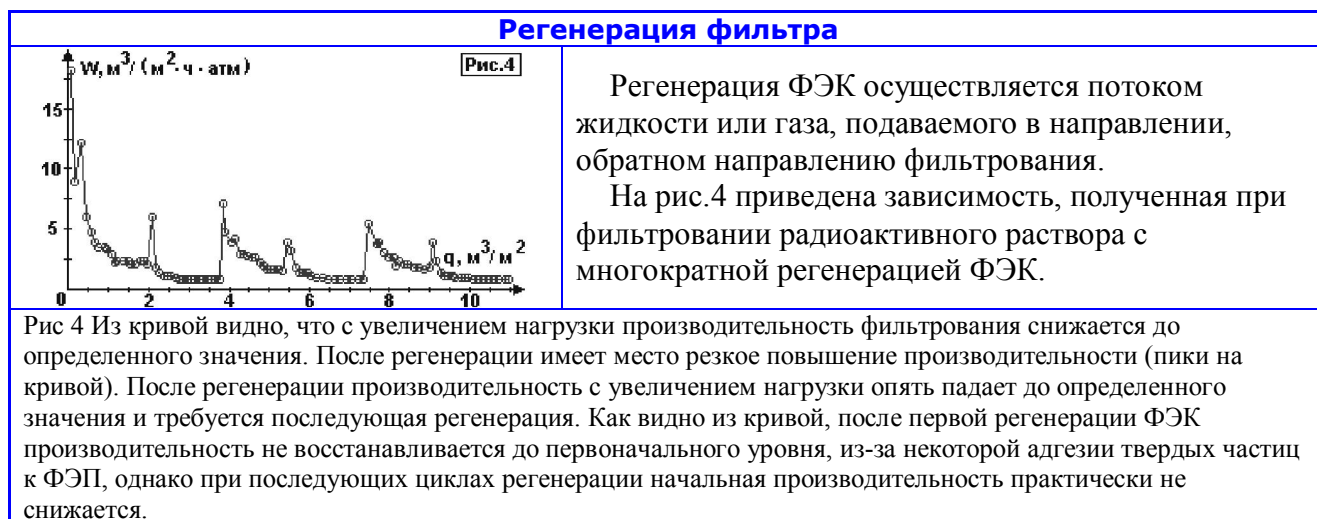
В любом случае процесс всегда сопровождается снижением производительности фильтров по мере накопления на фильтрующей поверхности задерживаемых частиц, приводящих к росту гидравлического сопротивления фильтра. Ряд зависимостей производительности фильтров (на основе ФЭК) от времени (или удельной нагрузки на фильтры) в течение одного цикла фильтрования, т.е. до проведения регенерации, приведены ниже.

| | |
|--|--|
| | <p>Зависимость производительности (W) от удельной нагрузки (q) при фильтровании московской водопроводной воды с использованием вспомогательного фильтрующего слоя из перлита.</p> |
| | <p>Зависимость производительности (W) от удельной нагрузки (q) при фильтровании производственных растворов среднего уровня радиоактивности Производственного Объединения "Атомфлот". Фильтрование с перлитом.</p> |
| | <p>Зависимость производительности (W) от удельной нагрузки (q) при фильтровании раствора высокого уровня радиоактивности через слой перлита.</p> |
| | <p>Зависимость производительности (W) от удельной нагрузки (q) при очистке сточных вод от помывки автотранспорта с использованием перлита.</p> |
| | <p>Зависимость производительности (W) от удельной нагрузки (q) при фильтровании растворов поваренной соли в хлебопекарном производстве.</p> <ul style="list-style-type: none"> • кривая 1 - содержание твердой фазы 120 мг/дм³ • кривая 2 - содержание твердой фазы 270 мг/дм³ |
| | <p>Зависимость производительности (W) от содержания твердой фазы на поверхности ФЭК (Q) при очистке воздуха от высоко дисперсных частиц FeO.</p> |
| | <p>Зависимость производительности (W) от времени фильтрования (T) при очистке подсолнечного масла с использованием вспомогательного фильтрующего слоя из перлита.</p> |

Как видно из графиков, начальные и конечные значения производительности фильтрования W и удельной нагрузки q для различных сред различны. Общей тенденцией зависимостей W от q является снижение W с увеличением нагрузки q на ФЭП, что объясняется закупориванием фильтрующих зазоров твердой фазой по мере ее накопления на фильтрующей перегородке, приводящим к росту гидравлического сопротивления фильтра. Отсюда следует, что длительности циклов фильтрования (до очередной регенерации фильтра) для различных сред могут существенно отличаться друг от друга.

В каждом отдельном случае для определения возможностей фильтра, его режимов работы необходимо провести экспресс-анализ работы фильтрующих элементов, обладающих различными проходными сечениями фильтрующих перегородок.

Это позволяет определить оптимальные проходные сечения ФЭП, длительность единичного цикла фильтрования, качество фильтрата и, в конечном итоге, получить все необходимые данные для расчета фильтра на заданную потребителем производительность.



Основные технические характеристики пружинных фильтроэлементов

| Наименования показателей | Значения | |
|--------------------------------------|--------------|--------------|
| | Исполнение 1 | Исполнение 2 |
| Материал | 12X18H10T | 12X18H10T |
| Материал корпусных деталей | 12X18H10T | 12X18H10T |
| Площадь фильтрации, м ² | 0,0143 | 0,0075 |
| Габаритная высота, мм | 475 | 225 |
| Габаритный диаметр, мм | 25 | 25 |
| Номинальная тонкость фильтрации, мкм | | |
| - без намывки | от 20 до 100 | от 20 до 100 |
| - с намывкой перлита | 1÷3 | от 1÷3 |
| Производительность по воде, л/час, | до 150 | до 75 |
| Гидравлическое сопротивление, МПа | 0,002 | 0,002 |
| Рабочая температура (интервал), °С | -70÷+800 | -70÷+800 |
| Присоединительный размер | M16×1,5 | M16×1,5 |
| Допустимый перепад давления, МПа | до 0,1 | до 0,1 |

Заключение

Как видно из приведенных материалов, ФЭК может использоваться во многих случаях, когда требуется отделить твердые частицы от несущего их потока газа или жидкости.

При этом ФЭК имеют несомненные преимущества перед широко используемыми пористыми фильтрующими материалами за счет их долговечности и отсутствия физической возможности закупоривания фильтрующей поверхности, т.к. она представляет собой гидравлически гладкую цилиндрическую поверхность.

Проницаемые конструкции на основе комбинированных пористых сетчатых металлов

Назначение: Для очистки газов и жидкостей от твердых примесей, разделения жидкой и газовой фаз, для использования в теплозащитных проницаемых конструкциях как конструкционный материал в теплообменных аппаратах.

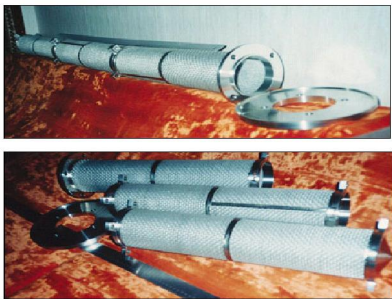
Принцип действия: Проницаемые конструкции изготавливаются из металлических тканых сеток с применением горячей прокатки в вакууме, диффузионной сварки и лазерных технологий; применение тканых сеток как основы для получения комбинированных пористых сетчатых металлов позволяет получить проницаемые конструкции, отличающиеся рядом свойств от известных аналогов.

Область применения: Ракетно-космическая, авиационная, газо- и нефтеперерабатывающие отрасли, теплоэнергетика, химическая промышленность, машиностроение, пищевая промышленность, медицина и другие отрасли.

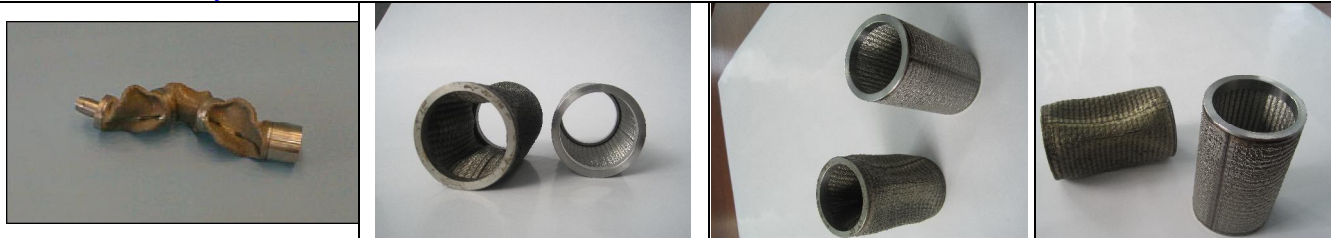
Преимущества:

- Высокая эффективность и надежность, связанная с сохранением функциональных параметров в нештатных ситуациях;
- Высокие прочностные характеристики при малых весовых показателях;
- Разнообразное формообразование гибкой, штамповкой и т.п.;
- Совместимость с различными рабочими средами;
- Простота в обращении;
- Возможность восстановления первоначальных характеристик регенерацией (ультразвуковой, механической очисткой, обратным потоком и т.п.);
- Возможность при простых формах (оболочечные конструкции) увеличивать эффективную площадь фильтрации при тех же габаритных размерах в 1,6 – 1,9 раза, сохраняя преимущества регенерации и двухстороннего действия фильтрующего элемента.

Техническая характеристика

| | | |
|---|---|---------------------------------------|
|  | Размер пор, мкм | 0.5-3 и выше |
| | Коэффициент проницаемости, м ² | 10 ⁻⁸ ...10 ⁻¹⁰ |
| | Рабочие перепады давления, МПа до | 0,005...1,0 |
| | Максимальные перепады давления, МПа | 4,0...10 |
| | Период эксплуатации - не менее, год | 10 |
| | Температурный диапазон работы, °С: | |
| непрерывный | -50...600 | |
| кратковременный | до +1200 | |

Исключительной особенностью металлических фильтроэлементов (КПСМ) является их высокая надежность, при достижении критических перепадов давлений (30÷100 кг/см²), не разрушаются, а пластически деформируются, предотвращая тем самым аварийные ситуации на объектах эксплуатации.



ФЭ не разрушаются а пластически деформируются, что предотвращает аварийные ситуации в трактах компримирования газов

К базовым преимуществам проницаемых конструкций добавляются:

- длительный срок эксплуатации без замены;
- регенерация в условиях заказчика в системе;
- сохранение функциональной способности при потере устойчивости фильтроэлемента.
- подача очищаемой среды с любой стороны;
- лёгкость и быстрота замены;

Такие свойства ФЭ из КПСМ определяются технологией изготовления, - фильтрующая поверхность **представляет собой объемную сетку** т.е. в отличие от порошковых металлических, металлокерамических, керамических, полимерных материалов, где поровое пространство представляет собой межзерновое пространство, сформированное в результате спекания под давлением, пористое пространство ФЭ из КПСМ представляет собой как в плане так и в разрезе – **СЕТКУ**.

Технология создания такой структуры материалов была разработана в МВТУ им. Н.Э. Баумана. ФЭ из КПСМ изготавливается путем сварки нескольких слоев сеток с разными ячейками в среде водорода при температуре не ниже 1200°C, в результате получается объемная фильтрующая сетка по своим характеристикам не имеющим аналогов как в России так и за рубежом.

В отличие от фильтрующих материалов из металлических сеток, **функциональный срок работы ФЭ из КПСМ** (срок работы фильтроэлементов, при котором сохраняется паспортная тонкость фильтрации, производители никогда не указывают этот параметр!!!) **сохраняется на все время эксплуатации ФЭ**.

Функциональный срок работы ФЭ из металлических сеток как правило не превышает 20÷30 циклов регенерации и после предельного количества регенераций тонкость фильтрации не соответствует паспортным данным и может на порядки отличаться от первоначальной (паспортной).

Функциональный срок работы из сеток для газов в 2-3 раза выше, чем для жидкостей.

Недостаток порошковых ФЭ (металлических, металлокерамических, керамических, полимерных материалов), необратимое закупоривание и как следствие падение производительности и невозможность регенерации.

Крайне важной характеристикой ФЭ является устойчивость материала, из которого изготовлены фильтроэлементы. Как показала практика эксплуатации ФЭ из КПСМ, межремонтный пробег уплотнений в трактах высокого (компримирование газов) давления (100-1500 кг/см²) в 2-3 раза выше по сравнению с металлокерамическими ФЭ.

Многослойная сеточная конструкция КПСМ позволяет изготавливать ФЭ выдерживающими перепад давлений до разрушения не менее 100кг/см². Ни один тип ФЭ изготавливаемых в России такими характеристиками не обладает, зарубежных аналогов также нет.

Объемная сеточная конструкция ФЭ из материалов КПСМ обладает наилучшей регенерируемостью присущей всем сеточным материалам.

Регенерация Фильтроэлементов:

Подробно регенерация фильтров описывается в руководстве по эксплуатации на фильтрующие аппараты.

Регенерация производится обратным током очищенной жидкости или газом (азот), при достижении допустимого перепада давления на фильтроэлементах, как отмечалось выше ФЭ из КПСМ могут выдерживать перепады давления до 100 кг/см², поэтому для регенерации может использоваться повышенное давление промывочной жидкости для регенерации по сравнению с сеточными и порошковыми материалами, что позволяет производить более качественную регенерацию ФЭ.

Периодичность регенерации подбирается на практике экспериментально.

Количество циклов регенерации ФЭ из КПСМ любое за все время работы ФЭ.

Срок эксплуатации ФЭ из КПСМ не менее 5 лет.