

На правах рукописи



Швец Виталий Викторович

Разработка и регенерация фильтров эксплуатационных
гидрогеологических скважин

Специальность 25.00.14. –Технология и техника геологоразведочных работ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Москва 2020

Работа выполнена в Южно-Российском государственном политехническом университете (НПИ) имени М.И. Платова

Научный руководитель: Третьяк Александр Александрович,
доктор технических наук,
доцент Южно-Российского
государственного политехнического
университета (НПИ) им. М.И. Платова

Официальные оппоненты: Мохов Александр Вадимович,
доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник
Федерального исследовательского центра
Южного научного центра
Российской Академии наук,
г. Ростов-на-Дону

Атрощенко Федор Григорьевич,
кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий гидрогеолог
Общество с ограниченной ответственностью
«ГЕОСТРОЙПРОЕКТ»,
г. Санкт-Петербург

Ведущая организация: ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу» (ОАО «ВИОГЕМ»), г. Белгород

Защита состоится 24 декабря 2020 г в 10⁰⁰, на заседании диссертационного совета Д 212.121.09 при Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе.

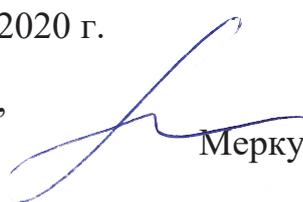
Адрес: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, ауд. 4-73

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направить ученому секретарю диссертационного совета по указанному выше адресу.

Автореферат разослан «___» _____ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
д.т.н., профессор


Меркулов М.В.

ВВЕДЕНИЕ

В жизни человека подземная вода имеет решающее значение. Россия имеет огромные ресурсы пресных подземных вод, насчитывающими около 330 км³/год. Из них используется в народном хозяйстве лишь немногим более 10 %. В Сибири и на Дальнем Востоке – не более 6 % прогнозных ресурсов. Для городского и промышленного водоснабжения используется примерно 16 км³/год подземных вод, а для сельскохозяйственного водоснабжения, обводнения пастбищ и орошения порядка 20 км³/год.

Около 90 % сельского населения в нашей стране используют подземные воды. Буровые скважины являются основным источником системы локального водоснабжения. Запасы подземных вод в нашей стране расположены неравномерно, поэтому в ряде областей имеется дефицит в подземных водах.

Одним из перспективных направлений поиска повышения эффективности сооружения гидрогеологических скважин, является использование современных фильтров, которые не только позволяют добиться увеличения удельного дебита скважин, но и позволяют эксплуатировать скважины в течение длительного срока.

В то же время вопросами разработки новых конструкций фильтров и технологии регенерации гидрогеологических скважин уделяется мало внимания, что объясняется отсутствием специализированных по этому профилю конструкторских бюро и научно-исследовательских институтов, а также ведомственной раздробленностью организаций, выполняющих бурение и эксплуатацию таких скважин.

Вопросами сооружения и регенерации гидрогеологических скважин занимались В.С. Алексеев, С.К. Абрамов, Н.Н. Веригин, В.Т. Гребенников, В.М. Гаврилко, А.И. Деревянных, Е.Н. Дрягалин, Д.Н. Башкатов, Н.Д. Бессонов, А.В. Панков, Г.В. Квашнин, В.М. Беляков, И.Ф. Володько, Э.М. Вольницкая, Н.А. Карамбиров, А.М. Коломиец, Ю.А. Олоновский, М.Г. Оноприенко, Г.М. Панкратова, Н.В. Соловьев, В.Л. Роговой, А.Г. Тесля, В.Г. Тесля, Э. Джонсон и другие.

Важнейшей проблемой современной технологии бурения гидрогеологических скважин является выбор и применение рациональных конструкций фильтров. Для водоснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства и освоения месторождений полезных ископаемых ежегодно в России бурится более 40 тыс. скважин. Большинство гидрогеологических скважин бурится вращательным способом, из них более 70 % скважин вскрывают водоносные пласты в рыхлых отложениях, остальные – в устойчивых породах, поэтому использование фильтров является обязательным условием сооружения качественных скважин.

С каждым годом увеличивается удельный вес гидрогеологических скважин в общем объеме буровых работ. Основной проблемой современной технологии бурения гидрогеологических скважин является выбор эффективных конструкций фильтров, а также обоснование оптимального раствора для регенера-

ции скважин, уменьшивших дебит после нескольких лет эксплуатации. От правильного выбора типа фильтра зависит удельный дебит гидрогеологической скважины. Применение оптимального раствора для регенерации фильтров позволяет значительно продлить срок их службы.

Несмотря на успехи в этом направлении достигнутые МГРИ-РГГРУ, ГПИ «Центргеология», ФГУПИ «Волгагеология», ВСЕГИНГЕО и другими организациями, современная техника и технология сооружения скважин на воду в мелко- и среднезернистых песках не обеспечивает требуемого качества из-за кольматации продуктивных пластов и резкого снижения дебитов. Поэтому разработка рациональной конструкции фильтров и способов их регенерации является одной из актуальных проблем в общем комплексе сооружения гидрогеологических скважин. Решению этой актуальной проблемы посвящены исследования, выполненные автором в рамках данной диссертации.

Целью работы является совершенствование процесса проектирования, изготовления, испытания и внедрения в производство фильтров новой конструкции, а также разработка эффективной технологии регенерации фильтров гидрогеологических скважин после длительной их эксплуатации.

Основные задачи исследования: обзор известных конструкций фильтров гидрогеологических скважин, разработка рациональной конструкции самоочищающихся фильтров, анализ известных технологий регенерации фильтров гидрогеологических скважин, разработка оптимального раствора и технологии регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин.

Идея работы заключается в повышении эксплуатационных показателей, как фильтров вновь сооружаемых скважин, так и регенерации фильтров, отработавших длительный срок.

Объектом исследований являются конструкции фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин и технология их регенерации.

Методы исследования поставленных задач имеют комплексный характер и включают анализ и обобщение известных конструкций фильтров и способов их регенерации, а также разработку рациональных конструкций фильтров и оптимальной технологии их регенерации с использованием современных технологий. С целью решения вопросов, обозначенных в диссертации, нами используются известные решения и собственные разработки кафедры «Нефтегазовая техника и технологии в виде четырех патентов.

Научная новизна работы. В работе выполнено теоретическое обобщение и решение научной проблемы по разработке эффективной технологии конструирования, изготовления и регенерации фильтров гидрогеологических скважин. Научная новизна заключается в следующем: 1. Установлены гидравлические зависимости характеристики фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин от геометрических параметров каркаса фильтров. 2. Установлены зависимости эффективности регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин от концентрации предлагаемого раствора и температуры.

Основные защищаемые положения. 1. На основании выполненных экспериментов разработаны новые конструктивные особенности фильтров, позволяющие оптимизировать гидравлические параметры и исключить отложение кольматанта на их поверхности в процессе эксплуатации. 2. Выполненные теоретические, экспериментальные и полевые исследования позволили разработать оптимальную технологию и эффективный раствор для регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин.

Практическая значимость работы: разработаны и изготовлены принципиально новые конструкции самоочищающихся скважинных фильтров; разработан раствор для регенерации гидрогеологических скважин, позволяющий декольматировать фильтры после длительной их эксплуатации; исследована и разработана оптимальная технология регенерации, позволяющая существенно увеличить степень растворения кольматанта на фильтре и в прифильтровой зоне. Разработки по теме диссертации внедрены в ООО НПП «Ростовская буровая компания» в практику сооружения и регенерации эксплуатационных гидрогеологических скважин; результаты, полученные при выполнении исследований, используются в учебном процессе кафедры «Нефтегазовая техника и технологии» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) при изучении дисциплин: «Основы бурения», «Технология бурения нефтяных и газовых скважин». Выполненные исследования по диссертационной работе позволяют добиться увеличения удельных дебитов скважин до 2-х раз и могут быть использованы в буровых компаниях, занимающихся бурением, эксплуатацией и регенерацией эксплуатационных гидрогеологических скважин.

Апробация работы. Проблемы, изложенные в диссертации доложены и одобрены на: I Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения», 3 марта 2017 г. г. Краснодар; Международной научно-практической конференции «Стратегия развития геологического исследования недр: «Настоящее и будущее»» 4–6 апреля 2018 г. МРГИ-РГГРУ, Москва; III Международной научно-практической конференции «Бурение скважин в осложненных условиях», Санкт-Петербургский горный университет, 8–9 ноября, 2018 г.; Международной научно-практической конференции «Строительство и ремонт скважин», г. Сочи, 24–29 сентября 2018 г.; Международной научно-практической конференции, г. Новочеркасск, ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, 2019 г., XV Международном форуме-конкурсе студентов и молодых исследователей «Актуальные вопросы рационального использования природных ресурсов» 13–17 мая 2019, г. Санкт-Петербург.

Реализация работы в промышленности. Технология регенерация фильтров внедрена при ремонте гидрогеологических скважин на юге Ростовской области, при этом экономический эффект на одну скважину глубиной до 100 метров составляет порядка 352 тыс. рублей в ценах на 1 января 2019 г.

Публикации. Основные научные положения и результаты диссертационной работы автора отражены в 16 печатных работах, в том числе одной работе в издании Web of Science, одной работе в издании Scopus, в трех работах, рекомен-

дованных ВАК, одной монографии, шести изданиях тезисов докладов на Международных конференциях и в 4 патентах на изобретения.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций основана на большом объеме производственных, лабораторных исследований и экспериментов, современной методической базе, использовании теоретически обоснованных и проверенных методов исследования с положительными результатами внедрения, сходимости расчетных данных с результатами лабораторных испытаний.

Личный вклад автора заключается в постановке научных задач и разработке методов их решения, а также обосновании методик экспериментальных исследований, непосредственном участии автора в проведении всех работ, результаты которых отражены в диссертации; выполнении комплексных научно-исследовательских работ по конструированию самоочищающихся скважинных фильтров. Теоретические и экспериментальные исследования позволили предложить, на уровне изобретений, оригинальные конструкции самоочищающихся скважинных фильтров; показать роль магнитного поля фильтра как основного фактора, препятствующего отложению солей на поверхности фильтров; исследовать и внедрить в производство, на уровне изобретения, раствор и технологию, позволяющую выполнять регенерацию фильтров после длительной их эксплуатации.

Структура и объём работы. Работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов и рекомендаций, изложенных на 142 страницах печатного текста в редакторе MSWord, содержит 62 рисунков, 13 таблиц, 5 фотографий, список использованных источников из 90 наименований и двух приложений.

Диссертация является результатом теоретических, экспериментальных, производственных и научно-исследовательских работ, выполненных на кафедре «Нефтегазовая техника и технологии» ЮРГПУ(НПИ) и в ООО НПП «Ростовская буровая компания», а также разработок, выполненных лично автором.

При выполнении диссертационных исследований сотрудники кафедры «Нефтегазовая техника и технологии» ЮРГПУ(НПИ) давали ценные рекомендации, за что автор выражает им благодарность.

Содержание работы

В первой главе приведен краткий обзор известных конструкций фильтров гидрологических скважин. Во второй главе диссертации представлены результаты разработки рациональной конструкции и технологии применения фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин. Третья глава посвящена исследованиям по разработке рациональной технологии регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин. В четвертой главе диссертации приведен расчет экономической эффективности от предлагаемой технологии регенерации скважин. Выводы и рекомендации по диссертационной работе приведены в заключении.

Первое защищаемое положение. На основании выполненных экспериментальных исследований установлены новые конструктивные особенности фильтров, позволяющие оптимизировать параметры и исключить отложение

кольматанта на их поверхности в процессе эксплуатации.

Выбор оптимальной конструкции фильтра является главным моментом при написании проекта на бурение гидрогеологических скважин, как разведочных, так и эксплуатационных. От правильно подобранного фильтра зависят, в конечном счете, удельный дебит и экономическая эффективность скважины. При проектировании скважин в соответствии с действующими нормативными документами предусматривается устройство водоприемной части фильтров с длиной, равной или меньшей мощности водоносного пласта. Если мощность пласта менее 10 м длина фильтров обычно принимается равной его мощности, а при большей мощности допускается устройство гидродинамически несовершенных скважин.

В то же время имеются предложения по подбору длины фильтра скважин, которые исходят из их двойного несовершенства или из закономерностей изменения гидравлических сопротивлений, полученных на основе решений внутренней задачи притока к скважине (с учетом сил инерции), интегрально включающих сопротивление на входе воды в фильтр и потери напора внутри него при переменном зональном расходе.

В первом случае оптимальная длина фильтра определяется графоаналитически, например, построением графиков зависимости показателей сопротивлений, обусловленных несовершенством по степени и характеру вскрытия пласта, от l/m (l – длина фильтра, m – мощность пласта) и выбирается при сопоставимых значениях этих сопротивлений.

Во втором случае оптимальная длина фильтра задается с использованием критерия $l \leq 0,53D/\mu\eta$ (D – диаметр фильтра, μ – коэффициент расхода, η – скважность). С гидравлической точки зрения увеличивать длину фильтра выше упомянутых значений нецелесообразно, так как при этом не удастся достичьращения удельного дебита скважины. Очевидно, что стремление к установке фильтра длиной, равной мощности пласта (при ее большой величине), приводит к существенному удорожанию скважин.

Однако такой подход к проектированию скважин (преимущества его очевидны с точки зрения материальных и трудовых затрат) возможен только в однородных водоносных пластах. При наличии в разрезе высокопроницаемых прослоев (в едином водоносном пласте) главным становится возможность выявления этих зон с последующей установкой в них фильтров. Такой подход реализуется в Германии, где обязательным является строительство пилотных скважин или опробование пласта в процессе бурения с целью выявления наиболее проницаемых зон и установки фильтров в части пласта с наиболее благоприятным зерновым составом водоносных пород.

В России предпочитают длинные фильтры, заведомо полагая, что вероятность каптажа высокопроницаемых зон возрастает. При этом допускается установка нескольких секций фильтров, часто в разнонапорных пластах. Такие решения абсурдны и весьма затрудняют эксплуатацию и ремонт скважин.

В настоящее время отсутствует нормативная база, позволяющая выбрать тип, конструкцию и длину фильтра. Что касается скважности фильтра, то необхо-

димо отметить, в настоящее время опытным и расчетным путем установлена ее величина равная 21–25 %, то есть, увеличивая скважность добиться повышения удельного дебита гидрогеологической скважины невозможно. В мировой практике для обоснования длины и диаметра фильтра водозаборных скважин используется критерий допустимой скорости входа воды в фильтр $V_{\text{вх}}$, который влияет на степень кольматации фильтра и прифильтровой зоны и рекомендуется в пределах – 15–30 мм/с. Нами предложена формула для расчета скорости входа воды в фильтр:

$$V_{\text{вх}} = \frac{Q \cdot 10^9 \cdot \sin \alpha}{\pi R^2 \cdot 60 \cdot \delta \cdot n \cdot L}, \quad (1)$$

где Q – дебит скважины (10 м³/час или 0,17 м³/мин); R – радиус отверстий; α – угол сверления отверстий в каркасе фильтра, град; δ – толщина стенки каркаса фильтра, мм; n – количество отверстий на 1 м фильтра; 10^9 – коэффициент перевода м³ в мм³; 60 – коэффициент перевода мин. в сек.; $V_{\text{вх}}$ по расчету равна 25,7 мм/сек.; L – длина фильтра, равная 10 м.

При заданных исходных значениях параметров величина входной скорости воды в фильтр составляет 22,6 мм/с. Метод проектирования скважины включает в себя последовательно: гранулометрический анализ образцов водовмещающих пород целевого горизонта, определение интервала установки фильтра, подбор типа фильтрующего элемента, определение размера проходных отверстий, определение диаметра фильтра.

Уменьшить степень кольматации фильтров возможно за счет применения физического воздействия на него. Наиболее эффективным и доступным является магнитный способ воздействия на фильтр.

Сущность метода магнитной обработки состоит в том, что при пересечении водой магнитных силовых линий катионы солей жесткости выделяется не на поверхности фильтра, а в массе раствора.

Устранить отложения кольматанта, повысить удельный дебит скважин и интенсифицировать процесс отбора воды через фильтр гидрогеологических скважин возможно за счет новых конструкций фильтра.

Нами разработаны конструкции самоочищающихся фильтров гидрогеологических скважин (патент № 2681773, № 2685514). Задачей разработки таких фильтров является создание скважинного фильтра с самоочисткой, простого в эксплуатации, не связанного с источником электропитания и имеющего максимальный удельный дебит. Технический результат – повышение качества фильтрации механических примесей, а также предотвращение закупорки фильтрующих элементов при исключении кольматации в процессе эксплуатации.

Достигается поставленная задача за счет того, что самоочищающийся скважинный фильтр, включающий выполненные из немагнитного материала каркас с отверстиями и кольцевыми постоянными магнитами, установленными на расстоянии друг от друга, фильтровую рубашку в виде автономных секций с обмоткой, прокладочными элементами в виде опорных стержней и соединительных элементов, обмотка фильтровой рубашки каркаса образована внутренним и внешним слоями в виде немагнитного капронового шнура трапецеидального или

волнового профиля, внутренний слой обмотки образован витками, расположенными на расстоянии друг от друга, внешний слой обмотки образован витками плотно расположенными друг к другу или в виде синтетической тканевой сетки, соединительные элементы выполнены в виде верхнего и нижнего переводника, причем верхний переводник выполнен как лево-правый, в нижней части фильтра расположен отстойник, соединенный с нижним переводником и промывочным клапаном, расстояние между кольцевыми постоянными магнитами определяют в зависимости от коэрцитивной силы и напряженности магнитного поля, а витки немагнитного капронового шнура внутреннего слоя обмотки уложенного на каркас меньшим основанием трапецевидного профиля, фильтр дополнительно снабжен несущим немагнитным стержнем, расположенным внутри и соосно с перфорированным каркасом, на несущем немагнитном стержне размещены кольцевые постоянные магниты, между которыми расположены втулки из немагнитного материала.

Вышеописанные фильтры имеют недостатки. Расположенные внутри постоянные магниты способствуют омагничиванию, но качество омагничивания не очень высокое. Нами предложен скважинный самоочищающийся фильтр с вращающимися постоянными магнитами. На рис. 1 представлен общий вид самоочищающегося фильтра.

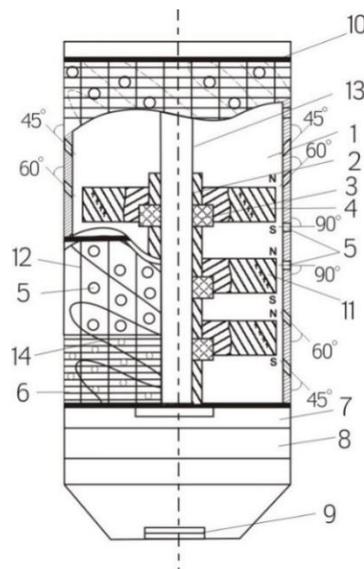


Рис. 1. Скважинный самоочищающийся фильтр:

- 1 – самоочищающийся скважинный фильтр; 2 – распорная втулка; 3 – опора скольжения типа «Маслянит»; 4 – кольцевые постоянные магниты; 5 – отверстия каркаса; 6 – обмотка фильтра; 7 – нижний переводник; 8 – отстойник; 9 – промывочный клапан; 10 – верхний переводник; 11 – наклонные ребра вращающихся магнитов; 12 – опорные стержни; 13 – несущий немагнитный стержень; 14 – внутренний слой капронового шнура

Кольцевые постоянные магниты выполнены вращающимися с наклонными ребрами, отверстия каркаса выполнены под углом, ось симметрии отверстий образует угол с осью вертикально установленного фильтра изменяющийся от 45° до 90° в нижней части и зеркально от 90° до 45° в верхней части фильтра. На предлагаемую конструкцию фильтра получен патент (RU № 2681773).

В результате выполнения экспериментальных исследований получены следующие результаты.

1. Разработан самоочищающийся скважинный фильтр, на котором смонтированы постоянные вращающиеся магниты.

2. Экспериментально, в лабораторных условиях, доказано, что предлагаемый фильтр практически не подвержен кольматации.

С целью проверки этой версии нами было выполнено компьютерное моделирование гидродинамической задачи течения жидкости в скважинном самоочищающемся фильтре с использованием прикладного программного продукта Solid Works. Результаты этой работы представлены ниже. Из зависимости:

$$Q = V \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (2)$$

где Q – расход, м³/с; v – средняя скорость течения потока в отверстии круглого сечения, м/с; D – диаметр, м.

Экспериментально было установлено, что:

1) при увеличении диаметра на 10 % при скорости потока 0,01 м/с, расход жидкости увеличивается на 18 %; предлагаемое решение затруднено ввиду технологических ограничений из-за снижения прочности конструкции и уменьшения общей надежности фильтра;

2) увеличение производительности фильтрующей системы за счёт увеличения скорости потока жидкости через отверстия фильтра справедливо только для идеальной системы, в которой поток движется перпендикулярно плоскости отверстия и вдоль направления всасывания.

В реальных условиях гидродинамическая эффективность фильтра во многом определяется углом наклона оси всасывания жидкости и углом наклона оси отверстия перфорации фильтра относительно направления потока всасывания жидкости. При этом, отклонение угла наклона оси отверстия фильтра от угла наклона оси всасывания жидкости будет изменять эффективный диаметр отверстия $D_{эфф}$ от реального $D_{реал}$. Под эффективным диаметром здесь понимается условный, не имеющий реальных границ диаметр цилиндрического объёма в области реального отверстия, в котором скорость движения частиц жидкости максимальна. При условии, что мощность насоса (или объём отфильтрованной жидкости) постоянна $Q = const$, отверстие будет идеальным с точки зрения гидродинамики в том случае, если эффективный диаметр отверстий будет стремиться к реальному ($D_{эфф} \rightarrow D_{реал}$), что может быть достигнуто при максимальном уменьшении угла наклона отверстия относительно оси всасывания насоса. Тогда, как скорость движения потока жидкости через отверстие будет снижаться, этот показатель и будет критерием гидродинамической эффективности конструкции фильтра. Но, поскольку поток всасывания жидкости имеет вертикальное направление, наименьшие потери, связанные с преодолением сил сопротивления всасыванию потока через отверстия, могут быть достигнуты за счёт изменения угла наклона оси отверстия.

Проверка этого предположения может быть осуществлена на основе гидродинамического моделирования. Поскольку фильтр имеет значительное число

отверстий, критерием эффективности может служить средняя скорость потока во всех отверстиях фильтра, или, для уменьшения расчетного времени, средняя скорость во всех отверстиях одного ряда на всю глубину фильтра.

В работе в качестве средства моделирования использовался встроенный модуль для моделирования течения жидкостей и газов Flow Simulation, входящий в состав системы прикладного моделирования Solid Works. Flow Simulation позволяет выполнять расчёт потоков жидкости и газа внутри и снаружи твердотельных деталей, и конструкций, реализованных в форме Solid Works-модели. Движение потоков жидкостей и газов описывается уравнением Навье-Стокса, которое интерпретирует законы сохранения массы, импульса и энергии для указанных веществ. Дополнительно в уравнения включены элементы, описывающие состояние жидкости; элементы, описывающие геометрию потока, его граничные и начальные условия:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial \rho}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i, \quad i = 1,2, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}(u_j(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial \rho}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \varepsilon + S_i u_i + Q_H, \quad (5)$$

где: u – скорость жидкости; ρ – плотность жидкости; S_i – внешние массовые силы, действующие на единицу массы текущей среды:

$$S_i = S_i^{porous} + S_i^{gravity} + S_i^{rotation}, \quad (6)$$

S_i^{porous} – сопротивление пористого тела; $S_i^{gravity}$ – сила гравитации; $S_i^{rotation}$ – центробежная сила; h – энтальпия; Q_H – источник тепла или тепло в единице объёма; τ_{ik} – тензор вязких сдвиговых напряжений; q_i – тепловой поток за счёт диффузии. Нижние индексы i, j отвечают проекциям на координатные ветви.

Использование Flow Simulation позволяет исследовать широкий диапазон гидродинамических явлений и процессов, возникающих внутри и снаружи скважинных фильтров, работающих в аномальных условиях.

Общий план решения гидродинамической задачи исследования потоков жидкости через скважинный фильтр с помощью Flow Simulation представляет собой итерационный процесс, включающий следующие этапы:

1. Создание твердотельной модели фильтра в Solid Works.
2. Создание проекта для проведения гидродинамического моделирования.
3. Выбор граничных условий моделирования.
4. Выбор цели проекта.
5. Запуск процесса моделирования и проведения расчёта целей.
6. Просмотр и анализ результатов, определение точности полученного решения, сравнение с результатами предшествующего моделирования; внесение изменений в конструкцию фильтра, граничные условия и цели моделирования.

С целью проверки гипотезы, было проведено моделирование работы скважинного перфорированного фильтра с насосом и при следующих допущениях: 1) внешняя среда – скважина – представлена цилиндрическим сосудом произ-

вольного диаметра, заполненным жидкостью – водой, в которую полностью погружено моделируемое устройство; 2) в конструкции фильтра учтена базовая конфигурация, существенно влияющая на гидродинамическую обстановку; сетка, покрывающая фильтр, отсутствует; магниты отсутствуют; 3) засорение отверстий отсутствует, т.е. форма отверстия идеальная, диаметр отверстий неизменный; 4) явления теплопроводности, теплопередачи излучением между поверхностями не учитываются; 5) производительность насоса неизменна и составляет $10 \text{ м}^3/\text{час}$ (ЭЦВ6-10-80).

На этапе задания цели указаны гидродинамические параметры, определение которых является целью моделирования. Эти параметры являются критериями сходимости решения гидродинамической задачи, и определяют завершение расчёта проекта. В качестве целей назначены минимальная, средняя и максимальная скорость и давление по всей длине фильтра, характер траектории движения частиц жидкости.

В результате моделирования было выполнено:

1) исследование траектории течения жидкости через отверстия цилиндрической стенки вдоль всей его длины; 2) исследование изменения скорости и давления жидкости внутри фильтра вдоль всей его длины.

Распределение скоростей и траекторий движения частиц жидкости снаружи и внутри фильтра представлено на рис. 2.

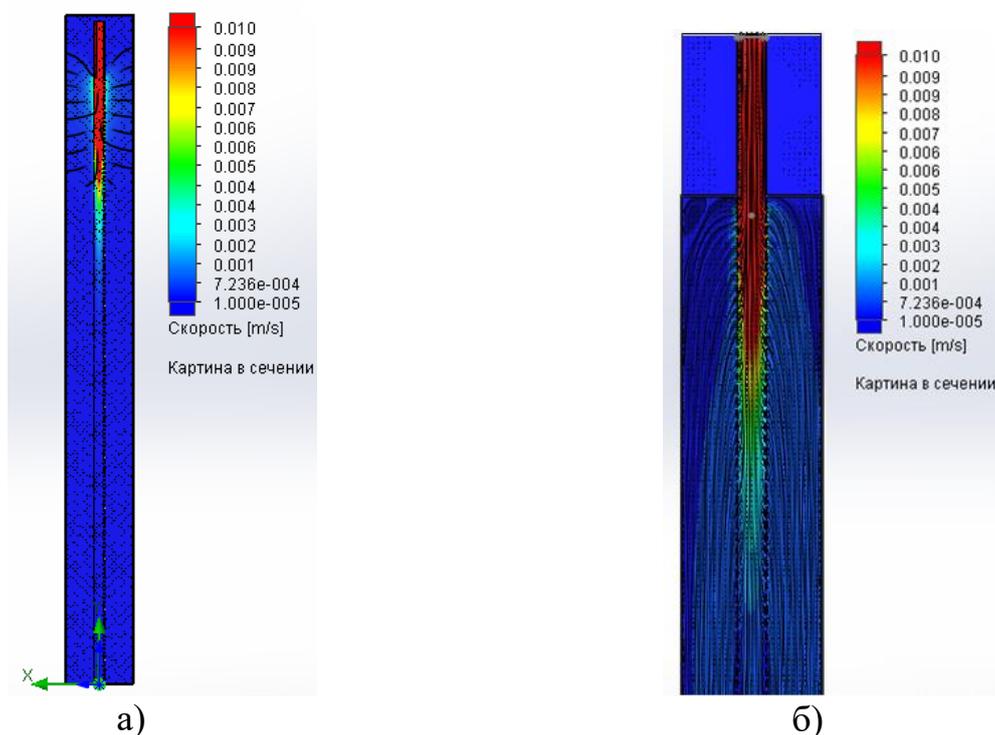


Рис. 2. Движение потока частиц в фильтре длиной 10 метров:
а – полная модель, б – верхняя часть активной части фильтра.

Активная часть 10-ти метрового фильтра, всасывающая жидкость, не превышает 50 % его длины и составляет около 4 м (рис. 2, а). Движение жидкости внутри и вдоль активной части фильтра представлено на рис. 2, б. Характер по-

тока – ламинарный. Жидкость в нижней и средней части заполнена за счёт первоначального заполнения при опускании фильтра в скважину. Скорость движения потока частиц жидкости во внутренней зоне фильтра в его верхней части достигает 15 мм/с. Ниже 4 м, по длине фильтра, всасывания жидкости практически не происходит из-за ограниченной мощности насоса и чрезмерно длинной конструкции фильтра. В целом скорости течения низкие, поэтому поток движения жидкости ламинарный.

Гистограмма распределения средних скоростей потока жидкости в центрах отверстий моделей фильтра показана на рис. 3.

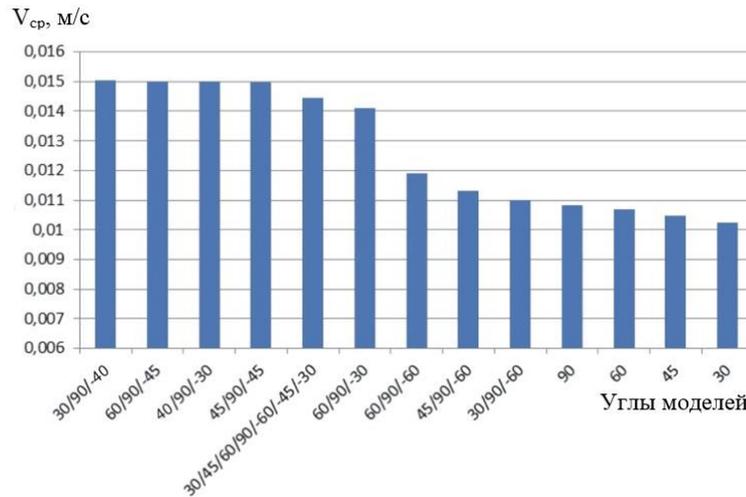


Рис. 3. Гистограмма распределения средних скоростей потока жидкости в центрах отверстий моделей фильтра

Последующее моделирование, с целью уменьшения расчетного времени, проводилось только для верхней активной зоны, составляющей 4 м. При этом общая площадь фильтра составляет 2,11 м². Общая площадь отверстий, $S_{отв}$, контактирующих с внешней средой равна 0,58 м². Соотношение площади отверстий к площади фильтра:

$$S_{отв}/S_{\phi} \approx 0,58/2,11 \approx 0,26,$$

то есть, скважность испытываемого фильтра равна 26 %.

Анализ результатов второго этапа моделирования показал, что для фильтра длиной 4 м и насоса производительностью 10 м³/ч:

1. отверстия под углом 90° неэффективны;
2. угол наклона отверстий в нижней части модели (ниже 2 м) не влияет на эффективность всасывания;
3. предположение о максимальной эффективности конструкции {30°, 45°, 60°, 90°, 120°, 135°, 150°} с точки зрения гидродинамики не оправдалось;
4. наиболее эффективными оказались модели с одинаковыми углами наклона отверстий β , максимально близкими по величине к углу α .

После проведенного моделирования была изменена конструкция разработанного ранее фильтра. Новая конструкция (рис. 4.) имеет длину 0,5 мощности пласта и, следовательно, 0,5 первоначальной длины фильтра. Оптимальный угол

наклона перфорационных отверстий изменяется равномерно от 30° в верхней части фильтра до 40° в его нижней части. На разработанную конструкцию фильтра получен патент № 2706841.

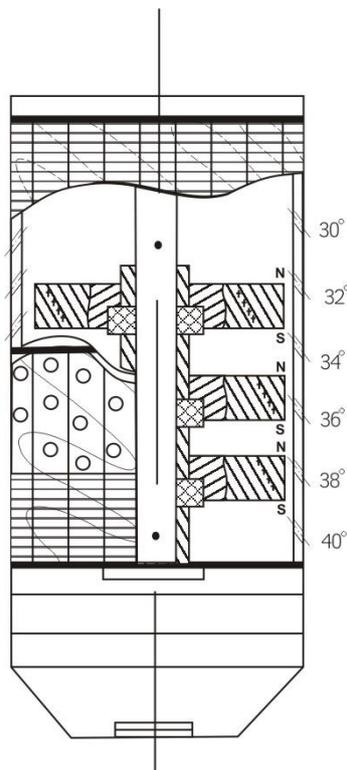


Рис. 4. Оптимальная конструкция скважинного самоочищающегося фильтра

Выполненные экспериментальные исследования позволили установить, что:

1. Полученные в результате расчёта данные не противоречат теоретическим представлениям о поведении жидкостей при их движении в ограниченных пространствах и при наличии перфорационных отверстий, в частности.

2. Проведенный анализ различных конструкций фильтра методом компьютерного гидродинамического моделирования позволил выявить наиболее эффективную, с точки зрения угла сверления перфорационных отверстий, модель скважинного фильтра, имеющую длину 4 м и угол наклона в диапазоне 30° – 40° .

3. С точки зрения гидродинамики, диаметр отверстий $D_{\text{расч}}$ рекомендуется увеличить, если это позволяют технологические условия.

4. Отверстия по всей длине фильтра рекомендуется сверлить в шахматном порядке, что позволит более равномерно всасывать и перемещать поток жидкости, упорядочить внутреннее течение и перемещать жидкость ламинарными слоями.

5. Моделирование конструкции с оптимальным углом расположения перфорационных отверстий позволило оценить гидродинамические характеристики устройств с поверхностным типом фильтрации на стадии проектирования, что позволяет снизить долю затрат на проектирование окончательной конструкции фильтра в его общей стоимости.

6. Анализ результатов второго этапа моделирования показал, что для

фильтра длиной 4 м и насоса производительностью 10 м³/ч:

- отверстия под углом 90° неэффективны;
- угол наклона отверстий в нижней части модели (ниже 2 м) не влияет на эффективность всасывания;
- предположение о максимальной эффективности конструкции {30°, 45°, 60°, 90°, 120°, 135°, 150°} с точки зрения гидродинамики не оправдалось;
- наиболее эффективными оказались модели с одинаковыми углами наклона отверстий β , максимально близкими по величине к углу α , то есть в интервале 30 градусов – 40 градусов.

7. В результате моделирования процесса течения жидкости в скважинном самоочищающемся фильтре нам удалось с помощью пакета моделирования Solid Works решить задачу оптимизации конструкции перфорационных отверстий каркаса фильтра, что позволило уменьшить длину фильтровой колонны до 50 % при неизменном удельном дебите и получить существенный экономический эффект.

8. Установить, что оптимальной является скважность фильтра равная 21-26 %;

9. Добиться уменьшения стоимости гидрогеологической скважины в целом.

10. Установить, что при средней мощности водоносного горизонта, равной 10 метров, фильтр длиной 4 метра следует устанавливать в нижней части водоносного пласта;

11. Выполненное моделирование течения откачиваемой жидкости в скважинном самоочищающемся фильтре с использованием программного пакета Solid Works позволило установить оптимальные углы сверления перфорационных отверстий в каркасе фильтра, изменяющиеся от 40° в нижней части фильтра и до 30° в верхней части фильтра в направлении течения жидкости и оптимальную длину фильтра, равную 0,4 мощности исследуемого водоносного пласта.

Второе защищаемое положение. Выполненные теоретические, экспериментальные и полевые исследования позволили разработать эффективный раствор для регенерации фильтров и установить оптимальный его состав и концентрацию.

Уменьшение дебита скважин в процессе ее длительной эксплуатации может быть из-за; кольматации фильтра и прифильтровой зоны; образования песчаной пробки внутри фильтра. Следовательно, способы регенерации скважин можно разделить на: способы декольматации фильтра и прифильтровой зоны; способы ремонта пескующих скважин.

Известные способы регенерации гидрогеологических скважин не решают в полной мере проблемы очистки фильтров от кольматанта и требуют разработки инновационных технологий. Технология реагентной обработки скважин включает следующие основные технологические операции: выбор реагента и подбор его количества; приготовление раствора для регенерации и закачка его в скважину; растворение кольматирующих соединений в фильтре и прифильтровой

зоне скважины (собственно регенерации); контроль за ходом процесса регенерации; определение времени окончания обработки; прокачка скважины после обработки

При выборе способа растворения кольматирующих соединений в фильтре и прифильтровой зоне скважины, необходимо принять во внимание, что способ «реагентной ванны» производится без отдавливания реагента за контур фильтра. Способ «реагентной ванны» определяется в основном малыми скоростями диффузии, поэтому приращение производительности скважины, каптирующей водонасыщенные песчаные коллектора, обеспечивается за счет растворения кольматанта по всей длине фильтра, в том числе наиболее плотного - в верхней его части. Уменьшение сопротивления зафильтрового пространства в результате обработки этим способом незначительны по сравнению со способом циклической реагентной обработки.

При циклической реагентной обработке скважин производится задавливание реагента в зафильтровое пространство. Уменьшение сопротивления достигается увеличением дальности проникновения реагента и образованием очищенных каналов в пористой зоне кольматирования. Циклическое задавливание реагента обеспечивает непрерывное возвратно-поступательное движение реагента в пределах закольматированной прифильтровой зоны скважины, что существенно интенсифицирует процесс растворения кольматирующих образований. Недостаточно продолжительная обработка скважины не обеспечивает полного удаления кольматирующих образований с фильтра и из прифильтровой зоны, что не позволяет в полной мере достигнуть необходимой производительности скважины и существенным образом снижает срок ее межремонтного периода.

Для наиболее эффективной обработки скважины предлагается объединить два способа обработки: в течение 18 часов произвести обработку методом «реагентной ванны» – для растворения наиболее плотного кольматанта по всей длине фильтра; на втором этапе произвести циклическую обработку. Ориентировочное время задавливания реагента составляет 50–60 минут, сброс продуктов реакции – 3–5 мин.

Количество реагента для обработки скважины P_R оценивается по следующей зависимости:

$$P_R = 1,2K_c R_k, \quad (7)$$

где K_c – коэффициент, определяющий соотношение количества, выбранного реагента и растворяющегося в нем количества конкретного кольматирующего образования; P_k – количество отложившегося кольматанта, определяется по формуле:

$$P_k = \left[\frac{\pi(2R_k + D_\phi)^2}{4} - \frac{\pi R_\phi^2}{4} \right] \cdot L_\phi \rho_k, \quad (8)$$

где D_ϕ – внутренний диаметр фильтра; L_ϕ – длина фильтра; $2R_k$ – зона кольматации зафильтрового пространства; ρ_k – плотность кольматанта, R_ϕ – радиус фильтра.

В качестве исходных данных при определении количества отложившегося кольматанта принимается: внутренний диаметр фильтра 219 мм; длина фильтра 10 м; зона кольматации, по всей длине фильтра скважины 0,5 м; пористость 0,3;

плотность кольматанта 3000 кг/м³.

Коэффициент K_c ввиду сложного состава кольматанта целесообразно определять лабораторным путем по фактическим затратам реагента на растворение характерных кольматирующих образований, отобранное из прифильтровых зон скважин на участке опытных работ.

Объем раствора реагента зависит от диаметра, длины фильтра, диаметра и длины отстойника, объема зоны кольматации и определяется:

$$v_p = \frac{\pi(2R_k + D_\phi)^2 L_\phi}{4} + \frac{\pi D_{\text{отст}}^2 \cdot L_{\text{отст}}}{4}, \quad (9)$$

где D_ϕ – внутренний диаметр фильтра; L_ϕ – длина фильтра; $L_{\text{отст}}$ – длина отстойника.

Огромный вклад в разработку составов реагентов для удаления кольматанта гидрогеологических скважин внесли В.С. Алексеев, В.Т. Гребенников, Н.А. Плотников и другие. Однако проведенный патентный поиск и литературный обзор показали, что последние десятилетия данному направлению не уделялось значительного внимания, поэтому представляло интерес продолжить работы по созданию оптимального состава раствора для регенерации фильтра гидрогеологических скважин. Для определения оптимальных условий обработок скважин исследуемым реагентом в лабораторных условиях были проведены опыты, где в качестве образцов использовали кальциево-магниевые кольматированные образования, отобранные из водозаборных скважин города Каменск-Шахтинский, Ростовской области.

С целью подбора оптимальной жидкости для регенерации кольматанта был изучен химический состав образцов кольматанта, отобранных с поверхности фильтра. Исследования выполнены в ЦКП «Нанотехнологии» НИИ Нанотехнологий и новых материалов ФГБОУ ВО «Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова». Был выполнен химический и спектральный анализ, структурные исследования (макро-микроструктура), электронно-оптический и рентгеноструктурный анализ, фактографический анализ, дефектообразование.

Диффрактограммы образцов кольматанта показывают в рентгеновском отражении наличие кольматантов карбонатов кальция (CaCO_3), карбонатов магния (MgCO_3) и кремния (SiO_2).

Изучение химического состава кольматанта и экспериментальные исследования в лабораторных условиях позволили в лабораторных условиях подобрать оптимальный раствор для регенерации скважин Каменского водозабора Ростовской области. Технической задачей является получение синергетического эффекта и создание реагента с высокой растворимостью кольматанта и с наименьшим воздействием на фильтр. Достигается поставленная задача за счет того, что в технологическую жидкость для регенерации фильтров гидрогеологических скважин, содержащую сульфаминовую кислоту, трихлоруксусную кислоту, ингибитор коррозии КПИ-19, поверхностноактивное вещество ПАВ ОП-10 и воду при следующем соотношении, компонентов, масс. %: трихлоруксусная кислота – 10–15; сульфаминовая кислота – 8–10; ингибитор коррозии КПИ-19 –

0,3–0,5; поверхностно-активное вещество ПАВ ОП-10 – 0,5–1,0; вода – остальное; вводят дополнительно: триполифосфат натрия – 8–12; адипиновую кислоту – 8–12. На данный раствор для регенерации фильтров гидрогеологических скважин получен патент RU №2688621.

Предложенные реагенты, наряду с защитой от коррозии, более эффективно разрушают кристаллы солей CaCO_3 , MgCO_3 , CaSO_4 и предотвращает образование кристаллических структур этих солей.

Полученные экспериментальные результаты позволили разработать оптимальный раствор для регенерации гидрогеологических скважин на территории Ростовской области.

Выпадение осадков на фильтрах связано с нарушением химического равновесия в пласте и происходит при отборе подземных вод. Нарушение химического равновесия определяется десорбцией свободной углекислоты вследствие изменения ее парциального давления. Кольматант многокомпонентный, в его составе присутствует кальцит $\text{Ca}(\text{CO}_3)$, сидерит $\text{Fe}(\text{CO}_3)$, магнезит $\text{Mg}(\text{CO}_3)$, пирит FeS_2 , пиролюзит MnO_2 и другие труднорастворимые соединения, которые забивают фильтрующую сетку, и скважины выходят из строя.

В лабораторных условиях на стенде (рис. 5) исследовалось влияние температуры раствора на степень регенерации фильтров. Для выполнения экспериментальных работ использовался оптимальный раствор для регенерации кольматанта с поверхности сетчатого фильтр. Состав раствора следующий: трихлоруксусной – 15 %, сульфаминовой – 10 %, адипиновой – 12 %, трихлорфосфата натрия – 12 %, ингибитор коррозии КПИ-19 – 0,5 %, поверхностно-активное вещество – ОП-10 – 1 %, остальное вода.

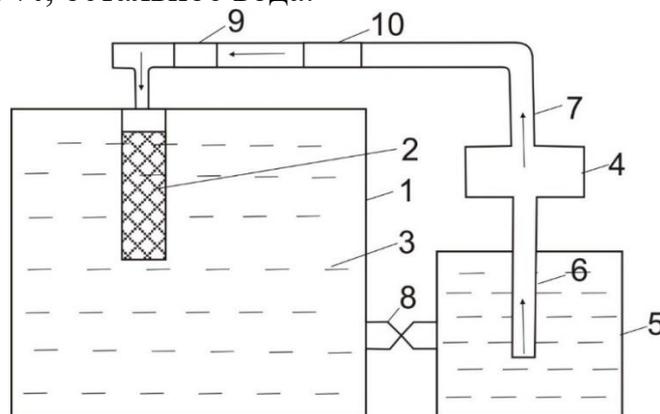


Рис. 5. Схема стенда для исследования регенерации фильтров:

1 –емкость для раствора, 2 – фрагменты сетчатого фильтра, 3 - раствор для декольматации, 4 – насос для прокачки раствора, 5 – промежуточная емкость для раствора, 6 – всасывающий шланг насоса, 7 – нагнетательный шланг насоса, 8 – вентиль, 9 – градусник, 10 – электрический нагреватель.

Исследованиям подвергались куски фильтров, извлеченные из скважин, проработавших длительный срок на территории Дубовского района Ростовской области, длиной до 0,5 м.

При выполнении экспериментов температура поддерживалась на уровне 10° до 90° время проведения каждого эксперимента было оптимальным и составляло 45 минут. Температура раствора регулировалась с помощью электрического нагревателя и замерялась с помощью градусника.

Результаты эксперимента представлены на рис. 6 говорят о том, что степень регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин увеличивается с увеличением температуры раствора, причем наибольшая эффективность регенерации происходит при увеличении температуры раствора от 70° до 90°.

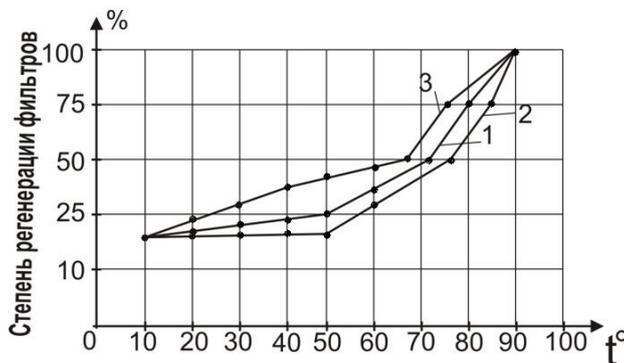


Рис. 6. Влияние температуры раствора на степень регенерации фильтра:
1 – регенерация скважины № 18Э, 2 – регенерация скважины № 22Э, 3 – регенерация скважины № 26Э

Для регенерации гидрологических скважин на Каменском водозаборе Ростовской области нами был предложен реагентный метод восстановления дебита, заключающийся в применении двойного сваб-пакера и промывающего устройства для регенерации фильтра. Раствор, состоящий из трихлоруксусной кислоты 8–10 %, сульфаминовой кислоты – 6–8 %, триполифосфата натрия – 8–10 %, адипиновой кислоты – 8–10 %; ингибитора коррозии – КПИ-19 – 0,5 %, поверхностно-активного вещества – ОП-10 0,5–1,0 % и воды, прокачивают через двойной сваб-пакер.

С целью подтверждения лабораторных испытаний предлагаемый раствор был испытан на пяти скважинах, расположенных в совхозе Октябрьский Зимовниковского района Ростовской области. Глубина скважин составляла 100 м, водоносный горизонт представлен на глубине 81–91 м мелко-среднезернистым песком, фильтровая колонна представлена трубами диаметром 168 мм (6 дюймов). Результаты испытания раствора представлены в табл. 1.

За счет предложенного состава химических реагентов удалось добиться синергетического эффекта, то есть каждый последующий реагент усиливает растворимость отложений солей на фильтрующей поверхности фильтра. Технология регенерации фильтров гидрогеологических скважин заключается в следующем: смешивают сухокислотные компоненты: триполифосфат натрия, сульфаминовую, трихлоруксусную и адипиновую кислоты, полученную смесь растворяют в воде и перемешивают в растворомешалке, добавляя ингибитор коррозии и поверхностно-активное вещество ОП-10.

Таблица 1. Результаты регенерации скважин

№	№ скважины/ отделение совхоза	Время эксплуатации скважины, лет	Дебит скважины до регенерации, л/с	Дебит скважины после регенерации, л/с	Длина фильтра, м
1	1/2	5,5	1,3	2,6	10,0
2	2/2	5,0	1,4	2,7	10,0
3	2/1	6,0	1,4	2,5	10,0
4	2/3	6,5	1,4	2,7	9,5
5	3/3	6,0	1,5	2,6	10,0
6	1/3	5,5	1,3	2,5	9,5
7	1/4	5,0	1,4	2,7	10,0
8	2/4	5,0	1,3	2,7	10,0
9	3/4	5,0	1,3	2,6	9,5

После приготовления раствора с помощью бурового насоса прокачивают полученный раствор через гидроёрш, спущенный внутрь фильтра, при этом гидроёрш перемещается на бурильных трубах, с помощью лебедки бурового станка, вверх - вниз по всей длине фильтра. Тонкие струи раствора размывают кольматант изнутри, и он выносится потоком промывочного раствора на поверхность. В дальнейшем выполняется пробная откачка воды из скважины с помощью эрлифта или погруженного электронасоса в течении суток.

С целью подтверждения эффективности предлагаемого раствора в лабораторных условиях было выполнено растворение образцов закольматированного фильтра в течение оптимального времени – 45 минут. Результаты приведены в табл. 2. На состав предлагаемого реагента получен патент RU № 268621. Результаты экспериментов подтверждают высокую эффективность разработанного раствора для регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин.

Таблица 2. Растворение образцов кольматанта

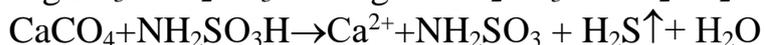
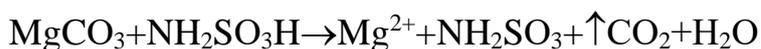
№	Время растворения – 45 мин.			Примечание
	Состав раствора	Номер образца	Растворение кольматанта, г.	
1	1. Трихлоруксусная кислота – 17	1		
	2. Сульфаминовая кислота – 11	2	9,7 (образец № 1)	
	3. Ингибитор коррозии - КПИ-19 – 0,5	3	9,9 (образец № 12)	
	4. ПАВ ОП-10 – 1,0	4	10,1 (образец № 13)	
	5. Вода – остальное			
2	1. Трихлоруксусная кислота – 17	1		
	2. Сульфаминовая кислота – 11	2	13,7 (образец № 1)	
	3. Ингибитор коррозии – КПИ-19 – 0,5	3	13,8 (образец № 2)	
	4. ПАВ ОП-10 – 1,0	4	13,9 (образец № 3)	
	5. Триполифосфат натрия – 12		14,0 (образец № 4)	
	6. Адипиновая кислота – 12			

В механизме синергетического эффекта подтверждена лабораторными опытами составляющая доля действия каждого реагента.

Реакция с отложением солей на поверхности фильтра происходит следующим образом:

Сульфаминовая кислота $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$



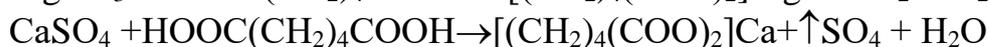
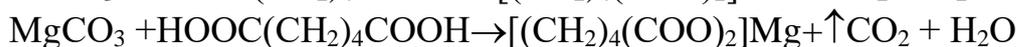
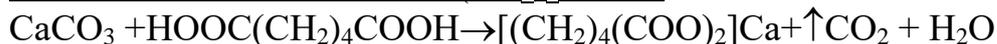


Трихлоруксусная кислота CCl_3COOH

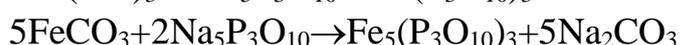
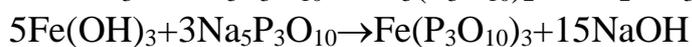


В результате реакции предлагаемых кислот с карбонатами кальция, магния и сульфата кальция, получаем продукты реакции углекислый газ CO_2 , сероводород H_2S , воду H_2O .

Адипиновая кислота $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$



Триполифосфат натрия $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$



Разработанный, на уровне изобретения, раствор для регенерации фильтров гидрогеологических скважин позволил добиться увеличения удельного дебита до 2-х раз (табл. 3). Испытания разработанного раствора производились на Каменском водозаборе Ростовской области.

Таблица 3. Результаты регенерации фильтров на Каменском водозаборе Ростовской области

№ скважины п/п	Время эксплуатации лет	Удельный дебит до регенерации, $\frac{\text{л/с}}{\text{м}}$	Удельный дебит после регенерации, $\frac{\text{л/с}}{\text{м}}$	Длина фильтра, м
4Э	7,0	0,19	0,27	10,0
5Э	8,0	0,14	0,28	10,0
6Э	7,5	0,17	0,27	10,0
7Э	8,0	0,15	0,25	10,0
8Э	7,0	0,17	0,26	10,0
9Э	8,0	0,14	0,27	10,0
10Э	7,5	0,13	0,24	10,0
11Э	7,0	0,15	0,26	10,0
12Э	7,0	0,14	0,27	10,0

Полученные результаты полевых испытаний разработанного раствора для регенерации эксплуатационных гидрологических скважин, отработавших более 5 лет, позволили установить, что удельный дебит скважин, на которых была выполнена регенерация, увеличился от 1,9 до 2-х раз.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Экспериментальные технологические исследования по конструированию самоочищающихся фильтров, а также по регенерации фильтров, отработавших определенный срок при эксплуатации водоносных горизонтов Ростовской области, представленных мелко- и среднезернистыми песками, позволили сформировать следующие выводы и рекомендации:

1. Выполнен обзор известных конструкций фильтров и способов регенерации фильтров гидрогеологических скважин.

2. На уровне изобретений разработан конструктивный ряд самоочищающихся фильтров, позволяющий уменьшить степень кольматации фильтров гидрогеологических скважин в процессе их эксплуатации.

3. В результате моделирования процесса течения жидкости в самоочищающемся фильтре с помощью программного пакета Solid Works удалось решить задачу оптимальной конструкции перфорированных отверстий каркаса фильтра и доказать, что в определенных условиях длину фильтра можно уменьшить до 50 %, при неизменном удельном дебите и скважности фильтра равной 21-26 %.

4. Установлены гидравлические зависимости характеристики фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин от геометрических параметров каркаса фильтров.

5. Разработан и испытан оптимальный состав раствора для регенерации фильтров гидрогеологических скважин, позволяющий увеличить удельный дебит скважины до 2 раз.

6. Установлены зависимости эффективности регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин от концентрации раствора и температуры.

7. Для бесперебойной подачи питьевой воды населению необходимо поддерживать в работоспособном состоянии весь имеющийся фонд скважин. В Ростовской области средний срок службы скважин, оборудованных сетчатым фильтром, при условии минерализации воды до 1,5 г/л, составляет около 7 лет, при минерализации 2/3 г/л – 2–3 года, а первые регенерационные мероприятия начинают проводить при простевии 6–12 месяцев. Таким образом, за 15 лет каждая скважина будет перебурена как минимум 2 раза, и потребуются около 4 млн. рублей дополнительных вложений при средней стоимости строительства скважины 2 млн. рублей.

8. Анализ мировых тенденций в области строительства водозаборных скважин свидетельствует об однозначном выборе в пользу коррозионностойких материалов. Это обусловлено стремлением продлить срок службы скважины и максимально исключить влияние коррозионных процессов на применяемое оборудование и конструктивные элементы скважины.

9. Экономический эффект от разработанной реагентной обработки одной гидрогеологической скважины составляет 352 тыс. рублей в ценах на 1 января 2019 г.

10. Работы по конструированию новых типов самоочищающихся фильтров необходимо продолжить, исследования по регенерации фильтров гидрогеологических скважин требует новых технологических решений, и перспективность этих работ не вызывает сомнения.

Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в следующих основных работах. В изданиях Web of Science: 1. Выбор оптимального поля с целью регенерации скважинных самоочищающихся фильтров. Третьяк А.Я., Швец В.В., Нырков Е.А. – Известия Тульского ГУ № 1, 2019. – С. 237–244.

В изданиях Scopus: 1. Результаты моделирования процесса течения жидкости в скважинном самоочищающемся фильтре. Третьяк А.А., Кузнецова А.В., Швец В.В. Изд-во Томского государственного университета, Инжиниринг георесурсов 2019, Т. 330, № 9. – С. 128–142.

В изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и образования РФ:

1. Реагентный метод регенерации гидрологических скважин. Швец В.В., Третьяк А.А. – Известия вузов. Геология и разведка недр, 2018, № 5. – С.78–82.

2. Оценка состояния эксплуатационных гидрогеологических скважин. Швец В.В., Третьяк А.А. – «Разведка и охрана недр», 2018, № 12. – С. 30–33.

3. Фильтр для скважин. Швец В.В., Третьяк А.А. – Нефть, газ, новации, 2018, № 11. – С. 63–66.

Монография:

1. Скважинные фильтры. Третьяк А.А., Швец В.В., Савенок О.В., Кусов Г.В. – Новочеркасск: Изд-во «Лик», 2019.– 220 с.

Патенты на изобретения:

1. Скважинный самоочищающийся фильтр. Патент № 2685514. РФ/ Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Швец В.В. // Заявл. 13.04. 2018, опубл. 19.04. 2019, бюл. № 11.

2. Скважинный самоочищающийся фильтр. Патент № 2681773. РФ / Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Швец В.В. // Заявл. 13.04. 2018, опубл. 12.03. 2019, бюл. № 8.

3. Раствор для регенерации фильтров гидрогеологических скважин. Патент № 2688621. РФ / Третьяк А.А., Швец В.В. // Заявл. 01.08. 2018, опубл. 21.05. 2019, бюл. № 15.

4. Самоочищающийся фильтр. Патент № 2706841 РФ / Третьяк А.А., Швец В.В., Борисов К.А. // Заявл. 11.07.2019, опубл. 21.10.2019, бюл. № 33.

Швец Виталий Викторович
Разработка и регенерация фильтров
эксплуатационных гидрогеологических скважин

Автореферат

Подписано в печать 23.10.2020 г.

Формат 60 × 84 1/16

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. 1.39. Тираж 100 экз. Заказ № 46-0167

Отпечатано в ИД «Политехник»

346428, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166

idp-npi@mail.ru