

УДК 622.276

А.А. Васильев, к.т.н., директор, ООО Инновационно-инжиниринговое предприятие «Нефтегазовые технологии», e-mail: oilgas.ufa@mail.ru; **А.Н. Корунов**, главный специалист Отдела подготовки нефти Управления по подготовке нефти и газа, e-mail: KorunovAN@samng.ru; **Б.А. Шишканов**, начальник Отдела подготовки нефти, e-mail: ShishkanovBA@samng.ru, ОАО «Самаранефтегаз»

ОЧИСТКА ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ОАО «САМАРАНЕФТЕГАЗ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА: РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ НА УПН «КРАСНОЯРСКАЯ»

В данной статье рассмотрен опыт проведения стендовых испытаний очистки пластовой воды на УПН «Красноярская» ОАО «Самаранефтегаз». Для моделирования работы в реальных условиях был разработан и испытан экспериментальный образец фильтра динамического универсального. В процессе стендовых испытаний были опробованы различные материалы в качестве фильтрующего элемента.

Очистка пластовых вод от нефтепродуктов в технологических процессах подготовки воды для последующей закачки ее в пласт является одной из наиболее важных производственных проблем сбора, подготовки и транспортировки нефти. Известно [1], что существующие методы очистки пластовой воды могут быть классифицированы в группы шести уровней.

Первый уровень. Превентивные методы, направленные на сохранение естественной высокой чистоты капель воды в нефти (за счет исключения излишней турбулизации потока, возникновения промежуточных слоев и т.д.).

Второй уровень. Очистка сточных вод в поле естественной или наведенной гравитации (отстаивание, гидроциклоны, центрифугирование).

Третий уровень. Механическое разделение фильтрацией в пористых средах (фильтры).

Четвертый уровень. Очистка сточных вод с использованием средств укрупнения и псевдоукрупнения капель (коалесцирующие фильтры, гидродинамическое каплеобразование, электрофлотация, флотация, электрокоагуляция, коагулянты).

Пятый уровень. Очистка сточных вод абсорбцией загрязнений жидкостными фильтрами углеводородной или иной

основы с использованием различных наполнителей (например, нефть, углеводородные слои, полиэтиленовые шабрики) или без них.

Шестой уровень. Очистка воды с использованием поверхностных эффектов, автофлотационных и микротурбулационных процессов.

В настоящее время на объектах ОАО «Самаранефтегаз» используются методы очистки пластовой воды от нефтепродуктов, относящиеся к группе второго уровня. Опыт показывает, что эти методы эффективны при очистке воды от механических примесей и не всегда дают должного эффекта при очистке пластовой воды от нефтепродуктов.

Проблема повышения качества очистки пластовой воды от нефтепродуктов, с последующим использованием уловленных нефтепродуктов в хозяйственном обороте предприятия, является актуальной, особенно при высоком уровне обводненности продукции скважины. В связи с этим возникла необходимость создания мобильной фильтрационной установки блочного исполнения для очистки пластовой воды от остаточного содержания нефтепродуктов. Проект по созданию «Мобильной фильтрационной установки блочного исполнения для очистки пластовой воды от остаточного содержания нефтепродуктов на УПН

Красноярская» выполнялся в соответствии с утвержденной программой системы новых технологий, первым ее этапом – проведения стендовых испытаний по использованию динамического фильтра на УПН «Красноярская» ЦПНГ-4 ОАО «Самаранефтегаз».

ЦЕЛИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ:

- выбор и обоснование способа эффективной очистки пластовой воды от остаточных нефтепродуктов на потоке;
 - разработка конструкции фильтра, реализующего предложенный способ очистки пластовой воды;
 - определение оптимальной тонкости фильтрации воды и подбор материала фильтрующей перегородки;
 - исследование снижения потерь нефти за счет улавливания ее на фильтрах и возвращения в технологический процесс предварительной подготовки;
 - определение пропускной способности фильтра;
 - определение оптимальной поверхности фильтрующих перегородок;
 - разработка рекомендаций для усовершенствования динамических фильтров с целью их внедрения в промышленные технологии очистки пластовых вод на объектах ОАО «Самаранефтегаз».
- Анализ существующих способов и технических решений очистки пластовой воды

от нефтепродуктов позволил установить, что наиболее эффективным является применение технологии очистки воды с помощью фильтров. Фильтрация применяется после очистки пластовых вод в отстойниках. Процесс основан на прилипанию грубодисперсных частиц нефти и нефтепродуктов к поверхности фильтрующего материала. Фильтры по виду фильтрующей среды делятся на тканевые или сетчатые, каркасные или намывные, зернистые или мембранные. Фильтрация через различные сетки и ткани обычно применяют для удаления грубо дисперсных частиц. Более глубокую очистку нефтесодержащей воды можно осуществлять на каркасных фильтрах.

ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА КАРКАСНЫХ ФИЛЬТРАХ МОЖНО РАЗДЕЛИТЬ НА ТРИ БОЛЬШИЕ ГРУППЫ:

- фильтрация через пористые зернистые материалы, обладающие адгезионными свойствами (кварцевый песок, керамзит, антрацит, пенополистирол, котельные и металлургические шлаки и др.);
- фильтрация через эластичные и волокнистые материалы, обладающие сорбционными свойствами и высокой нефтеемкостью (нетканые синтетические материалы, пенополиуретан и др.);
- фильтрация через пористые зернистые и волокнистые материалы для укрупнения эмульгированных частиц нефтепродуктов (коалесцирующие фильтры).

Два первых метода близки по основным технологическим принципам, лежащим в основе процесса изъятия нефтепродуктов из воды, и отличаются нефтеемкостью, регенерацией фильтрующей загрузки и конструктивным оформлением. Третий метод принципиально отличается от рассмотренных. Период фильтроцикла, характерный для первых двух методов, завершает этап «зарядки» коалесцирующего фильтра. После этого пленка нефтепродуктов отрывается от поверхности фильтрующего слоя в виде капель с диаметром несколько миллиметров. Капли быстро всплывают и легко отделяются от воды.

До недавнего времени в основном применяли каркасные фильтры с засыпкой из пористых материалов, в частности эластичного пенополиуретана. Этот

материал имеет открытую ячеистую структуру со средним размером пор 0,8–1,2 мм и кажущуюся плотность 25–60 кг/м³. Эластичный пенополиуретан характеризуется высокой пористостью, механической прочностью, химической стойкостью, гидрофобными свойствами, что обеспечивает значительную поглощающую способность по нефтепродуктам.

Общим недостатком всех рассмотренных фильтров (кроме пенополиуретановых) является то, что в результате их регенерации образуются высокоэмульгированные и весьма стойкие эмульсии, существенно затрудняющие утилизацию выделенных нефтепродуктов.

Для очистки нефтесодержащих пластовых вод разработана еще одна относительно новая технология на основе использования коалесцирующих фильтров.

Под коалесценцией понимают слияние частиц дисперсной фазы эмульсии, например нефтепродуктов, с полной ликвидацией первоначально разделяющей частицы междуфазной поверхности. Это приводит к изменению фазово-дисперсного состояния и укрупнению капель исходной эмульсии. Система становится кинетически неустойчивой и быстро расслаивается.

Наиболее широкое распространение получил метод коалесценции при фильтрации эмульсии через различные пористые материалы. В этом случае назначение фильтрующего слоя принципиально изменяется. В обычных фильтрах он выполняет функцию удерживающей среды, назначение нефилтрующей загрузки в коалесцирующих фильтрах – укрупнение мелких эмульгированных капель нефтепродуктов в более крупные.

Конструктивно коалесцирующие фильтры практически всегда объединяются с отстойниками или в отстойники встраиваются коалесцирующие элементы (насадки).

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ И ВЕСЬМА СУЩЕСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРОВ-КОАЛЕСЦЕРОВ:

- высокая эффективность разделения эмульсий и удельная производительность;
- устойчивость технологического процесса при значительных колебаниях

концентрации нефтепродуктов и расхода сточных вод;

- простота изготовления, эксплуатации и автоматизации;
- длительный межрегенерационный период.

Метод коалесценции можно отнести к регенеративным методам, так как в результате протекающих процессов эмульсия разделяется на две фазы, одна из которых представляет собой нефтепродукты. Утилизация этих нефтепродуктов может создать существенную дополнительную экономическую предпосылку в реализации этого метода.

Наибольшее применение в практике разделения эмульсий метод коалесценции нашел в нефтяной промышленности и на судах морского флота для очистки нефтесодержащих сточных вод, а также на заключительной стадии экстракционных процессов в химической промышленности и при обезвреживании топливных материалов на транспорте. Коалесцирующие материалы способны разрушать устойчивые водомасляные эмульсии без использования расходных реагентов затрат тепла и электроэнергии.

В результате проведенного анализа различных способов очистки пластовой воды от нефтепродуктов установлено, что наиболее эффективными и оптимальными по затратам являются технологические процессы очистки воды с использованием каркасных фильтров с эластичной загрузкой или фильтров-коалесцеров. Поэтому в качестве фильтрующих перегородок были опробованы эластичные загрузки из различных материалов с различными свойствами (гидрофильные, гидрофобные), а также фильтры-коалесцеры на основе политетрафторэтилена.

Для моделирования работы мобильной фильтрационной установки блочного исполнения в реальных условиях по техническому заданию специалистов ОАО «Самаранефтегаз» был разработан экспериментальный образец фильтра динамического универсального. Особенностью конструкции фильтра является возможность моделировать различные схемы организации процесса фильтрации при минимальных затратах на его переналадку при изучении технических характеристик различных фильтрующих материалов.

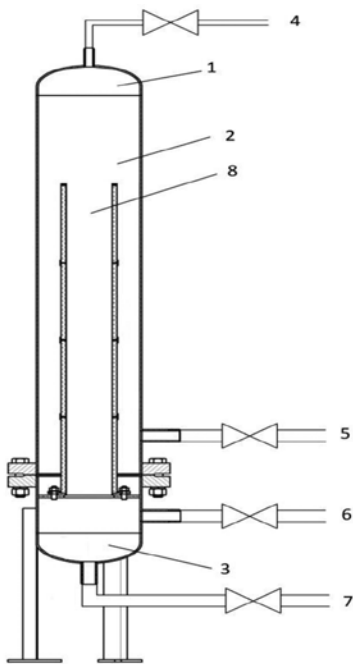


Рис. 1. Фильтр для испытаний

Фильтр динамический универсальный (рис. 1) – сосуд, работающий под давлением, в основе процесса фильтрации которого используется динамический эффект: вектор скорости движения жидкости направлен вдоль фильтрующей перегородки, что существенно снижает адгезию загрязнений с фильтрующей перегородкой. В состав фильтра входят: верхняя крышка (1),



Рис. 2. Схема №1. Фильтр с эластичной загрузкой

корпус фильтра (2), основание корпуса (3), подводящие и отводящие патрубки (4, 5, 6, 7), к основанию корпуса фильтра крепится съемная колонна 8.

Патрубок 4 используется для отвода воды с высоким содержанием нефти. В зависимости от схемы организации процесса патрубки 5 и 6 могут выполнять функции как подводящих, так и отводящих жидкость. Работа фильтра может быть осуществлена по двум схемам организации процесса фильтрации.

Направление потока сверху вниз, а перемещение коагулирующих частиц снизу вверх характеризует первую схему работы фильтра. На рисунке 2 представлена работа фильтра по схеме № 1: через патрубок 5 осуществляется подвод в фильтр исходной пластовой воды, а через патрубок 6 – отвод отфильтрованной воды.

По схеме №2 патрубок 6 является подводящим, а патрубок 5 – отводящим жидкостью из корпуса фильтра.

Патрубок 4 используется для удаления из корпуса воды с повышенным содержанием нефти, патрубок 7 – для удаления отложений. На рисунке 3 представлена работа фильтра по схеме № 2. Направление потока снизу вверх и перемещение коагулирующих частиц снизу вверх характеризует вторую схему работы фильтра.

Монтаж фильтра был произведен согласно схеме изображенной на рисунке 4. Схема врезки фильтра в общую схему УПН «Красноярская» позволяла регистрировать перепад давления на фильтре и расход жидкости, проходящей через фильтр.

В процессе стендовых испытаний были опробованы различные материалы эластичных загрузок, используемых в качестве фильтрующего элемента. На основе анализа различных информационных источников были определены и подверглись испытанию следующие полимеры:

- нанопористый композитный материал Э-Ко (ТУ 2215-001-0166385288-2010);
- полипропилен и сополимеры пропилен-БАЛЕН (ТУ 2211-074-05766563-2005);
- фильтрующий элемент для фильтрации жидкости «ЭКОПЛАСТ-ФЭП-Ф» (ТУ 9471-001-10835289-2008).

Специально разработанный нанопористый композитный материал Э-ко

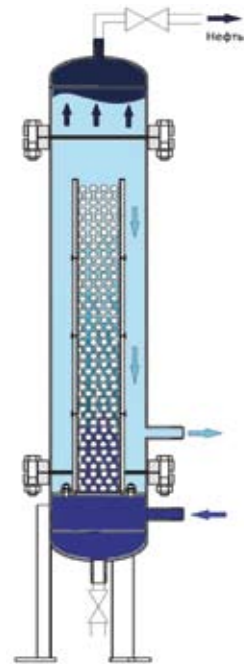


Рис. 3. Схема №2. Фильтр-коалесцер

позволяет эффективно поглощать из различных проблемных сред воду, механические, а также биологические примеси и при этом непрерывно самоочищаться в процессе работы от накопившейся воды. Технология позволяет менять структуру материала для получения различных свойств.

В испытаниях Э-ко материал (рис. 5) применялся в качестве насыпного фильтрующего материала и подвергался испытаниям как по схеме №1, так и по схеме №2.

Фильтрующий материал предназначен для обработки гидрофобных жидкостей, в ходе которой очищаемая среда разделяется на очищенный продукт и отделенные загрязнения. Гидрофобная жидкость (топливо, масло, углеводороды и т.д.) и вода после прохождения фильтрующего материала отделяются в виде четко разграниченных отдельных фаз, которые можно легко отделить друг от друга. Благодаря своей уникальной структуре фильтрующий материал способен разделять эмульсии, которые практически невозможно отделить путем отстаивания.

По мере поглощения воды из нефтепродуктов внутри пористой структуры фильтрующего материала образуются капли воды, которые под действием сил гравитации движутся к нижней части фильтрующего элемента. Если же под воздействием потока нефтепродукта капля воды оказывается вытолкнутой на

наружную поверхность, то она не уносится потоком, а скользит по поверхности фильтрующего элемента (как капли дождя по стеклу). По мере накопления капель в нижней части фильтрующего элемента они стекают в отстойник.

Гранулированный полипропилен (рис. 6) является одним из самых легких среди жестких полимеров, имеющих высокую относительную плотность. Полипропилен имеет более высокую температуру плавления, чем полиэтилен, и, соответственно, более высокую температуру разложения. Чистый изотактический полипропилен плавится при 176 °С. Максимальная температура эксплуатации полипропилена – 120–140 °С. Превосходя полиэтилен по теплостойкости, полипропилен уступает ему по морозостойкости. Его температура хрупкости (морозостойкости) колеблется от –5 до –15 °С. Морозостойкость можно повысить введением в макромолекулу изотактического полипропилена звеньев этилена (например, при сополимеризации пропилена с этиленом).

Полипропилен – водостойкий материал. Даже после длительного контакта с водой в течение шести месяцев (при комнатной температуре) водопоглощение полипропилена составляет менее 0,5%, а при 60 °С – менее 2%.

Политетрафторэтилен, или тефлон, или фторопласт-4 (-C2F4-)п, – полимер тет-рафторэтилена (ПТФЭ), пластмасса, обладающая редкими физическими и химическими свойствами и широко применяемая в технике и в быту.

Политетрафторэтилен представляет собой рыхлый волокнистый белый порошок с насыпной плотностью 0,4–0,5 г/см³, плотностью 2,25–2,27 г/см³. Молекулярный вес его – 100 000–500 000. Фторопласт-4 является кристаллическим полимером, степень кристалличности составляет 80–85%, его т. пл. – 327 °С, а температура стеклования аморфной части – около –120 °С.

В конструкции фильтрующих элементов фторопласт используется как материал фильтрующих перегородок. Оригинальность конструкции фильтрующего элемента была установлена государственной экспертизой. Предприятие «Нефтегазовые технологии» имеет патент на применяемый фильтрующий элемент из фторопласта.

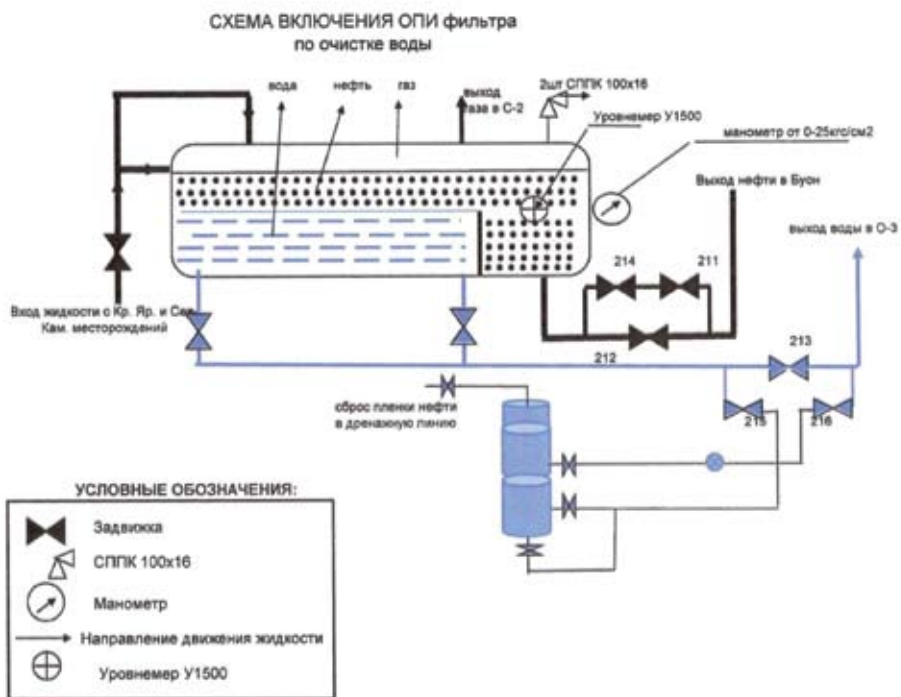


Рис. 4. Схема включения фильтра очистки воды



Рис. 5. Э-ко материал до использования (слева), Э-ко материал после использования (справа)



Рис. 6. Гранулированный полипропилен



Рис. 7. Фильтрующий элемент, изготовленный по патенту

На рисунке 7 представлены фильтрующие элементы в виде колонн, в которых в качестве фильтрующих перегородок использовался фторопласт. Эти фильтрующие элементы также подвергались испытаниям. В первом случае (слева) колонна представляет собой цельный элемент. Во втором случае (справа) колонна представляет собой сборную конструкцию из готовых фильтрующих фторопластовых перегородок.

Стендовые испытания начинались с подготовки фильтра к работе. Настройка режима работы фильтра осуществлялась в соответствии с методикой проведения испытаний. После стабилизации режима работы фильтра проводили регулярные измерения исследуемых показателей качества очистки пластовой воды и параметров режима фильтрации. Эти показатели регистрировались в журнале наблюдений.

Методика измерения массовой концентрации нефти и нефтепродуктов в пробах пластовых, нефтепромысловых сточных вод, для заводнения нефтяных пластов основывается на фотокалориметрическом методе. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефти и нефтепродуктов аттестована ФГУ «Самарский ЦСМ» – свидетельство об аттестации № МЭ 29/24-006-2009г. от 18.12.2009 г.

Регистрация измерений исследуемых величин (количественное значение нефтепродуктов, перепада давлений) регистрировались в журнале наблюдений, по которому были построены диаграммы изменения указанных величин (см. рис. 8, 9).

На рисунке 8 представлен результат измерения нефтепродуктов на входе (синий цвет) и на выходе (красный цвет) по обеим схемам работы фильтра.

На рисунке 9 представлена диаграмма работы фильтрующего элемента на основе фторопласта с максимальной пропускной способностью соединительных водоводов (20 м³/час).

После проведенных испытаний были произведены расчеты, при тех же условиях, на пропускную способность и коэффициент отсева фильтрующих перегородок. В результате расчетов были получены две диаграммы, представленные на рисунках 10 и 11.

Из диаграмм видно, что фильтрующие перегородки из фторопласта-4 облада-

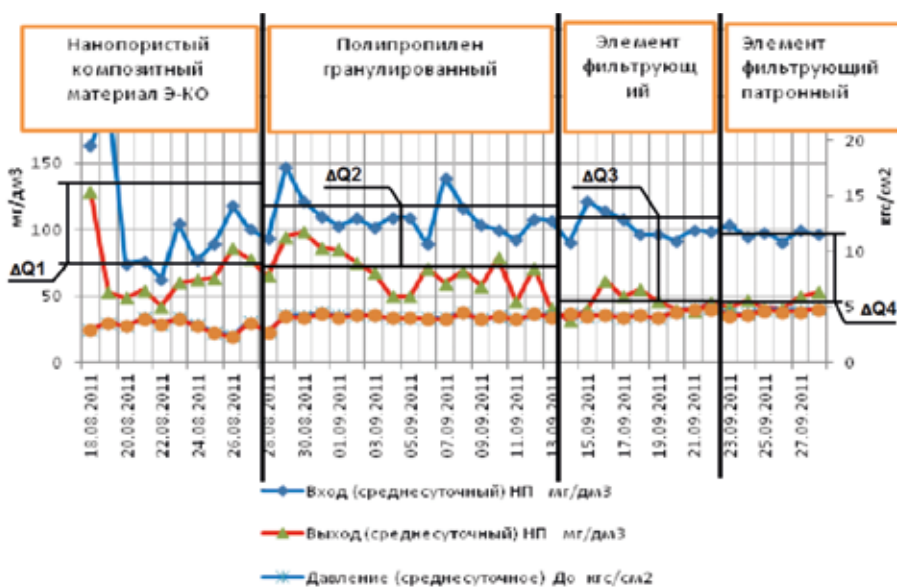


Рис. 8. Диаграмма испытаний различных фильтрующих элементов

ют большей пропускной способностью и большим коэффициентом отсева по сравнению с другими фильтрующими перегородками.

НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ УСТАНОВЛЕНО СЛЕДУЮЩЕЕ:

- 1) получен положительный эффект от применения динамического фильтра-коалесцера очистки пластовой воды от нефтепродуктов на потоке с применением полимерных перегородок;
- 2) установлено, что наибольший эффект очистки пластовой воды от остаточных нефтепродуктов достигается при использовании сплошных фильтрующих элементов по сравнению с насыпными наполнителями;
- 3) установлено, что наибольший эффект очистки пластовой воды достигается при использовании фильтрующей перегородки из материала политетрафторэтилен (фторопласт – Ф 4) с 200 мг/дм³ до 43 мг/дм³, снижение содержания нефтепродуктов и КВЧ в пластовой воде на 60–65%.

РЕКОМЕНДАЦИИ:

- провести промышленные испытания динамического фильтра-коалесцера с фильтрующим элементом из политетрафторэтилена с толщиной фильтрации не более 10 мкм;
- доработать конструкцию фильтра, установив в верхней части фильтра накопитель для сбора воды с большим содержанием нефти;
- с целью сокращения затрат на обслуживание фильтра установить на одной платформе два фильтра равной производительности, замещающие один фильтр большей производительности.

ВЫВОДЫ

Таким образом, внедрение в производство мобильной фильтрационной установки блочного исполнения для очистки пластовой воды от остаточного содержания нефтепродуктов с использованием динамических фильтров-коалесцеров позволит повысить метод очистки воды до группы четвертого уровня. Это помимо повышения качества подготовки пластовой воды позволит вернуть в хозяйственный оборот предприятия 140–160 мг сырой нефти с 1 дм³ пластовой воды.

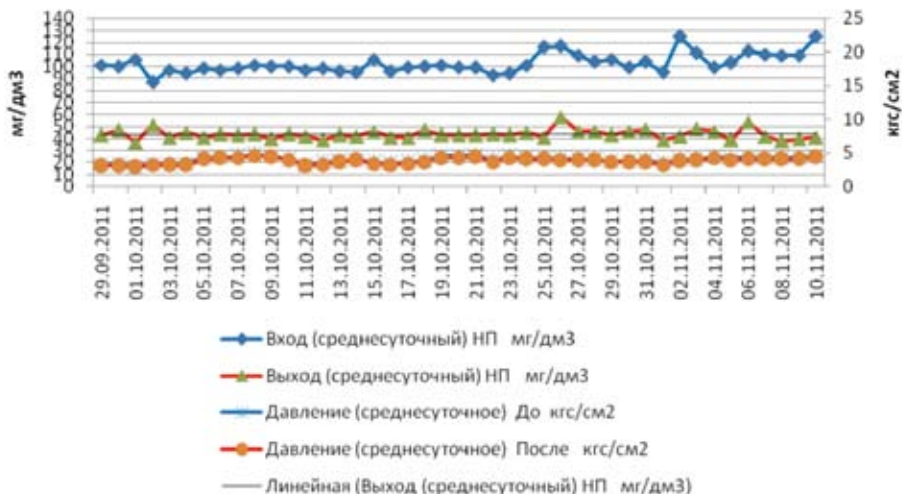


Рис. 9. Диаграмма испытаний фильтрующего элемента на основе фторопласта при максимальной нагрузке



Рис. 10. Диаграмма пропускной способности фильтрующих перегородок

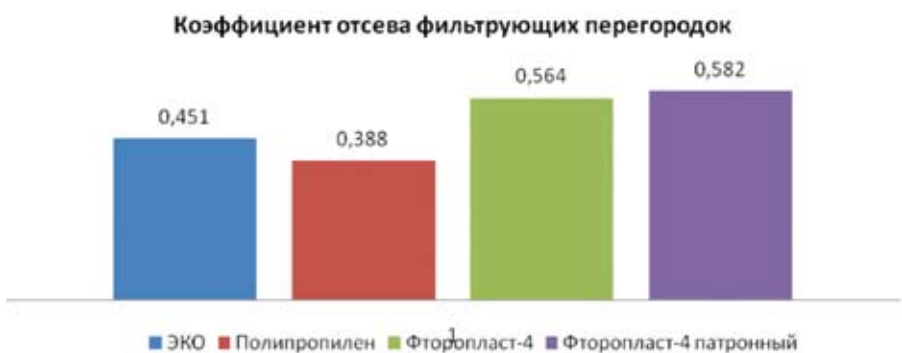


Рис. 11. Диаграмма коэффициента отсева фильтрующих перегородок

Литература:

1. Тронов В.П., Тронов А.В. Очистка вод различных типов для использования в системе ППД. – Казань: «ФЭН». 2001. – 560 с.
2. ООО ИИП «Нефтегазовые технологии». Отчет. Этап 2. Проведение стендовых испытаний ФД-100.00.000 СИ. 2011 г.
3. Роев Г.А., Юфин В.А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов. – М.: Недра, 1987.
4. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. Очистка производственных сточных вод / 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1985. – 335 с.
5. Пат. № 2396103 РФ, МПК В 01 D 27/08 С 1. Патронный фильтр.
6. Пат. № 2392030 РФ, МПК В 01 D 27/08 С 1. Патронный фильтр (варианты).
7. Гарипов А.А. Методика моделирования течения жидкости в каналах фильтрующего элемента с объемным принципом фильтрации: диссертация тех. наук. – Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, 2012.