

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова

На правах рукописи

Швец Виталий Викторович

Разработка и регенерация фильтров
эксплуатационных гидрогеологических скважин

Специальность 25.00.14. – Технология и техника геологоразведочных работ

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новочеркасск – 2020

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЗОР ИЗВЕСТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ФИЛЬТРОВ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН.....	9
2. РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН.....	22
2.1 Критерии проектирования и применения фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин.....	22
2.2 Разработка рациональной конструкции и технологии применения фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин.....	30
2.3 Экспериментальные исследования работы фильтров эксплуатацион- ных гидрогеологических скважин.....	42
2.4 Гидродинамическое моделирование работы самоочищающихся филь- тров.....	59
3. РЕГЕНЕРАЦИЯ ФИЛЬТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН	82
3.1 Обзор известных способов регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин.....	82
3.2 Разработка растворов для регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин.....	87
3.3 Разработка технологии регенерации фильтров эксплуатационных гид- рогеологических скважин.....	115
4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	130
4.1 Оценка экономической эффективности реагентной обработки эксплу- атационных гидрогеологических скважин.....	130
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	132
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	134
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	143
Приложение А. Акты внедрения разработанной технологии регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин	144
Приложение В. Акт внедрения результатов научных работ в учебный процесс.....	146

ВВЕДЕНИЕ

В жизни человека подземная вода имеет решающее значение. Россия имеет огромные ресурсы пресных подземных вод, насчитывающими около $330 \text{ км}^3/\text{год}$. 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 $16 \text{ км}^3/\text{год}$ подземных вод, а для сельскохозяйственного водоснабжения, обводнения пастбищ и орошения порядка $20 \text{ км}^3/\text{год}$.

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.

Главной задачей современной технологии бурения гидрогеологических скважин является выбор оптимальных конструкций фильтров. С целью решения проблем населения в обеспечении пригодной для использования питьевой водой ежегодно в России бурится более 40 тысяч гидрогеологических скважин. Известно, что гидрогеологические скважины сооружаются, в основном, вращательным способом, из них более 70% скважин каптируют водоносные пласты в рыхлых отложениях, где использование фильтра является необходимым.

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 регенерации 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.

Вопросами сооружения гидрогеологических скважин занимаются такие организации как: МГРИ-РГГРУ, ГГП «Центргеология», ФГУГП «Волгагеология», ВСЕГИНГЕО и другие, но тем не менее, современная технология сооружения гидрогеологических скважин в мелко- и среднезернистых песках не решает вопросы качества. Исходя из этого разработка оптимальной конструкции фильтров и способов их регенерации является актуальной задачей в общем комплексе сооружения гидрогеологических скважин. Исследования, выполненные автором направлены на выполнения выше обозначенных проблем.

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 самоочища-

ющихся 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, изготовлены и внедрены в практику сооружения гидрогеологических скважин 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 2018г. 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», г. Санкт-Петербург, 13–17 мая 2019.

Реализация работы в промышленности. Технология регенерация фильтров внедрена при ремонте гидрогеологических скважин на юге Ростовской области, для условий работы ООО НПП «Ростовская буровая компания». 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, рекомендованных ВАК, одной монографии, одном учебном пособии, 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. Диссертационная 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.

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

При выполнении диссертационных исследований сотрудники кафедры «Нефтегазовые 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.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ИЗВЕСТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ФИЛЬТРОВ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Подбор фильтров для эксплуатации водоносных горизонтов, представленных мелко-среднезернистыми песками имеет свои особенности. В проекте на бурение гидрогеологических скважин должна быть заложена конструкция фильтра, которая бы решала потребности по дебиту скважины, обозначенные в техническом задании.

Обзор известных скважинных фильтров, выпускаемых в России и за рубежом, показал, что они должны соответствовать следующим основным требованиям: обладать устойчивостью к разрушению; обеспечивать заявленную пропускную способность; обеспечивать низкое гидравлическое сопротивление; обладать устойчивостью к коррозии.

Фильтры являются одним из важнейших элементов конструкции скважин, они определяют эффективность буровых работ и качество гидрогеологических исследований при разведке и оценке запасов подземных вод. Развитие гидрогеологических исследований, увеличение объемов строительства водозаборных и дренажных сооружений привело к росту объемов производства фильтров для скважин на воду, которых только в централизованных условиях в нашей стране выпускается около 500 тыс. м в год.

Выбор конструкции фильтра определяется условиями его применения и, в первую очередь, характером водосодержащих пород. На выбираемый тип и конструкцию скважин большое влияние оказывают величина водоотбора, химический состав подземных вод, глубины скважины и т.п. Конструкция фильтра должна быть технологична в изготовлении при наименьшем расходе дефицитных материалов и применима в возможно более широком диапазоне гидрогеологических условий, при этом она должна иметь хорошие технико-экономические показатели. В историческом развитии стремление удовлетворить перечисленные выше требования привело к созданию разнообразных конструкций фильтров.

Классифицируют фильтры по конструктивному признаку на пять групп: ще-

левые и дырчатые из труб, из листовых материалов и стержней, из антикоррозионных материалов, сетчатые, гравийные и гравитационные (рис. 1.1) [32].



Рис. 1.1. Классификация фильтров буровых скважин

В фильтрах с частицедерживающими отверстиями выносу в скважину частиц водовмещающих пород препятствуют достаточно малые отверстия (или поры) фильтра. Частицы пород, накладываясь на щели или дыры, значительно сужают их живое сечение. Это приводит к увеличению гидравлических сопротивлений и способствует ускорению химической закупорки. В гравийных фильтрах эти явления проявляются в значительно меньшей степени.

Гравитационные фильтры имеют широкие водоприемные отверстия, в которых грунт удерживается от выноса под действием силы тяжести. К ним относятся колокольные, чашечные, тарельчатые, зонтичные и др. фильтры. В качестве труб для изготовления фильтров используются обычно металлические обсадные трубы. Отверстия круглые или щелевые. Размеры отверстий в каркасах подбирают из условия обеспечения максимального дебита, но опыт эксплуатации фильтров и расчет оптимальной скважности показывает, что скважность должна составлять 20–25 %. Наиболее применяемые фильтры показаны на рис. 1.2.

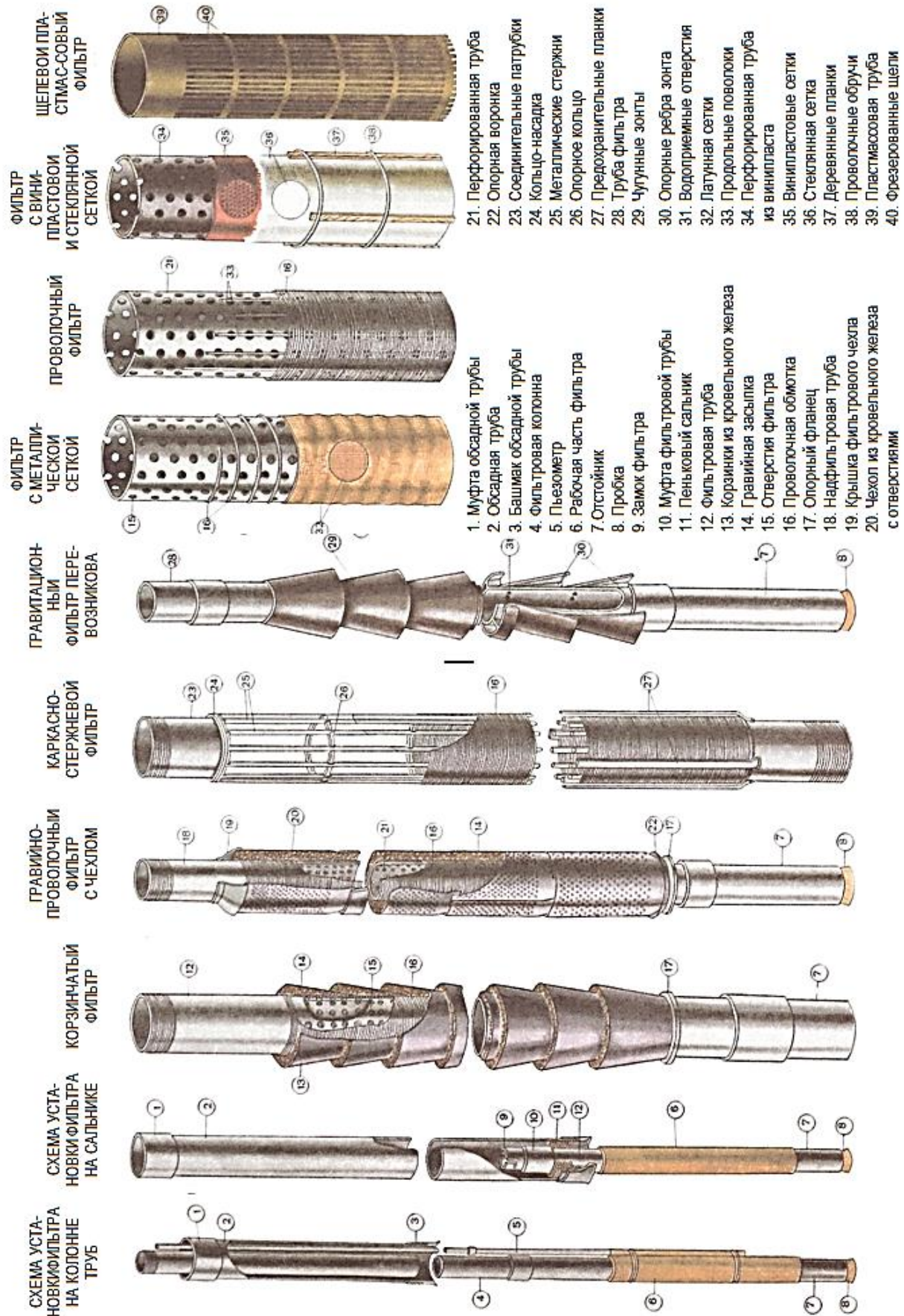


Рис. 1.2. Фильтры для буровых скважин

Наиболее распространенные типы и конструкции фильтров: [35]: трубчатые, металлические, трубчатые металлические антикоррозионные, трубчатые из полимерных материалов, трубчатые из стеклопластика, трубчатые из керамики и фарфора, каркасно-стержневые, каркасно-стержневые антикоррозийные, пористокерамические, пористобетонные, гравийноклеевые с водоприемной поверхностью из поролонa, гравийнообсыпные, кожуховые, корзинчатые, зонтичные или колокольные. Типы и конструкции фильтров классифицируются с учетом воздействия пород и фильтра в зоне непосредственного их контакта. Конструкции наиболее часто применяющихся фильтров показаны на рис. 1.3–1.5. [29].



Рис. 1.3. Трубчатый каркас фильтра с круглыми отверстиями

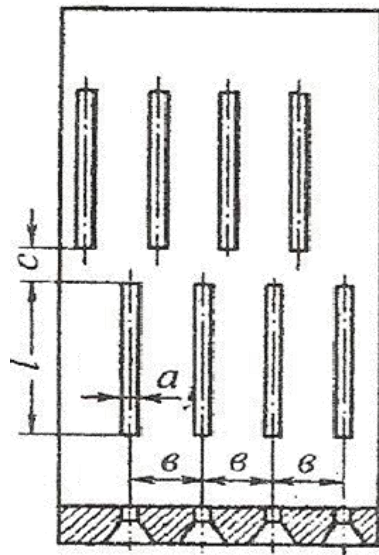


Рис. 1.4. Расположение щелей в трубчатом каркасе



Рис. 1.5. Каркасно-стержневой фильтр

В России, при дренировании водоносных горизонтов, представленных песками, различной зернистости применяют фильтры с трубчатыми или стержневыми каркасами, которые покрывают сетками. Сетки изготавливают из стали, меди, латуни, нержавеющей стали, пластических масс, поливинилхлорида, нейлона, полистирола, а также из стеклянного волокна. Фильтр с водоприемной поверхностью из сеток – является наиболее распространенным. Фильтр 1, представляющего собой металлическую дырчатую или щелевую трубу; проволоочной спирали 3 при подкла-

дочной сетке с крупными ячейками 2, накладываемой на опорный каркас для обеспечения более свободного доступа профильтровавшейся воде к проходным отверстиям каркаса; фильтрационной сетки 4, которой покрывается каркас, и накладных планок 5 (рис. 1.6)

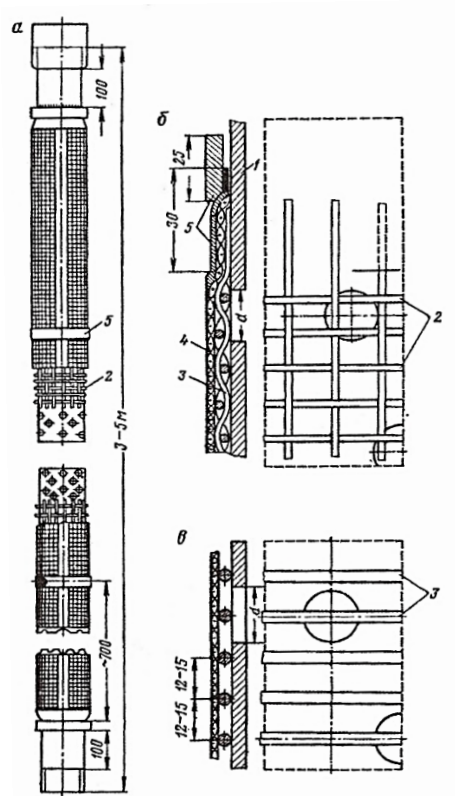


Рис. 1.6. Сетчатый фильтр:
а – общий вид; б, в – детали

Сетчатые фильтры возможно устанавливать в скважинах практически на любую глубину, централизованно изготавливать на месте сооружения скважин, использовать их в случае, если водоносный горизонт представлен песками различной зернистости.

Сетки изготавливают квадратные, гладкие (галунные) и киперные. Квадратная сетка состоит из проволок равного сечения (круглого или квадратного), переплетающихся под прямым углом. Эти сетки употребляются в фильтрах при добыче воды из крупнообломочных отложений (гравий, галька). Гладкая (галунная) сетка состоит из продольных проволок утолщенного сечения и поперечных тонких проволок. В отличие от сеток квадратного плетения сетка гладкого плетения состоит из проволок,

плотно прижатых друг к другу, в результате чего отверстия принимают извилистую форму. Проволочный фильтр на трубчатом каркасе показан на рис. 1.7. [32]

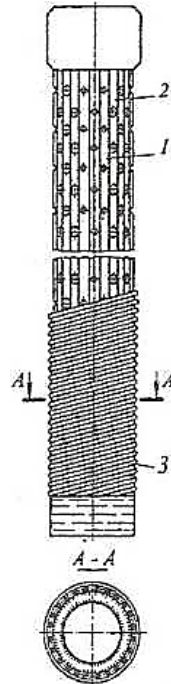


Рис. 1.7. Проволочный фильтр на трубчатом каркасе:

1 – трубчатый перфорированный каркас; 2 – стержни продольные; 3 – проволока

В качестве материала могут быть использованы антикоррозионные металлические трубы, нашедшие применение при сооружении скважин на минеральные и термальные воды, реже для этих целей применяют чугунные трубы. В практике широко используются асбоцементные трубы. Такие трубы перфорируют так же, как и металлические. Целью сооружения гидрогеологических скважин является получение устойчивого дебита в течение длительного времени.

В России чаще всего применяется два типа фильтров: проволочные и сетчатые фильтры на перфорированном трубчатом металлическом каркасе. Химическая коррозия металлического каркаса фильтра, усугубляется электрохимической коррозией из-за наличия разноименных металлов. Таким образом коррозия корпуса фильтра дополняет кольматацию самого фильтра при его эксплуатации.

За рубежом применяются в основном три типа фильтров: спирально-проволочные фильтры типа «Johnson» из нержавеющей стали, штампованные фильтры с мостообразными отверстиями, выполненные из углеродистой стали с антикоррозионным покрытием или из нержавеющей стали, и щелевые фильтры (рис. 1.8.).

Фильтр типа «Johnson», обладает максимальной скважностью (15–40 %), и оптимальной формой входных отверстий. Фильтр с мостообразными отверстиями имеет скважность от 8 до 25 %. Скважность щелевых фильтров составляет 10–13 % [69].

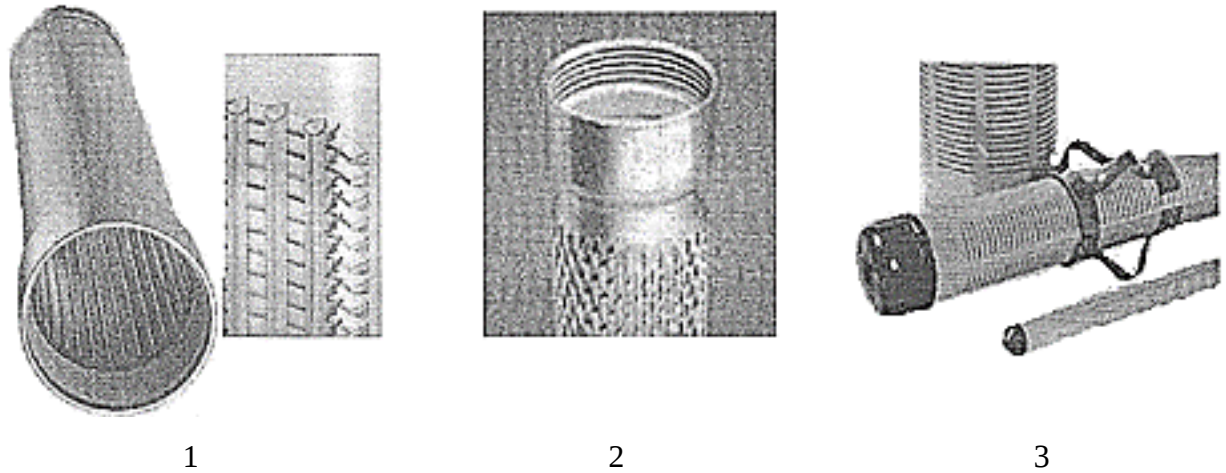


Рис. 1.8. Типы фильтров:

1 – спирально-проволочный типа «Jonson», 2 – с мостообразными отверстиями, 3 – щелевой

Срок службы фильтровой колонны является основным показателем качества сооружения гидрогеологических скважин. Фильтры выполняют свое основное назначение, но через некоторый промежуток времени теряют свою пропускную способность, то есть колюматирются. Фильтры скважин на воду в 90 % случаев колюматирются катионами солей жестко -карбонатно-кальциевого класса.

Существует несколько конструкций скважинных фильтров: сетчатые, проволочные (многие называют щелевыми), бескаркасные, перфорированная труба круглыми отверстиями, труба со щелевой перфорацией.

Сетчатый скважинный фильтр состоит из перфорированной обсадной трубы или НКТ (зависит от конструкции скважины), нескольких слоев фильтрующей сетки, одного или двух слоев дренажной сетки и защитного кожуха. Степень фильтрации определяется размером ячейки фильтрующей сетки. Осевые и поперечные нагрузки определяются характеристиками несущей обсадной трубы. Защитный кожух предохраняет фильтрующую сетку на стадии спуска фильтров в скважину. Весь фильтрующий элемент выполнен из нержавеющей стали. Защитные кожухи бывают 3-х исполнений.

1. С применением сварки, состоящий из листов металла длиной 1 метр (рис. 1.9).

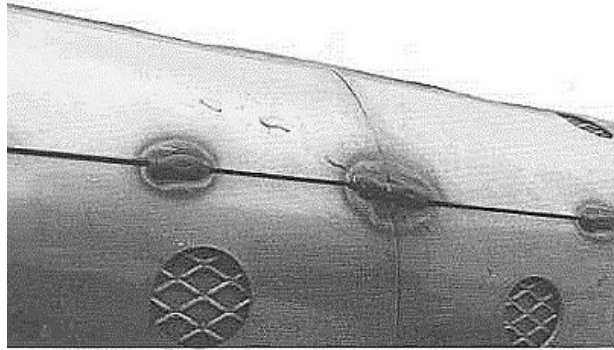


Рис. 1.9. Защитный кожух фильтра с применением сварки, состоящий из листов металла длиной 1 метр

Количество метровых листов меняется в зависимости от длины фильтроэлемента. Основные недостатки: возможность раскрытия уха в скважине в интервале набора кривизны. Металл при изготовлении кожухов применяется толщиной до 1 мм, по этой причине сварка сплошным швом невозможна, а потому применяется сварка прерывистыми швами.

2. Витой кожух с применением механического замка, перфорированный круглыми отверстиями диаметром 5 мм. Это следующий шаг конструкторской мысли в разработке сетчатых фильтров (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Витой кожух фильтра с применением механического замка, перфорированный круглыми отверстиями диаметром 5 мм

За счет своей конструкции легко принимает форму ствола скважины, обладает высокой надежностью.

3. Витой просечновытяжной с вытяжкой вовнутрь кожух (рис. 1.11).

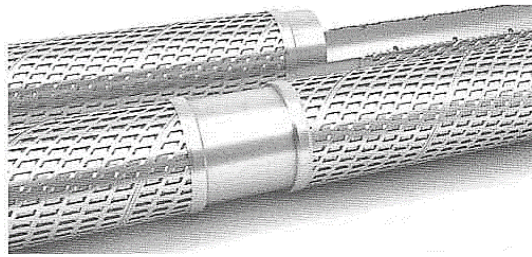


Рис. 1.11. Витой просечновытяжной фильтр с вытяжкой кожуха вовнутрь

Фильтры с таким кожухом являются наиболее универсальными, идеально подходят как для жидкого флюида, так и для газа. Рекомендуются для применения в газовых и газоконденсатных скважинах. Конструкция кожуха способствует изменению вектора направления движения флюида, обеспечивая продолжительный срок службы фильтроэлемента.

Проволочные фильтры изготавливаются путем навивки V-образной нержавеющей проволоки на стрингеры с применением контактной сварки во всех местах пересечения (рис. 1.12) [69].

Степень фильтрации определяется зазором между витками проволоки. Готовый фильтрующий элемент крепится на обсадную трубу. Максимальные значения осевых и поперечных нагрузок ограничиваются характеристиками несущей обсадной трубы.

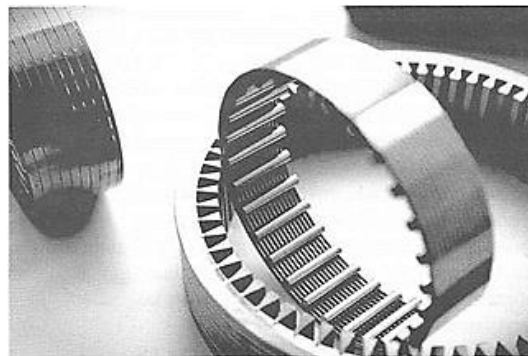


Рис. 1.12. Проволочные фильтры, изготовленные путем навивки V-образной нержавеющей проволоки на стрингеры с применением контактной сварки во всех местах пересечения

Основные недостатки: низкая скважинность фильтрующего элемента, невозможность перевести скважину, оборудованную проволочными фильтрами, из до-

бывающей в нагнетательную, так как движение флюида возможно только со стороны основания «треугольника» (рис. 1.13, *а*), в противном случае происходит интенсивная кольматация (рис. 1.13, *б*) [69].

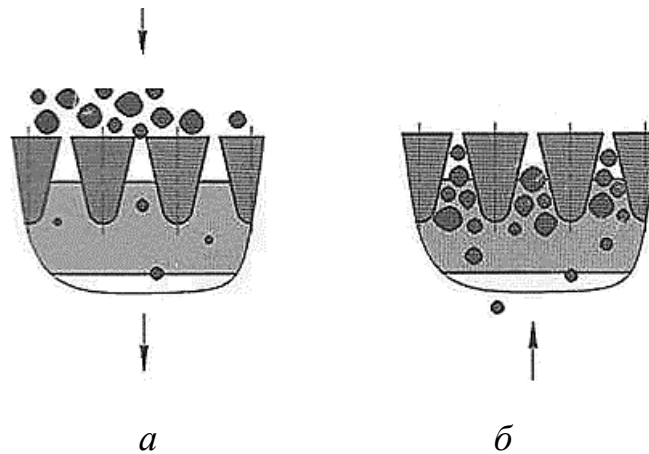


Рис. 1.13. Движение флюида со стороны основания «треугольника»

Данные фильтры нежелательно спускать в наклонно-направленные, горизонтальные скважины, а также в боковые стволы, так как зазор между витками фильтрующего элементами увеличивается с внешней стороны угла, а с внутренней полностью исчезает. Таким образом, средства, потраченные на фильтры, не окупаются.

Бескаркасные фильтры изготавливаются тем же способом, что и проволочные, но без применения несущей обсадной трубы. Размер наматываемой V-образной нержавеющей проволоки и стрингеров также отличается в большую сторону и составляет от 5 мм и выше. К готовому фильтроэлементу встык приваривается муфтовая часть, с другой стороны – ниппельная. Таким образом, фильтр полностью состоит из нержавеющей стали.

Основные недостатки: высокие риски разрушения фильтра в скважине, так как торцевое сварное соединение – это слабое звено во всей конструкции. Не рекомендуются также к спуску в горизонтальные и наклонно-направленные скважины по причине нарушения степени фильтрации и разрушения сварных соединений.

Перфорированная труба – это обсадная труба с отверстиями без фильтрующего элемента. Применяется для поддержания ствола скважины с твердосцементированным коллектором (рис. 1.14).

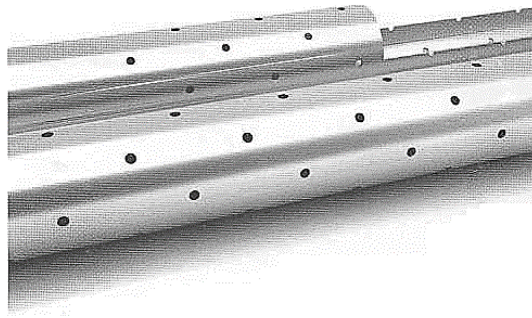


Рис. 1.14. Обсадная труба с отверстиями без фильтрующего элемента

Перфорированная труба щелью (рис. 1.15). Перфорация выполняется плазменной установкой либо лазерной. Степень фильтрации определяется шириной щели. Основные недостатки: высокие требования к группе прочности материала трубы, высокая степень эрозии в процессе эксплуатации [69].

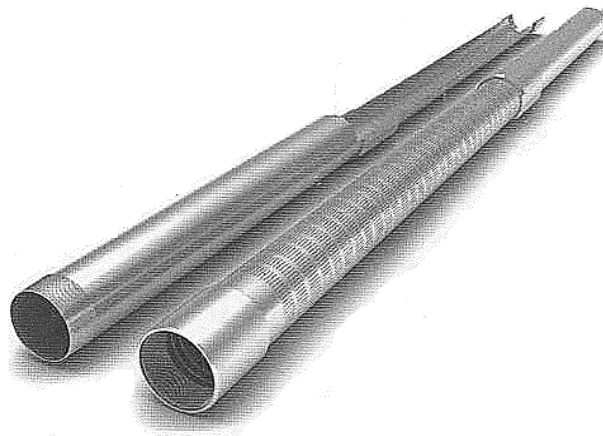


Рис. 1.15. Перфорированная труба щелью

Бескаркасный щелевой скважинный фильтр (рис. 1.16) является усовершенствованной конструкцией каркасно-щелевого фильтра, опыт использования которого начинается с 1949 г.

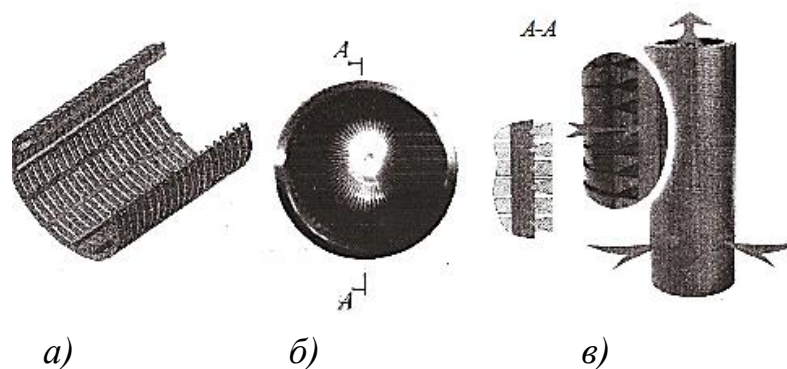


Рис. 1.16. Бескаркасный щелевой фильтр:

а) – фильтр; б) внешний вид, в) разрез

Он представляет собой сварную конструкцию, состоящую из несущих колосников (термин «бескаркасные» в данном случае предполагает отсутствие трубчатого каркаса) с обмоткой, профилированной (трапециевидной формы) проволоки. Каждое пересечение опорных и рабочих колосников сваривается между собой контактной точечной электросваркой в месте стыка вершин. В результате образуется многоярусный цилиндр, обладающий большой прочностью и жесткостью, при этом имеющий одно непрерывное отверстие, которое идет по спирали всей его длины.

Конструктивной особенностью бескаркасных щелевых фильтров является одинарная фильтрационная поверхность (отсутствие трубчатого каркаса), которая исключает возможность создания тупиковых зон и в разы снижает гидравлические потери при притоке жидкости в скважину.

В сравнении с конструкцией фильтров на силовом перфорированном каркасе, отсутствие тупиковых зон в бескаркасном фильтре способствует меньшему накоплению осадков, а фильтрующая поверхность становится доступной для эффективной регенерации обратным движением жидкости.

При этом одинарная фильтрующая поверхность обладает рядом преимуществ: максимально возможная площадь открытой поверхности фильтра с сохранением прочностных характеристик; малые гидравлические сопротивления; формирование естественного фильтра вмещающими породами.

Применение обсадных труб из ПВХ с использованием бескаркасных щелевых скважинных фильтров существенно повысит срок службы водозаборной скважины и ее технологическую надежность за счет: устойчивости ко всем видам коррозии (фильтр изготавливается целиком из коррозионностойких материалов); гигиеничности (препятствует размножению бактерий); отсутствия влияния на органолептические свойства воды; возможности обработки всеми химическими средствами для регенерации и дезинфекции; простоты, быстроты и безопасности монтажа посредством резьбового соединения.

Скважинные фильтры – оборудование, напрямую влияющее на дальнейшую эксплуатацию скважины, на ее долговечность. Необходимо тщательно проводить анализ скважинных условий для правильного подбора конструкции фильтров. В

противном случае средства, вложенные в строительство скважины, «возвращаются» в разы дольше запланированного, так как через короткий срок эксплуатации скважины приходится проводить дополнительные мероприятия.

В последнее время при сооружении гидрогеологических скважин все большее распространение получили фильтры и сетки из пластических масс, благодаря их антикоррозийной устойчивости. Применяется для этих целей материал на основе поливинилхлорида или винипласта. Трубы изготавливают с резьбовыми соединениями, а сетки двух видов: штампованные (простые и гофрированные) с круглыми отверстиями и плетенные с квадратными отверстиями. Многие фирмы выпускают сетки, тканые из отдельных проволок квадратного плетения из сорана, полиэтилена и полистерола, поливинилхлорида.

Наличие на рынке фильтров и сеток из пластических масс позволило приступить к изготовлению самоочищающихся фильтров с постоянными магнитами, чему посвящена вторая глава диссертации.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Выбор рациональной конструкции фильтра при проектировании скважин на воду является главным моментом при написании проекта на бурение гидрогеологических скважин, как разведочных, так и эксплуатационных.

От правильно выбранного фильтра зависят в конечном счете гидрогеологические параметры водоносного пласта и экономическая эффективность скважины.

2.1. Критерии проектирования и применения фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин

При подготовке проекта на сооружение эксплуатационной гидрогеологической скважины определяют следующие основные параметры: диаметр и длину фильтровой колонны, параметры водоподъемного оборудования, скорость движения воды в фильтровой колонне, тип фильтрующей сетки. Диаметр фильтровой колонны выбирают исходя из заявленного в техническом задании дебита скважины, а водоподъемное оборудование выбирают исходя из дебита конкретной скважины. Длину фильтровой колонны выбирают на основе изучения гидрогеологических условий по всей глубине скважины и если мощность основного водоносного пласта не более 10 метров, то фильтр устанавливается на всю мощность пласта. В случае, если водоносный пласт имеет мощность более 10 метров, то его длину выбирают методом фильтрационных сопротивлений, при этом суммарное сопротивление фильтра прямо пропорционально его длине. Тип фильтрационной сетки выбирают исходя из гранулометрического состава водоносного пласта. Гладкие сетки применяют для мелко- и среднезернистых песков, сетки квадратного плетения для песков разно- и крупнозернистых, сетки киперного плетения употребляют очень редко. В последнее время для изготовления проволочных фильтров вместо нержавеющей проволоки используют хлорвиниловую проволоку, стальную проволоку с хлорвиниловым покрытием или резиновый шнур.

Экспериментально установлено, что оптимальная скважность фильтра равна 21–26 %, то есть, добиться увеличения дебита гидрогеологической скважины за

счет увеличения скважности – невозможно. В практике гидрогеологических работ для обоснования длины и диаметра фильтра водозаборных скважин используют критерий допустимой скорости входа воды в фильтр $V_{\text{вх}}$ (мм/с), который влияет на степень кольтматации фильтра и прифильтровой зоны. Скорость входа воды в фильтр рекомендуется в пределах 15–30 мм/с. Нами предложена формула для расчета скорости входа воды в фильтр [53]:

$$V_{\text{вх}} = \frac{Q \cdot 10^9 \cdot \sin \alpha}{\pi R^2 \cdot 60 \cdot \delta \cdot n \cdot L}, \quad (2.1)$$

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, 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.

Водозаборы подземных вод проектируют различные организации ряда министерств и ведомств, выпускающие сотни и более проектов в год. Содержание проекта включает в себя введение, краткую геолого-гидрогеологическую характеристику района, проектный геолого-гидрогеологический разрез, описание конструкции скважины, методики ее опробования, оборудования, основные проектные данные, смету и приложения. Объем проекта одиночной скважины составляет от 20 до 100 и более страниц, и включает разнородную, повторяющуюся, как внутри проекта, так и из проекта в проект, часто излишнюю и бесполезную, информацию. Время проектирования длится от 1,5 суток до 1,5 месяцев, много его тратится на рутинные операции сбора исходной информации и арифметические сметные расчеты.

В настоящее время существует большое число проектных документов и форм, совпадающих по назначению и содержащих близкую информацию. Исходным документом для сооружения скважины является проект. В буровой организации по его материалам с поправкой на производственные возможности выписывают геолого-технический наряд – рабочий документ буровой бригады. После со-

оружения скважины на нее составляют паспорт и исполнительскую смету фактических затрат. Данные по готовой скважине заносят в специальную форму кадастровой информации – карточку скважины. Разнообразие документов значительно удлинняет и затрудняет прохождение информации, снижает ее качество, умножает ошибки. Для практического использования и широкого применения ЭВМ требуются единообразные сквозные формы информации о скважине.

В назначении скважины на воду может быть указано: водоснабжение, орошение, вертикальный дренаж, строительное водопонижение. Скважина по назначению может быть гидрогеологической. По типу же скважины различаются эксплуатационные, разведочно-эксплуатационные, поисково-картировочные, наблюдательные.

Общие характеристики скважины включают: абсолютную отметку устья, глубину скважины. В сведения по водоносным горизонтам входят геологический индекс, глубина залегания кровли (до трех горизонтов), мощность, коэффициенты фильтрации и пьезо- или уровнепроводности (если имеются), статический уровень, напор над кровлей. Указываются, также буровая организация, дата бурения (окончания бурения или прокачки) и стоимость сооружения скважины. Блок геолого-гидрогеологической информации содержит номер слоя, наименование породы и глубину до подошвы, а также (для удобства пользователя) геологический индекс и шкалу глубин. Перечень пород располагается по порядку сверху вниз. Их число произвольно, наименования соответствуют геологическому справочнику и могут быть составными (например, «пески среднезернистые с гравием и галькой»). Водоносный горизонт определяется по месту расположения фильтра. В сведения о конструкции скважины входят данные о фильтре, трубах и насосе. Тип фильтра выбирают по нормативным документам. Трубы обозначаются по назначению: обсадная, фильтровая, водоподъемная, кондуктор, отстойник, башмак, пьезометр. Фильтр устанавливают либо «на колонне труб», либо «впотай». В графе о насосном оборудовании указываются тин, глубина и дата установки или замены насоса, а также содержатся сведения о его ремонте. В блоке технологической информации поме-

щают сведения о бурении скважины, цементации, обсыпке и откачке. Блок гидрохимической информации содержит стандартную запись: «Качество воды соответствует требованиям ГОСТ 2874-82. «Вода питьевая», кроме следующих элементов» (вносимых в таблицу).

Для расчета диаметра фильтра рекомендуемым критерием в отечественной литературе является скорость восходящего потока в верхнем сечении.

Для безнапорных водоносных горизонтов, длина фильтра должна быть уменьшена на половину величины проектного понижения уровня. Но и в этом случае буквальное следование норме, в соответствии с которой в однородных водоносных горизонтах мощностью $m = 10\text{--}15$ м длина фильтра $L_{\phi} = (0,87 \cdot 0,9)/m$ приводит к невозможности отбора проектного дебита при соблюдении условий эксплуатации погружного насоса.

Известно также, что для скважин в безнапорных водоносных горизонтах существует норма, в соответствии с которой фильтры должны устанавливаться в нижней трети пласта. Это обеспечивает достаточный запас понижения для отбора проектного дебита и согласуется с допустимым понижением уровня, составляющим $2/3$ мощности пласта. В неоднородных безнапорных пластах большой мощности принцип выбора наиболее проницаемого интервала применим только к нижней части разреза, тогда как в напорных водоносных горизонтах местоположение такого интервала не имеет значения.

В классической книге Толмана «*Groundwater*», опубликованной в 1937 г., рекомендуемое значение входной скорости воды в фильтр составляет $0,03\text{--}0,06$ м/с обосновывалось контролем суффозионного выноса песка. Впоследствии было доказано, что при правильно подобранном фильтре входная скорость не является фактором, обуславливающим суффозию. Тем не менее, это же значение входной скорости ($0,03$ м/с) было закреплено в качестве критерия при проектировании скважин во всех изданиях книги «*Ground water and wells*» фирмы «*Edward E. Johnson, Inc*», той самой фирмы, которая с 1904 г. выпускает знаменитые спирально-проволочные фильтры «*Johnson*». Первое издание датируется 1947 г., а последнее – 2008 г. Рекомендуемый критерий обосновывался большим объемом полевых исследований, доказывающих,

что при таких скоростях минимизируются гидравлические потери в прифилтровой зоне, замедляются коррозионные и коьматационные процессы.

Проект на строительство гидрогеологической скважины включает следующие работы: гранулометрический анализ образцов водовмещающих пород целевого горизонта, определение интервала установки фильтра, подбор гравийной обсыпки, определение размера проходных отверстий, определение диаметра фильтра. Таким образом, критерий входной скорости применяется после того, как известны длина фильтра (L_{ϕ}) и его скважность (x). Тогда, задавшись минимальным значением скорости 0,03 м/с, диаметром фильтра (d), длиной фильтра (L_{ϕ}), производительность скважины (Q), определяется из формулы (2.3) [41, 53]:

$$Q = V_{\text{вх}} \cdot \pi d L_{\phi} \cdot x. \quad (2.2)$$

Использование критерия входной скорости при проектировании скважин на воду позволяет существенно минимизировать стоимость скважин при обеспечении проектного дебита и допустимого понижения уровня. Для скважин производительностью до 90 м³/ч нецелесообразно устанавливать фильтры диаметром более 150 мм (6"). Для большинства высокодебитных скважин в России максимальный диаметр фильтра не должен превышать 250 мм при его длине 10 м и более. В безнапорных водоносных горизонтах фильтры целесообразно устанавливать в нижней трети пласта.

Пескование водозаборных скважин, каптирующих рыхлые водовмещающие отложения, является одной из основных проблем при их эксплуатации. Это приводит к преждевременному выходу из строя погружных насосов, снижению производительности скважин и в конечном итоге к необходимости их перебурирования. Особенно заметна эта проблема на крупных городских водозаборах подземных вод, где скважины оборудованы проволочными фильтрами с гравийной обсыпкой. Как правило, пескование не является непрерывным процессом, а проявляется при пуске погружных насосов или увеличении нагрузки на скважину и прекращается через определенное время, достаточное для формирования новых арочных структур в прифилтровой зоне.

Производители погружных насосных агрегатов вынуждены учитывать фактор возможного пескования скважин, дорабатывая конструкцию проточной части насосов для повышения ее пескоустойчивости. Тем не менее, допустимое содержание песка в откачиваемой воде, обязательно, оговаривается в технических условиях эксплуатации насосных агрегатов.

Пескование скважин является следствием неправильного подбора параметров фильтров при проектировании водозаборных скважин. Точнее говоря, это является следствием отсутствия какого-либо обоснования параметров фильтра. До настоящего времени в России нет четко прописанных правил и требований к проектированию фильтров водозаборных скважин.

Большинство зарубежных и отечественных специалистов считает, что надо стремиться к максимальной скважности фильтров, и что ее значение не должно быть ниже 10 %. Однако существует и другая точка зрения, в соответствии с которой достаточной является скважность 3–5 %, увеличение которой не приводит к росту эффективности скважин. Эти выводы подтверждены лабораторными и полевыми исследованиями.

Поскольку российский опыт эксплуатации водозаборных скважин с фильтрами низкой скважности отсутствует, следует согласиться с мнением большинства специалистов о необходимости применения фильтров с максимально возможной скважностью, особенно для высокодебитных скважин.

Длина фильтра зависит от мощности водоносного горизонта, его типа (напорный, безнапорный) и строения. В большинстве случаев водоносные горизонты неоднородны в разрезе и длина фильтра зависит от мощности наиболее проницаемого интервала. Немаловажную роль при выборе длины фильтра играет оценка величины несовершенства скважины по степени вскрытия и его влияния на удельный дебит. За редким исключением, нет смысла увеличивать длину фильтра более 10 м, что вытекает из неравномерности притока воды по его длине.

Диаметр фильтра является величиной, которая определяется при известной длине фильтра и его скважности. Здесь общепризнанным критерием является скорость входа воды в фильтр, минимальная величина которой составляет 0,03 м/с.

Скорость в данном случае принимается осредненной по длине фильтра. Более подробно о выборе длины и диаметра фильтра изложено в статье. Здесь следует добавить, что часто встречающееся в специальной литературе утверждение о том, что диаметр фильтра, определяемый параметрами водоподъемного оборудования, является ошибочным, поскольку установка насоса в фильтре не допускается. Поэтому диаметр фильтра может быть меньше диаметра надфильтровой колонны.

В практике написания проектов часто бывает так, что информации о предполагаемом гидрогеологическом разрезе недостаточно. В этом случае бурят пилотные скважины и дополнительно изучают состав пород пласта и геологический разрез.

Таким образом, геологический разрез и грансостав песка водоносного горизонта, который будет эксплуатироваться, является основой выбора типа фильтра.

Наиболее целесообразным способом бурения в геолого-гидрогеологических условиях Ростовской области является роторный с промывкой забоя полимерглинистым раствором при помощи самоходного бурового агрегата 1БА-15В (УРБ-ЗАЗ). Конструкции скважин разрабатываются в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», а также с учетом современной водохозяйственной обстановки, заключающейся в многолетней эксплуатации водоносных горизонтов.

Расчет конструкции эксплуатационных на воду скважин выполняется снизу-вверх т.е. с фильтровой колонны. В соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84 внутренний диаметр фильтровой колонны должен быть не менее 100 мм, а длина рабочей части фильтров обеспечивать приток подземных вод в скважины с проектными дебитами при условии принудительного водоподъема погружными насосами ЭЦВ-6-10-80 или ЭЦВ 8-25-100.

Для оборудования эксплуатационных гидрогеологических скважин фильтровой колонной предусматриваются обсадные трубы Д-146 мм (внутренний диаметр 128 мм) или Д-168 мм (внутренний диаметр 152 мм) ГОСТа 632-80 «Трубы обсадные муфтовые».

Минимальная длина фильтров, необходимая для обеспечения дебиты скважины 7,0 л/с (25 м³/час, 600 м³/сутки), рассчитываются по эмпирической формуле [48]:

$$L = \frac{Q}{\pi d V_{\phi}} \quad (2.3)$$

где $\pi = 3,14$;

d – внешний диаметр фильтра, м;

Q – проектный дебит скважины, м³/с;

V_{ϕ} – скорость фильтрации воды, м/с.

$$V_{\phi} = 65 \sqrt[3]{K} \quad (2.4)$$

где K – коэффициент фильтрации среднезернистых и мелкозернистых песков. Выполненные расчеты показывают, что в условиях Ростовской области необходимо предусмотреть установку 10 м фильтров. Принимая во внимание, что после бурения и разглинизации освоенными, как правило, являются 70 % фильтров, то минимально необходимая длина фильтров должна составить не менее 13 метров.

Движение воды в пористой среде под действием перепада давлений называется фильтрацией. Скорость ламинарного течения воды в пористой среде определяется законом Дарси

$$V = K_{\phi} \cdot i, \quad (2.5)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации (показатель водопроницаемости среды);

i – градиент напора или гидравлический уклон, равный отношению длины фильтрации к высоте.

Коэффициент фильтрации соответствует скорости движения воды в водоносном пласте при единичном значении градиента напора. Коэффициент фильтрации определяется лабораторными или полевыми опытами. Ориентировочные значения коэффициента фильтрации для мелко-среднезернистых песков изменяется от 2 до 15 м/сутки.

Дебит скважины определяется, в основном, коэффициентом фильтрации и

коэффициентом водопроводимости водоносного пласта. Коэффициент водопроводимости пласта K_n является показателем водообильности водоносного пласта и равен, произведению коэффициента фильтрации на толщину водоносного пласта

$$K_n = K_f h \quad (2.6)$$

где h – толщина напорного водоносного пласта по вертикали от подошвы до кровли пласта или толщина безнапорного водоносного пласта по вертикали от подошвы до уровня грунтовых вод. Водопроводимость характеризует фильтрационный расход на единицу ширины пласта при перепаде напора, равном единице.

Коэффициент водопроводимости пород оценивается по данным опытно-фильтрационных работ (откачек, нагнетаний, наливов), режимных наблюдений или при известном коэффициенте фильтрации пласта и его мощности умножением этих параметров.

По существу, приток к скважине определяется водопроводимостью пласта, то есть его собственными возможностями. Нельзя отобрать любым водозабором больший расход воды, чем обеспечивают естественные фильтрационные свойства пласта.

2.2. Разработка рациональной конструкции и технологии применения фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин

Из практики работ известно, что при эксплуатации гидрогеологических скважин происходит кольматация как поверхности фильтра, так и водоносных пород, примыкающих к фильтру, который вызывает увеличение гидравлических сопротивлений и снижение притока воды в скважину.

Добиться уменьшения кольматации фильтров возможно за счет применения физического воздействия на него. Наиболее эффективным и доступным способом воздействия на фильтр является сущность метода магнитной обработки состоит в том, что при пересечении водой магнитных силовых линий катионы солей жесткости выделяются не на поверхности фильтра, а в массе раствора.

Уменьшить кольматацию, увеличить удельный дебит гидрогеологических сква-

жин и срок их эксплуатации возможно за счет новых, самоочищающихся конструкций фильтра.

В ЮРГПУ(НПИ) предложена конструкция самоочищающегося фильтра гидрогеологических скважин (рис. 2.1, патент № 2478775) [69].

Самоочищающийся скважинный фильтр, выполнен из немагнитного материала, например, полиэтилена или пропилена, включающий перфорированную трубу в виде автономных секций с фильтрующей поверхностью, прокладочными элементами (опорные стержни и витки шнура), верхним и нижним переводниками. Фильтр отличающийся тем, что фильтрующая поверхность выполнена в виде обмотки перфорированной части фильтра немагнитным капроновым шнуром в виде трапеции, кроме того кольцевые постоянные магниты являются одновременно центраторами фильтра. Верхний переводник, с целью отсоединения, выполнен как лево-правый. Трапециевидный капроновый шнур наматывается на перфорированную трубу обратной стороной, т. е. меньшее основание трапеции касается каркаса фильтра. Расстояние между постоянными магнитами подбирается в зависимости от коэрцитивной силы и напряжённости магнитного поля. Известно, что напряженность обратного поля, доводящая магнитную индукцию до нуля, называется коэрцитивной силой.

Недостатком известного фильтра является то, что после установки фильтра на забой, пространство между магнитами – центраторами заполняется частицами продуктивного пласта. Фильтр становится не извлекаемым, кроме того, диаметральные размеры (внутренний и наружный диаметры кольцевого магнита) приводят к необходимости уменьшить диаметр трубы скважинного фильтра по отношению к диаметру пробуренной скважины, что приводит к уменьшению поверхности фильтрации и в конечном итоге, приводит к уменьшению его производительности. Выполненные расчеты показывают, что в зависимости от коэрцитивной силы, напряженности магнитного поля, размеров (ширины) и расстояния между кольцевыми магнитами, они (магниты) могут перекрывать до 30 % полезной площади фильтра что, дополнительно приводит к уменьшению его производительности.

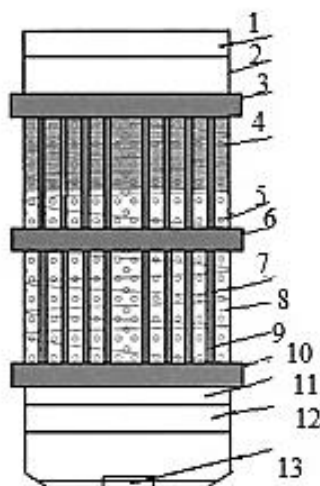


Рис. 2.1 Самоочищающийся скважинный фильтр:

1 – переводник под обсадную колонну; 2 – полиэтиленовая или пропиленовая труба; 3,6,10 – кольцевые магниты; 4 – фильтрующая обмотка из капронового, нейлонового шнура или синтетической тканевой сетки; 5 – немагнитная фильтровая труба; 7 – витки капронового или нейлонового шнура; 8 – перфорационные отверстия; 9 – опорные не магнитные стержни; 11 – переводник под промывочный клапан; 12 – отстойник фильтра; 13 – промывочный клапан.

Экспериментальные исследования по выбору оптимальной конструкции самоочищающегося фильтра были выполнены в лабораторных условиях на установке (рис. 2.2). Обработка воды осуществлялась использованием постоянных магнитов с напряженностью магнитного поля от 200 кА/м. Оптимальным оказалось постоянное магнитное поле равное 320 кА/м.

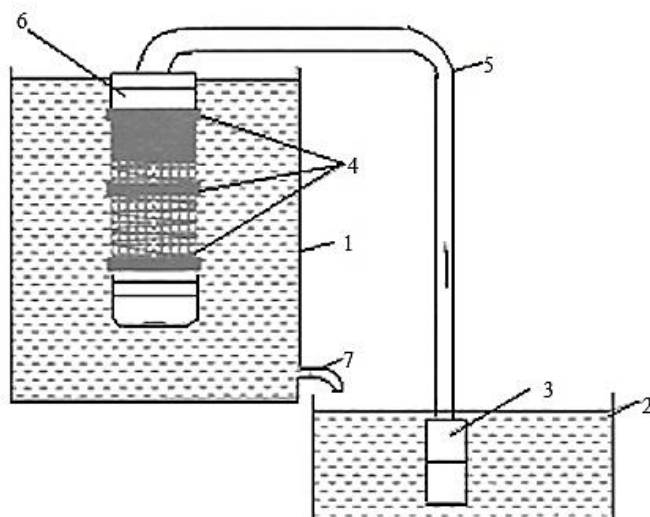


Рис. 2.2 Лабораторно-экспериментальная установка:

1, 2 – емкости для воды; 3 – электрический насос; 4 – кольцевые постоянные магниты; 5 – нагнетательный шланг; 6 – самоочищающийся фильтр; 7 – кран для слива

Лабораторно-экспериментальные работы позволили создать конструкцию самоочищающегося скважинного фильтра не связанного с источником электропитания, простого в эксплуатации, не подверженного кольматации, сохраняющего постоянно высокий удельный дебит.

Отсутствие кольматации бикарбонатами кальция и магния достигается 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 снабжён 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.

На рис. 2.3 представлен общий вид скважинного фильтра. Скважинный самоочищающийся фильтр, включающий выполненные из немагнитного материала каркас 1 с отверстиями 2 и кольцевыми постоянными магнитами 6, установленными на расстоянии друг от друга, фильтровую рубашку в виде автономных секций

с обмоткой 8, прокладочными элементами в виде опорных стержней 11 и соединительных элементов, выполненных в виде верхнего 7 и нижнего 4 переводника, причем верхний переводник 7 выполнен как лево-правый, обмотка фильтровой рубашки 8 каркаса 1 образована внутренним 12 и внешним слоями в виде немагнитного капронового шнура трапецеидального или волнового профиля, внутренний слой 12 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, в нижней части фильтра расположен отстойник 5, соединенный с нижним переводником 4 и промывочным клапаном 3, расстояние между кольцевыми постоянными магнитами 6 определяют в зависимости от коэрцитивной силы и напряженности магнитного поля, а витки немагнитного капронового шнура внешнего слоя обмотки уложенного на каркас 1 меньшим основанием трапецевидного профиля. Фильтр дополнительно снабжён несущим немагнитным стержнем 10, расположенным внутри и соосно с каркасом 1, на несущем немагнитном стержне 10 размещены кольцевые постоянные магниты 6, между которыми расположены проставки 9 из немагнитного материала.

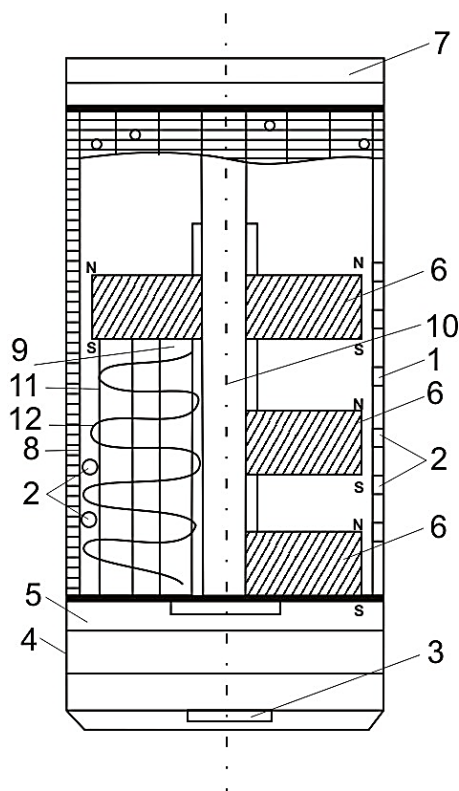


Рис. 2.3. Самоочищающийся скважинный фильтр

Элементы скважинного фильтра выполнены из немагнитных материалов: перфорированная полиэтиленовая или пропиленовая труба, опорные немагнитные стержни, капроновый или нейлоновый шнур. Внешним фильтрующим элементом может быть синтетическая тканевая сетка или плотно намотанный немагнитный шнур. На перфорированный каркас монтируются кольцевые постоянные магниты на расстоянии друг от друга, зависящем от диаметра фильтра, коэрцитивной силы и напряженности магнитного поля.

Работает скважинный фильтр следующим образом: вода проходит через отверстия 2 немагнитного каркаса 1 и омагничивается кольцевыми постоянными магнитами 3. При пересечении водой магнитных силовых линий катионы солей жесткости выделяются не на поверхности фильтра, а в массе воды уже прошедшей фильтр, т.е. зарастание фильтрующей поверхности фильтра не происходит.

Механизм образования зародышевых кристаллов под действием магнитного поля происходит следующим образом. Магнитное поле оказывает на диполи воды ориентационно-поляризующее действие, в результате чего происходит изменение структуры воды, заключающееся в изменении вида связи диполей воды между собой; возникает двойная водородная связь вместо одинарной.

В процессе работы гидрогеологических скважин происходит снижение их удельного дебита в результате процессов механического, биологического и химического коьматажа. Наиболее отрицательное влияние на надежность и долговечность водозаборных скважин оказывает химический коьматант, который проявляется в заполнении порового пространства прифилтровой зоны, фильтра, водоподъемного оборудования и элементов погружных насосов нерастворимыми в воде оксидами и гидрооксидами различных металлов (Ca, Mg, Fe, Mn, As и др.)

Следствием этого является сближение гидратированных ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} и образование соответствующих сочетаний ионов, а в дальнейшем – молекул. Ионы Ca^{2+} и CO_3^{2-} , находящиеся в растворе, присоединяются к этим зародышевым молекулам, образуются местные уплотнения – пересыщения, которые в конечном итоге становятся центрами кристаллизации. Выпадение коьматантов на фильтрах гидрогеологических скважин связано с нарушением химического равновесия в пласте

и проходит при отборе подземных вод. Нарушение химического равновесия определяется десорбцией свободной углекислоты вследствие изменения ее парциального давления. Как правило, 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. Устранить отложения кольматанта, повысить удельный дебит скважин и интенсифицировать процесс отбора воды через фильтр гидрогеологических скважин возможно за счет предложенной конструкции скважинного фильтра.

Вышеописанный фильтр (см. рис. 2.3) имеет недостатки. Расположенные внутри постоянные магниты способствуют омагничиванию, но качество омагничивания не очень высокое. На конструкцию данного фильтра получен патент RU № 2685514. Задачей изобретения более эффективного фильтра является создание скважинного фильтра с самоочисткой, простого в эксплуатации, не связанного с источником электропитания и имеющего максимальный удельный дебит. При этом должен быть 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 скважинный самоочищающийся 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. Скважинный самоочищающийся фильтр представлен на рис.2.4 [54].

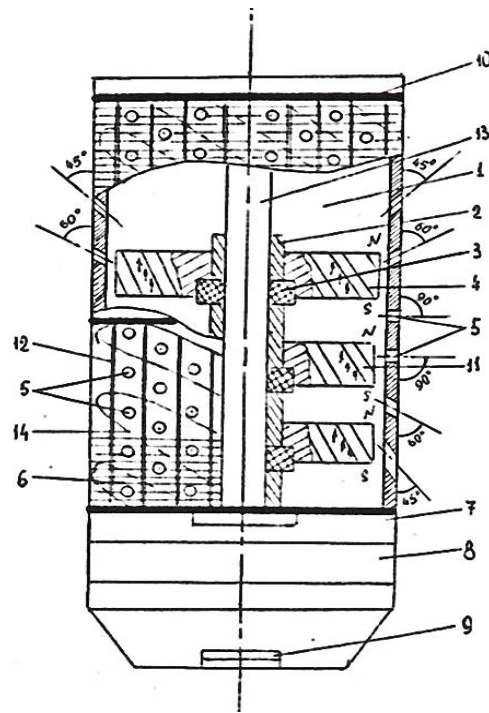


Рис. 2.4. Скважинный самоочищающийся фильтр:

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

Внутренний слой обмотки образован витками, расположенными на расстоянии друг от друга, внешний слой обмотки образован витками, плотно расположенными друг к другу, или синтетической тканевой сеткой, 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 перфорированный каркас меньшим основанием трапецевидного профиля, фильтр дополнительно снабжен несущим немагнитным стержнем, расположенным внутри и соосно каркасу, на несущем немагнитном стержне расположены распорная втулка из немагнитного материала и опора скольжения, на которые насажены кольцевые постоянные магниты выполненные вращающимися с наклонными ребрами, отверстия каркаса выполнены под углом,

ось симметрии отверстий образует острый угол с осью вертикально установленного фильтра изменяющийся от 60° в нижней части до 20° в верхней части фильтра.

На рис. 2.5 показана схема формирования силы F от восходящего потока жидкости.

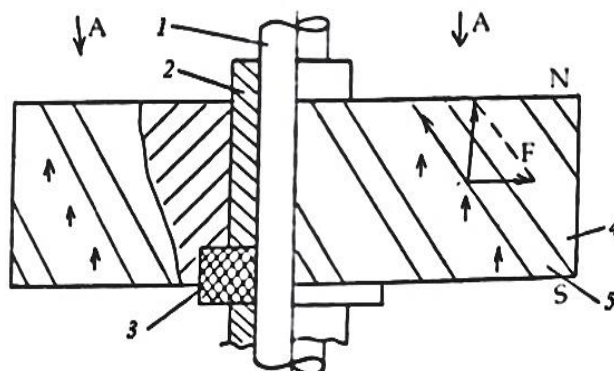


Рис. 2.5. Схема формирования силы F от восходящего потока жидкости:

1 – несущий немагнитный стержень; 2 – распорная втулка; 3 – опора скольжения типа «Маслянит»; 4 – вращающиеся магниты; 5 – наклонные ребра вращающихся магнитов

На рис. 2.6 показана схема формирования крутящего момента, поворачивающего ребристый магнит.

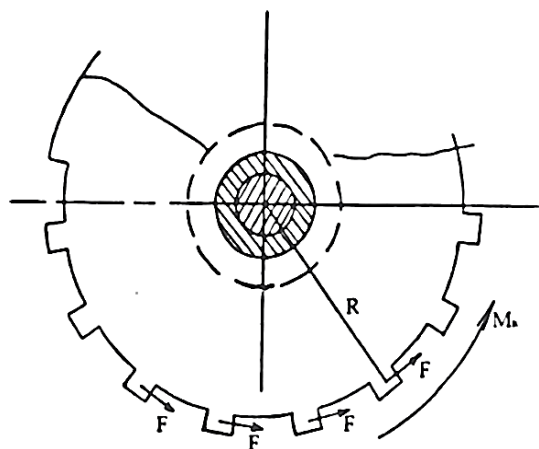


Рис. 2.6. Схема формирования крутящего момента, поворачивающего ребристый магнит

Самоочищающийся скважинный фильтр (см. рис. 2.4), включающий выполненные из немагнитного материала каркас 1 с отверстиями 5 и кольцевыми постоянными магнитами 4, установленными на расстоянии друг от друга, фильтровую рубашку в виде автономных секций с обмоткой 6, прокладочными элементами в виде опорных стержней 12 и соединительных элементов, выполненных в виде верхнего 10 и нижнего 7 переводника, причем верхний переводник 7 выполнен как

лево-правый, обмотка фильтровой рубашки 6 каркаса 1 образована внутренним 14 и внешним 6 слоями в виде немагнитного капронового шнура трапецеидального или волнового профиля, внутренний слой 14 обмотки образован витками, расположенными на расстоянии друг от друга, внешний слой 6 обмотки, образован витками плотно расположенными друг к другу или в виде синтетической тканевой сетки, в нижней части фильтра расположен отстойник 8, соединенный с нижним переводником 7 и промывочным клапаном 9, расстояние между кольцевыми постоянными магнитами 4 определяют в зависимости от коэрцитивной силы и напряженности магнитного поля, а витки немагнитного капронового шнура внешнего слоя 6 обмотки уложенного на каркас 1 меньшим основанием трапецевидного профиля. Фильтр дополнительно снабжён несущим немагнитным стержнем 13, расположенным внутри и соосно каркасу 1. На несущем немагнитном стержне 13 расположены распорная втулка 2 из немагнитного материала и опора скольжения 3, на которые насажены кольцевые постоянные магниты 4, выполненные вращающимися с наклонными ребрами 11, отверстия 5 каркаса 1 выполнены под углом, ось симметрии отверстий 5 образует угол с осью вертикально установленного фильтра и изменяющийся от 60° в нижней части до 20° в верхней части фильтра.

Элементы скважинного самоочищающегося фильтра выполнены из немагнитных материалов: фильтровые трубы на основе сплавов из алюминия, бронзы, латуни, перфорированная полиэтиленовая или пропиленовая труба, опорные немагнитные стержни, капроновый или нейлоновый шнур. Внешним фильтрующим элементом может быть синтетическая тканевая сетка или плотно намотанный капроновый шнур.

Снижение гидростатического сопротивления потока жидкости, происходит за счёт того, что немагнитный каркас имеет отверстия, расположенные под углом, причем ось симметрии щелей образует острый угол с осью вертикально установленного фильтра, а угол наклона отверстий изменяется пропорционально от 45° до 90° в нижней части и зеркально от 90° до 45° в верхней части фильтра. Моделирование гидравлического потока струями окрашенной жидкости позволило установить именно эти углы подхода и выхода жидкости к отверстиям в момент откачки

воды из фильтра. Постоянные магниты расположены внутри фильтра с наклонными ребрами и выполнены вращающимися с опорой скольжения из материала типа «Маслянит». На конструкцию данного фильтра получен патент RU № 2681773.

Работает скважинный фильтр следующим образом. При работе откачивающего насоса жидкость проходит через отверстия 5 в каркасе 1 из немагнитного материала и омагничивается кольцевыми постоянными магнитами 4. При пересечении водой магнитных силовых линий постоянных магнитов 4 катионы солей жесткости выделяются не на поверхности фильтровой рубашки 6, а в массе воды уже прошедшей её за счет того, что магнитное поле поляризует молекулы катионов солей жесткости, содержащиеся в воде, расщепляет их на ионы. Положительно заряженные ионы не соединяются снова в молекулы кальцита, они образуют более пористое соединение арагонит, который легко разрушается и вымывается с потоком воды из внутреннего объема фильтра.

Нарушение химического равновесия определяется десорбцией свободной углекислоты вследствие изменения ее парциального давления. Как правило, кольматант многокомпонентный, в его составе присутствует кальцит $\text{Ca}(\text{CO}_3)$, содержит $\text{Fe}(\text{CO}_3)$, магнезит $\text{Mg}(\text{CO}_3)$, пирит FeS_2 , пиролюзит MnO_2 и другие труднорастворимые соединения, которые забивают фильтровую рубашку и скважины выходят из строя. Устранить отложения кольматанта, повысить удельный дебит скважин и интенсифицировать процесс отбора воды через фильтр гидрогеологических скважин возможно за счет предложенной конструкции скважинного фильтра, то есть воздействовать на катионы солей жесткости постоянным магнитным полем.

Вода, двигаясь вверх внутри фильтра, проходя через кольцевые постоянные магниты, перемагничивается столько раз, сколько магнитов смонтировано внутри фильтра. Постоянное магнитное поле изменяет распределение электронных облаков ионов и поляризует электронные облака молекул воды. При этом изменяется энергия взаимодействия ионов с ближайшими молекулами воды, происходит их поляризация, что приводит к изменению структуры воды в целом и, как результат, отложения кольматанта на фильтрующей поверхности фильтра не происходит.

Вращающееся медленно постоянное знакопеременное магнитное поле создает воздействие на жидкость и тем самым усиливается эффект омагничивания.

Скважинный самоочищающийся 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 перфорированного каркаса образована внутренним и внешним слоями в виде немагнитного капронового шнура трапецеидального или волнового профиля, внешнего 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 внешнего слоя обмотки уложены на каркас меньшим основанием трапецевидного профиля, отличающийся тем, что фильтр дополнительно снабжён несущим немагнитным стержнем, расположенным внутри и соосно каркасу, на несущем немагнитном стержне расположены распорная втулка из немагнитного материала и опора скольжения, на которые насажены кольцевые постоянные магниты, выполненные 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) [69].

Эффективность омагничивания воды, как принято в настоящее время считать, объясняется преимущественно воздействием силы Лоренца на ионы, поляризованные молекулы и коллоидные частицы, которое приводит к определенным структурным изменениям раствора. Как установлено авторами, на плотность силы Лоренца может

оказывать существенное влияние ряд факторов, в числе которых пространственное распределение магнитной индукции, форма-фактор (геометрические размеры), концентрация и подвижность ионов и коллоидных частиц, профиль скоростей в немагнитной трубе, магнитные свойства раствора и окружающей среды.

Выполненные экспериментальные исследования позволили получить следующие результаты:

1. На уровне изобретений разработаны скважинные самоочищающиеся фильтры.
2. Разработан самоочищающийся скважинный фильтр, на котором смонтированы вращающиеся постоянные магниты (патент RU № 2681773).
3. Экспериментально, в лабораторных условиях, доказано, что предлагаемые фильтры не подвержены кольматации.
4. Работы по оптимизации конструкции фильтров являются актуальными и их необходимо продолжить.

2.3. Экспериментальные исследования работы фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин

Магнитную обработку водных систем (воды, растворов и суспензий) в последние годы широко используют для совершенствования множества технологических и биологических процессов, что обусловлено огромной ролью, которую играют водные системы в различных областях человеческой деятельности.

Влияние магнитного поля на людей, животных, растения и химические реакции исследовались ещё в глубокой древности. В наше время это привело к возникновению и развитию таких научных направлений, как магнитохимия, магнитная биология и др.

В 30-х годах прошлого столетия Пиккарди впервые отметил связь между активностью Солнца и некоторыми изменениями свойств воды. В 1945 г бельгиец Вермайрен запатентовал применение магнитной обработки воды для уменьшения образования накипи (патент № 460560)

Начиная с 1950 г в печати появились многочисленные описания конструк-

ций магнитных и электромагнитных аппаратов, сообщения об их работе, результатах лабораторных исследований в связи с постановкой тех или иных технических задач. Были предложены методы индикации и контроля магнитной обработки. В публикациях нередко содержатся противоречивые данные, необоснованные выводы и утверждения о сущности метода и его возможностях. По мере накопления опытных данных случайные результаты становятся всё более редкими, а магнитная обработка прочно входит в промышленную практику. Положительные результаты магнитной обработки воды были достигнуты в нашей стране в начале 70-х годов XX столетия исследованиями В.И. Классена и других [37].

Многочисленными работами российских исследователей было установлено, что воздействие магнитного поля на воду носит комплексный многофакторный характер и в итоге приводит к изменениям в структуре воды, физико-химических свойствах и поведении растворенных в ней примесей, хотя сущность этих явлений окончательно не выяснена.

В настоящее время существует несколько гипотез, объясняющих механизм воздействия магнитного поля на воду. Первая заключается в формировании под действием магнитного поля центров фазовых превращений примесей, что способствует их дальнейшей седиментации. Вторая объясняет действие магнитного поля поляризацией и деформацией гидратных оболочек ионов растворенных в воде соединений, что ведет к снижению гидратации и повышению возможности сближения и агрегации. Третья предполагает, что магнитное поле оказывает воздействие непосредственно на структуру ассоциатов воды, деформации водородных связей, дробление ассоциатов-кластеров, повышая мобильность растворенных в воде ионов и коллоидов, что в свою очередь влечет за собой изменение характера всего комплекса протекающих в воде физико-химических процессов.

Физическое воздействие магнитного поля на структуру воды и катионы солей жесткости открывает широкие возможности для использования магнитной обработки воды. Магнитная обработка воды широко применяется уже много лет в различных отраслях промышленности, сельском хозяйстве и медицине. Большие перспективы использования магнитной обработки и в водоподготовке для умягчения

воды, поскольку ускорение процесса кристаллизации накипеобразующих солей в воде при магнитной обработке, приводит к значительному уменьшению концентраций растворенных в воде катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} за счет процесса кристаллизации и уменьшения размеров кристаллов, осаждающихся из нагреваемой воды, подвергнутой магнитной обработке. Для удаления из воды трудно осаждаемых тонких взвесей (мути) используется способность омагниченной воды ускорять коагуляцию (слипание и осаждение) взвешенных частиц с последующим образованием мелкодисперстного осадка, что способствует извлечению из воды разного рода взвесей. Омагничивание воды может применяться на водопроводных станциях при значительной мутности природных вод; аналогичная магнитная обработка промышленных стоков позволяет достаточно быстро и эффективно осаждать мелкодисперсные загрязнения [37].

Магнитная обработка воды помогает не только предотвращать выпадение накипеобразующих солей из воды, но и значительно уменьшать отложения органических веществ, например, парафинов. Такая обработка оказывается полезной в нефтедобывающей промышленности при добыче высокопарафиновой нефти, причем эффекты магнитного поля возрастают, если нефть содержит воду. Наиболее востребованной и эффективной магнитная обработка воды оказалась в теплообменных устройствах и системах, чувствительных к накипи – в виде образующихся на внутренних стенках труб паровых котлов, теплообменников и других теплообменных аппаратов твёрдых отложений гидрокарбонатных (углекислые соли кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ при нагреве воды разлагающиеся на CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ с выделением (CO_2) , сульфатных (CaSO_4 , MgSO_4), хлоридных (MgSO_4 , MgCl_2) и в меньшей мере силикатных (SiO_3^{2-}) солей кальция, магния и железа.

В конструкциях магнитных аппаратов применяются постоянные магниты на основе современных порошкообразных носителей – сплавов редкоземельных металлов неодима (Nd), железа (Fe), титана (Ti) и бора (B). Магниты из редкоземельных сплавов обладают большим сроком эксплуатации более 30 лет, намагниченностью 1500–2400 кА/м, остаточной индукцией 1,2–1,3 Тл, энергией магнитного поля 280–320 кД/м³ и не теряют своих свойств при нагреве до 180°C и выше.

Основные факторы, проявляющиеся при магнитной обработке жидкости, следующие: 1) напряжённость магнитного поля в рабочем зазоре аппарата; 2) мощность магнитного потока в рабочем зазоре; 3) свободная магнитная энергия, действующая в рабочем зазоре; 4) топография магнитного поля; 5) характер магнитного поля; 6) полярность магнитного поля по отношению к обрабатываемой воде; 7) кратность воздействия магнитного поля на раствор; 8) скорость пересечения раствором магнитного потока; 9) время нахождения раствора в магнитном поле при той или иной скорости; 10) магнитная восприимчивость веществ, входящих в раствор.

В настоящее время известно несколько сотен конструкций различных фильтров, которые выполняют свое основное назначение – фильтруют жидкость, но при этом – через некоторый промежуток времени теряют свою пропускную способность, то есть колюматируются. Фильтры геологических скважин Ростовской области в 90 % случаев колюматируются катионами солей жесткости кальциево-карбонатного класса.

Альтернативным способом борьбы с отложениями бикарбонатов кальция и магния является магнитная обработка воды. Элементарной частицей магнетизма считают магнитный диполь – систему из двух равных по величине и обратных по знаку зарядов. Основным показателем магнитной обработки воды является вектор B , который называется магнитной индукцией или плотностью магнитного потока [118]:

$$B = H + 4\pi j, \text{ Вб} \quad (2.7)$$

откуда магнитная проницаемость равна:

$$\mu = \frac{B}{H} = 1 + 4\pi x, \text{ Э} \quad (2.8)$$

где: μ – магнитная проницаемость, Э; B – магнитная индукция, Вб; H – напряженность магнитного поля, Э; x – магнитная восприимчивость, Э; j – намагниченность, Э.

Дисперсные частицы обладают электрической дипольной структурой, возникающей в результате спонтанной униполярной ориентации адсорбированных на их

поверхности единичных полей (например, H_2O , OH^- и других) или вследствие ориентации полярных групп самого вещества частиц. В связи с этим необходимо отметить существование спонтанной поляризации при омагничивании воды. Диполи в обычных условиях, по-видимому, нейтрализованы контрдиполями, при нарушении которых и проявляются дипольные силы.

Представленная выше краткая характеристика сил, действие которых может определять структурообразование в воде указывает на множественность и их сложную природу. Соотношение между силами притяжения и отталкивания частиц представляет собой структуру воды, в том числе время существования магнетизма.

Необходимо отметить, что особое место в ряду структурных изменений воды занимает структурообразование под действием сил дипольного взаимодействия частиц. Дипольные силы действуют на расстоянии порядка размера частиц, то есть являются более дальнедействующими, чем поверхностные силы молекулярные, силы расклинивающего давления и адсорбционно-сольватного слоя. Энергия дипольного взаимодействия определяется величиной дипольного момента частиц.

Не меньшее значение, чем природа парамагнитного раствора, имеет размер частиц. Это связано с доменной структурой магнитных веществ. При достаточно малом размере частица становится единичным доменом, то есть постоянным магнитным диполем. Величина постоянного магнитного момента однодоменной частицы $\bar{m}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{кА}$) равна:

$$\bar{m} = VM, \quad (2.9)$$

где V – объем воды; M – намагниченность насыщения парамагнитного раствора (воды).

Ориентация магнитных моментов частиц (диполей) воды при действии внешнего поля, а также намагничивание многодоменных частиц приводит к намагничиванию дисперсной системы в целом. Величина намагниченности $J = \bar{m} \cdot n$ зависит от размера и концентрации частицы n , их доменной структуры и структурно-механических свойств среды.

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

Эффективность омагничивания воды, как принято в настоящее время считать, объясняется преимущественно воздействием силы Лоренца на ионы, поляризованные молекулы и коллоидные частицы, которых приводит к определенным структурным изменениям раствора. Как установлено, на плотность силы Лоренца могут оказывать существенное влияние ряд факторов, в числе которых пространственное распределение магнитной индукции, форма-фактор (геометрические размеры), концентрация и подвижность ионов и коллоидных частиц, профиль скоростей жидкости в фильтре, магнитные свойства раствора и окружающей среды.

Выпадение осадков на фильтрах гидрогеологических скважин связано с нарушением химического равновесия в пласте и проходит при отборе подземных вод. Нарушение химического равновесия определяется десорбцией свободной углекислоты вследствие изменения ее парциального давления. Как правило, 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.

С целью оптимизации конструкции фильтра и его намагничивающей системы были выполнены опытно-экспериментальные работы с использованием фильтра (рис. 2.7) на конструкцию которого получен патент (RU 2681773).

Геометрические размеры намагничивающей системы, состоящей из постоянных магнитов (ПМ), обеспечивающих создание напряженности магнитного поля в воде, находящейся в трубе из немагнитного материала, не менее $H_1 \geq 1100 \text{ Э} \approx 87,5 \text{ кА/м}$, $H_2 \geq 2200 \text{ Э} \approx 175 \text{ кА/м}$; при диаметре фильтровой трубы: $d = 219 \text{ мм}$; и ограниченных размерах сечения ПМ: не более 70 мм ($a \leq 70 \text{ мм}$, $b \leq 70 \text{ мм}$ показаны на рис. 2.8) [66].

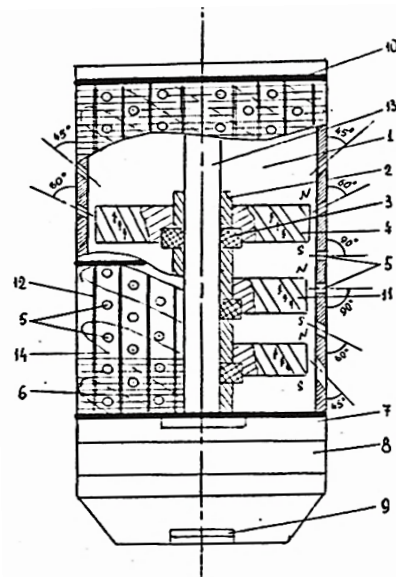


Рис. 2.7. Скважинный самоочищающийся фильтр

1 – каркас фильтра, 2 – распорная втулка, 3 – опора скольжения, 4 – кольцевые постоянные магниты, 5 – отверстия в фильтре, 6 – внешний слой обмотки, 7 – нижний переводник, 8 – отстойник, 9 – промывочный клапан, 10 – верхний переводник, 11 – наклонные ребра, 12 – опорные стержни, 13 – несущий немагнитный стержень, 14 – внутренний слой обмотки

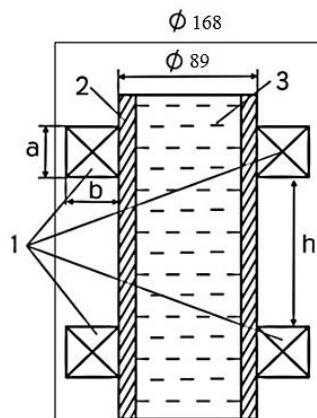


Рис. 2.8. Схема намагничивающей системы:

1 – постоянные магниты (ПМ), 2 – полихлорвиниловая труба;
3 – раствор реагента

С целью решения поставленной задачи используем путь имитационного моделирования на основе метода конечных элементов (МКЭ). Практически все современные расчёты электромагнитных полей проводят, используя МКЭ.

При выборе системы расчета следует руководствоваться априорной информацией о степени распространения магнитного поля по осям модели и приемлемой

точностью расчета. Исходя из того, что необходимо рассмотреть различные варианты намагничивания постоянными магнитами принято решение использовать трехмерную модель

В результате анализа существующих типов магнитов и предварительного моделирования, в качестве основы намагничивающей системы выбрана конструкция ПМ, имеющего четыре полюса. При выборе расположения полюсов двух магнитов, размещенных друг над другом, учитывалась необходимость обеспечения их взаимодействия для создания магнитного поля в растворе, находящейся не только во внутреннем диаметре ПМ, но и в той области трубы, где магниты отсутствуют (рис. 2.9). Пунктиром на рис. 2.9 показаны линии магнитного потока, замыкающиеся между полюсами ПМ.

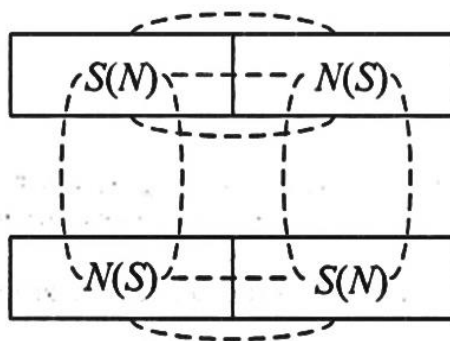


Рис. 2.9. Схема относительного расположения полюсов

На основании анализа литературных источников [73], а также предварительного моделирования сделан вывод, что чем больше размер поперечного сечения кольцевого ПМ, тем большее значение напряженности магнитного поля H будет достигнуто в его окружении. Таким образом, получены размеры поперечного сечения, максимально допустимый согласно наложенным ограничениям: $a = 70$ мм, $b = 70$ мм.

При моделировании рассматривались два варианта материалов ПМ.

1. Магниты NdFeB (неодим-железо-бор) – редкоземельные магниты, отличающиеся высокими магнитными свойствами и низкой стоимостью. К недостаткам магнитов NdFeB относятся: относительно высокая температурная нестабильность,

сильная подверженность коррозии. Для устранения последнего постоянные магниты неодим-железо-бор покрывают цинком, никелем, медью или комбинацией этих материалов.

2. Магниты на основе сплавов SmCo (самарий-кобальт) обладают комбинацией чрезвычайно высоких магнитных свойств: высокие значения остаточной магнитной индукции, коэрцитивной силы, а также высокая температурная стабильность и устойчивость к процессам коррозии. Недостатками магнитов SmCo являются их высокая стоимость и хрупкость.

В частности, рассматривались сплавы NdFeB и SmCo28 из стандартной библиотеки материалов. Основным отличительным параметром данных сплавов при моделировании магнитных полей является напряженность, которая может достигать 890 кА/м соответственно.

В табл. 2.1 показаны результаты расчета напряженности магнитного поля в центральном сечении потока воды в трубе $H_{ц}$ в зависимости от расстояния между ПМ h . При моделировании в качестве материала ПМ использовался сплав NdFeB.[73] Сечение ПМ: $a = 70$ мм, $b = 70$ мм (см. рис. 2.9). Напряженность $H_{ц}$ рассчитывалась как интеграл векторов напряженности пересекающих сечение потока воды плоскостью XY, деленный на площадь сечения $S = \frac{\pi D^2}{4}$. Замеры выполняли с помощью веберметра ($1_{\text{эрстед}} = 79,6$ А/м)

Таблица 2.1 Результаты расчета напряженности магнитного поля $H_{ц}$

№ п/п	h , мм	$H_{ц}$, кА/м	$H_{ц}$, Э
1	50	320	4020
2	100	175	2198
3	150	100	1256
4	200	55	691
5	250	35	440
6	300	20	251

В лабораторных условиях были выполнены исследования, показывающие зависимость коэффициента эффективности магнитной обработки ($K_{эм}$) от напряженности магнитного поля фильтра (рис. 2.10)

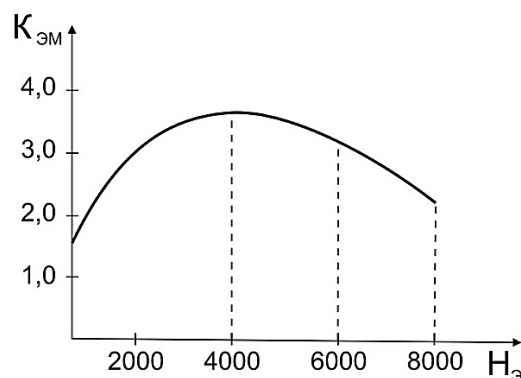


Рис.2.10 Зависимость коэффициента магнитной обработки от напряженности магнитного поля фильтра.

Учитывая то, что эффективность магнитной обработки имеет определенные интервалы, то есть максимум имеет вид горба, этим, возможно, и объясняется разноречивые данные по эффективности данной обработки у разных авторов. График показывает, что существует некоторый сравнительно узкий интервал значения напряженности магнитного поля, в котором улучшается эффективность обработки, за этим интервалом эффективность резко снижается.

На основании анализа литературных источников [73], а также предварительного моделирования сделан вывод, что чем больше размер поперечного сечения кольцевого постоянного магнита, тем больше значение напряженности магнитного поля необходимо будет достигнуть в его окружении [61, 66].

При конструировании устройства для омагничивания наиболее приемлемым является два варианта материалов постоянных магнитов:

1. Магниты NdFeB (неодим-железо-бор) – редкоземельные магниты, отличающиеся высокими магнитными свойствами и низкой стоимостью. К недостаткам магнитов NdFeB относятся: относительная высокая температура, нестабильность, сильная подверженность коррозии. Для устранения последнего постоянные магниты неодим-железо-бор покрывают цинком, никелем, медью или комбинацией этих материалов.

2. Магниты на основе сплавов SmCo28 (самарий-кольбат) обладают комбинацией чрезвычайно высоких магнитных свойств: высокие значения остаются точной магнитной индукции, коэрцитивной силы, а также высокой температурной стабильностью и устойчивостью к процессам коррозии. Недостатками магнитов

SmCo28 являются их высокая стоимость и хрупкость.

В частности, рассматривались сплавы NdFeB и SmCo28 из стандартной библиотеки материалов. Основным отличительным параметром данных сплавов при моделировании магнитных полей является намагниченность. Для NdFeB она составляет 890 кА/м, для SmCo28 – 820 кА/м.

С целью определения влияния входящей скорости жидкости в фильтр на уменьшение интенсивности отложения кольматанта в лабораторных условиях были выполнены эксперименты, при этом жесткость воды составляла 7,0 мГ-экв/л, использовались два прибора с постоянными магнитами напряженностью 2200 Э каждый [62, 66].

Существенное влияние на изменение структуры раствора при движении жидкости в магнитном поле играют силы, действующие со стороны внешнего магнитного поля на заряженные частицы-ионы. Под влиянием этих сил траектории движения гидратированных ионов в области воздействия поля изменяются.

Сила f , действующая на заряженную частицу, определяется соотношением

$$f = KevH \sin \alpha, \quad (2.10)$$

где: K – коэффициент пропорциональности; e – заряд частицы; v – скорость движения частицы (потока жидкости); H – напряженность магнитного поля; α – угол между направлением движения потока и направлением поля.

Из уравнения следует, что воздействие поля на заряженную частицу максимально при движении потока жидкости в направлении, перпендикулярном полю. Эффект воздействия постоянного магнитного поля на ионы, их гидратацию, структуру жидкости, физико-химические свойства и уменьшение отложения кольматанта на фильтрах согласно уравнению (2.9) должен возрастать при увеличении скорости жидкости в фильтре. Однако, как показывают данные экспериментов (рис. 2.11), возрастание влияния магнитной обработки на уменьшение отложения кольматанта при увеличении входящей скорости жидкости наблюдается лишь до определенных значений (0,4 м/с), в постоянном магнитном поле при увеличении скорости входной скорости потока жидкости выше некоторых оптимальных значе-

ний, по-видимому, обусловлено малым временем пребывания жидкости в зоне воздействия постоянным магнитным полем, вследствие чего перестройка структуры под действием магнитного поля не успевает завершиться.

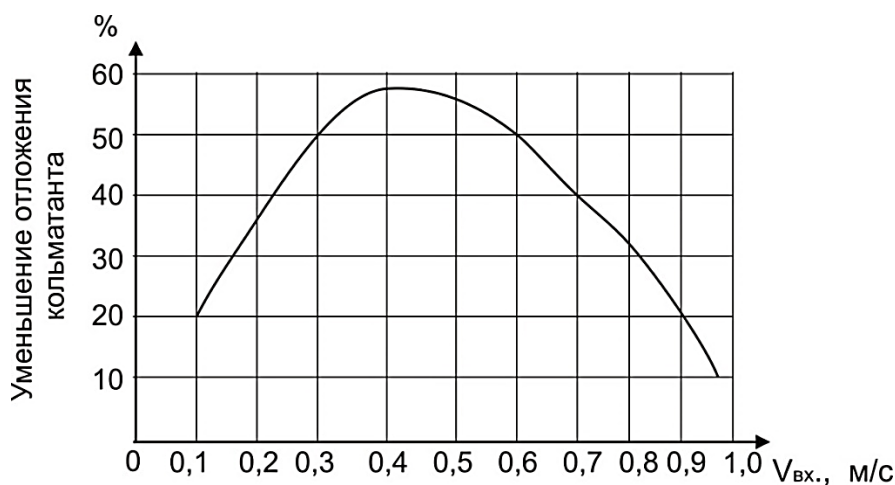


Рис. 2.11. Влияние входящей скорости жидкости в фильтр на уменьшение интенсивности отложения кольматанта

Было также установлено, что оптимальные значения входящих скоростей жидкости в фильтр возрастают при увеличении напряженности, количества общей протяженности магнитных полей чередующейся противоположной направленности. С учетом этих экспериментальных данных в дальнейшем был спроектирован и изготовлен новый самоочищающийся фильтр и подана заявка на изобретение.

Выполненные экспериментальные исследования, для условий Ростовской области, эксплуатирующей, в основном, мелко-тонкозернистые пески, позволили установить влияние интенсивности отложения кольматанта от входной скорости жидкости в фильтр, которая является оптимальной в интервале от 0,4 м/с до 0,5 м/с. Меньшие и большие входные скорости при откачке воды повышают степень отложения кольматанта на сетке и корпусе фильтра [62, 66].

Как показывают выполненные экспериментальные исследования, время «памяти», обработанной в магнитном поле воды и характер релаксационной зависимости имеют плавную, затухающую во времени кривую. Время релаксации определено опытным путем и составляет 20 часов. Опыты производились на аппарате с постоянными магнитами при напряженности 5 тыс. эрстед в течении 20 минут. За-

зависимость времени релаксации от эффективности магнитной обработки воды показана на рис. 2.12.

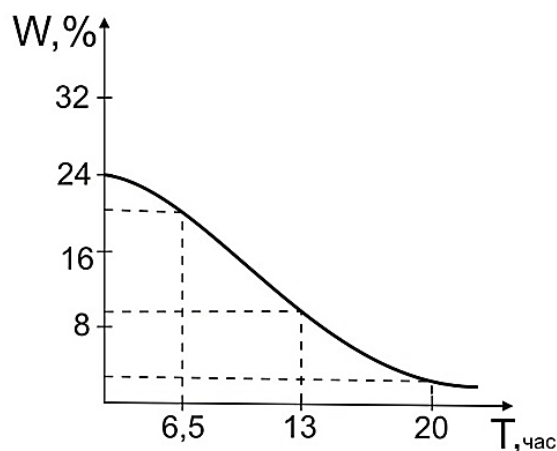


Рис. 2.12 Зависимость эффективности магнитной обработки откачиваемой из скважины воды от времени релаксации при температуре 18⁰С

Расчет эффективности выполнялся по формуле:

$$W = \frac{B - B_1}{B_1} \cdot 100\%, \quad (2.11)$$

где: W – эффективность обработки, %, B и B_1 – соответственно напряженность воды до и после магнитной обработки (Вб).

Анализируя экспоненциальную кривую (см. рис. 2.12) можно сделать вывод – время «памяти» воды, обработанной в магнитном поле, довольно значительно и измеряется порядком 20 часов. Это указывает на то, что с течением времени эффективность предварительной обработки в магнитном поле будет все время уменьшаться и через некоторое время исчезнет совсем. Время существования аномальных свойств обработанной, магнитным полем откачиваемый из скважины воды (время «памяти» или время релаксации) является чрезвычайно важным, особенно при практическом использовании, при этом, в течении 20 часов, из общей массы воды бикарбонаты магния и кальция на выпадают в осадок в виде кольмантанта.

Явление «памяти» при магнитном воздействии на воду может быть рассмотрено с квантово-механической точки зрения. «Память» связана с упорядочением

дипольных моментов и образованием новых связей. То есть проявляется новый механизм воздействия на воду.

Время «памяти» воды, прошедшей магнитную обработку, по всей вероятности, связано с диффузией в растворе искусственных флуктуаций концентраций, созданных магнитным полем.

Восприимчивость парамагнетиков заметно зависит от температуры и подчиняется закону Кюри-Вейса:

$$X = \frac{C}{T - \Delta'}, \quad (2.12)$$

где C – постоянная Кюри; T – Абсолютная температура; Δ' – постоянная Вейса.

Релаксационная кривая (см. рис. 2.12) показывает, что с увеличением температуры магнитная эффективность воды, а, следовательно, и ее восприимчивость, уменьшается. Температура воды при омагничивании существенно сказывается на эффективности его магнитной обработки. При низких температурах эффект от магнитной обработки выражается более ярко, чем при высоких температурах, при прочих равных условиях. Это явление, очевидно, можно связать с температурными флуктуациями противоионов.

Выполненными экспериментальными исследованиями установлено, что максимум магнитной восприимчивости, после магнитной обработки, наступает у растворов слабой концентрации раньше, чем концентрированных. Дистиллированная вода, после магнитной обработки, сохраняет свойства в течение 3–5 мин. Это обстоятельство может явиться в дальнейшем основанием для одного из возможных путей стабилизации эффективности магнитной обработки и увеличения времени действия эффекта от омагничивания.

Эффекты магнитной обработки обнаруживают стабильность течение нескольких часов - факт поразительной и необъяснимой с точки зрения квазикристаллических моделей воды. Ведь при изменении расположения молекул период восстановления свойств должен быть того же порядка, что и время жизни молекулы в воде.

Трудность понимания физической сущности магнитной обработки воды возникает из-за малой энергии, сообщаемой воде и загадочности механизма ее «памяти». Энергия, затрачиваемая на обработку, очень мала - это энергия на преодоление дополнительного сопротивления в зазоре с магнитным полем, поэтому энергетические состояния воды до и после магнитной обработки достаточно близки, но разделены высоким энергетическим барьером.

Магнитное поле способно существенно изменить свойства воды и водных систем. Однако, несмотря на очевидный эффект положительного воздействия, его механизм до сих пор остается неясным. Наибольший эффект действия магнитного поля определенной конфигурации наблюдается при вполне определенных скоростях протекания через него водного раствора. Как вода, так в водные растворы содержат заряженные частицы в виде ионов, дипольных молекул, мицелл и т.д., которые при своем движении испытывают действие сил Лоренца, отклоняющих заряженные частицы от их первоначальной траектории. Процесс намагничивания, как и любой другой, может быть равновесным и неравновесным. Можно считать доказанным, что равновесный процесс намагничивания не может привести к каким-либо изменениям; последние происходят только при неравновесном процессе. Воздействие магнитного поля на систему является возмущающим и выводит ее из равновесия.

Конкретное рассмотрение некоторых непрерывных и гетерогенных систем показывает, что релаксация может оказать существенное влияние на некоторые процессы, происходящие в водной среде (скорость кристаллизации, процессы мицеллообразования вблизи критической концентрации мицеллообразования тем, некоторые адсорбционные явления, связанные с метастабильностью, и т.д.).

С учетом выполненных исследований необходимо отметить, что вода, прошедшая омагничивание через самоочищающийся скважинный фильтр и находящаяся в трубопроводе или водонапорной башне Рождовского в течении 6–13 часов будет сохранять достаточно высокие магнитные свойства, то есть выпадение кольматанта происходить практически не будет. Теоретическое обоснование явления омагничивания воды еще не может претендовать на законченность, несмотря на

внимание к этой теме со стороны ряда ученых и заметное количество публикаций. Работы в этом направлении необходимо продолжить и перспективность исследований по омагничиванию различных жидкостей не вызывает сомнения.

Выполненные экспериментальные и теоретические исследования позволил сделать следующие выводы:

1. Предложен эффективный метод омагничивания воды, поступающей в гидрогеологическую скважину, с помощью вращающихся постоянных магнитов, смонтированных в корпусе фильтра.

2. Эффективная магнитная обработка осуществляется при перемещении воды перпендикулярно силовым линиям магнитных полей перемежающейся полярности.

3. Изменение структуры воды зависит от напряженности, количества и протяженности магнитных полей.

4. Определено время «памяти» и характер релаксационной зависимости обработанной постоянными магнитами полем воды с минерализацией 0,7 г/л и жесткостью 7 мг-экв/л.

5. Показано, что основной причиной проявления эффектов магнитной обработки: увеличение вязкости, увеличение скорости выпадения коагулянта в осадок, увеличение времени релаксации – является изменение структуры воды.

6. Установлено влияние интенсивности отложения коагулянта от входящей скорости жидкости в фильтр.

7. Установлены зависимости эффективности регенерации фильтров от напряженности магнитного потока.

8. Установлено, что при низких температурах эффект от магнитной обработки выражается более ярко.

9. Эффективность магнитной обработки зависит как от природы воды, ее концентрации, жесткости, температуры, величины pH, так и от режимов магнитной обработки – напряженности магнитного поля в зазоре, числа пар магнитных полюсов, пересекаемых потоком, скорости потока. Изменение одного из параметров приводит к изменению оптимальных значений других параметров.

10. Для обеспечения максимальной напряженности магнитного поля H в воде, размер ПМ должен быть максимальный: $a = 70$ мм, $b = 70$ мм, а расстояние между магнитами – минимально.

11. В качестве материалов ПМ могут быть использованы: сплав SmCo_{28} , либо NdFeB_{35} с антикоррозийным покрытием.

12. Для обеспечения напряженности магнитного поля H в воде, находящейся внутри трубы из немагнитного материала (полипропилен), между двумя кольцевыми магнитами из сплава NdFeB_{35} , не менее $H_1 = 820$ кА/м, расстояние между магнитами h не должно превосходить $h_{\text{д1}} = 300$ мм.

13. Установлена зависимость эффективности магнитной обработки откачиваемой из скважины воды от времени релаксации.

14. Нами, в лабораторных условиях, доказано, что разработанный на уровне изобретения самоочищающийся фильтр практически не подвержен кольматации.

15. Работы, выполненные в ЮРГПУ (НПИ) и в ООО НПП «Ростовская буровая компания» по практическому и теоретическому обоснованию явления омагничивания воды, поступающей в скважину через фильтр гидрогеологических скважин, не может претендовать на законченность, несмотря на решение целого комплекса вопросов. Работы в этом направлении необходимо расширять и перспективность их не вызывает сомнения. Сведения, которыми сейчас располагает наука, позволяют утверждать, что изменение свойств воды под действием магнитного поля является одной из важнейших проблем современности и заслуживает самого пристального внимания и изучения.

Магнитная обработка воды с целью недопущения образования кольматанта на поверхности фильтра является перспективным направлением. Предложен самоочищающийся скважинный фильтр с постоянными вращающимися магнитами с напряженностью каждого магнита 1000 эрстед (79,6 кА/м) со скоростью движения воды до 1 м/с. Следует отметить, что при воздействии на воду постоянным магнитным полем содержащиеся в ней в растворенном виде соли не подвергаются слипанию на ионном уровне, легко проходят фильтрующую поверхность и не осажда-

ются в виде кольматанта на его поверхности. Магнитная обработка наиболее эффективна при солесодержании воды не более 500 мг/л, щелочности не более 4 ммоль/л, окисляемости не более 5 мг/л O_2 .

2.4. Гидродинамическое моделирование работы самоочищающихся фильтров

В настоящее время разработано множество видов скважинных фильтров. Каждая конструкция имеет свои индивидуальные особенности, обладает рядом преимуществ и недостатков при эксплуатации в различных условиях, в которых будет работать фильтр. К наиболее важным условиям относятся тип коллектора, его однородность и проницаемость, а также особенность фильтруемой жидкости (флюида). Кроме того, к дополнительным факторам, влияющим на конструктивные особенности фильтров, можно отнести: перепад давления, температуру, коррозионную среду, неустойчивость коллектора и т.д. Проектируемый фильтр должен обладать высокой пропускной способностью, задерживать частицы достаточно малого размера, быть не сложным в эксплуатации, иметь большой ресурс работы и низкую себестоимость [1–5].

Из практики сооружения гидрогеологических скважин известно, что через некоторый промежуток времени фильтры резко уменьшают пропускную способность, т.е. кольматируются. Фильтры гидрогеологических скважин в большинстве своем кольматируются катионами солей жесткости кальциево-карбонатного класса.

Требования, предъявляемые к фильтрам гидрогеологических скважин: 1) наличие необходимой механической прочности и устойчивости против химической, электрохимической коррозии и эрозионного воздействия воды; 2) максимальный пропуск воды при минимальных размерах каркаса фильтра; 3) обладание оптимальной скважностью, наличие минимальных гидравлических сопротивлений; 4) устойчивость к разрушению при механической, физической и химической очистке каркаса фильтра.

В зависимости от целевого назначения скважин все фильтры следует подразделять на три группы: а) фильтры водозаборных и водопонизительных скважин,

рассчитанных на ограниченный срок эксплуатации (от нескольких дней до нескольких месяцев); б) фильтры разведочных и водопонижительных скважин, рассчитанных на неограниченный срок эксплуатации (10–15 лет и более); в) фильтры наблюдательных скважин, из которых водоотбор не производится.

Выбор типа фильтра определяется условиями его применения и, в первую очередь, характером водосодержащих пород. На выбираемый тип и конструкцию скважин большое влияние оказывают величина дебита скважины, химический состав подземных вод, глубина скважины и т.п. [9, 10].

Частицы пород, проходящие через щели или отверстия частицезадерживающих фильтров, значительно сужают их эффективное сечение. Оседаая на поверхности вблизи и внутри отверстий, отложения увеличивают гидравлическое сопротивление фильтра и способствуют ускорению химической закупорки. В гравитационных фильтрах эти явления проявляются в значительно меньшей степени. Однако именно первый класс фильтров получил наибольшее распространение. Фильтры с частицезадерживающими отверстиями конструктивно отличаются материалом, числом, размером и формой фильтрационных отверстий, конструкцией крепления фильтрующих элементов и т.д. В качестве труб используются обычно металлические обсадные трубы. Отверстия круглые или щелевые. Размеры отверстий в каркасах подбирают из условия обеспечения максимальной скважности – не менее 25 % [38].

Время кольматации фильтра, в процессе его эксплуатации, зависит от режима гидравлического потока откачиваемой воды. Впервые Рейнольдс предложил формулу и назвал следующие параметры, от которых зависит режим гидравлического потока жидкости:

$$Re = \frac{Vd\rho}{\eta} \quad (2.13)$$

где Re – число Рейнольдса;

d – диаметр перфорационного отверстия в каркасе фильтра, м;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

η – динамическая вязкость жидкости, Па · с или кг/(м · с);

V – скорость жидкости, м/с.

При выполнении гидравлических расчетов принимают только одно критическое значение Re . Если $Re > 2300$, то режим потока жидкости, при эксплуатации фильтра, является турбулентным, если $Re < 2300$, то поток жидкости соответствует ламинарному режиму. Выполненное нами моделирование режима фильтрации воды в фильтре (см. рис. 2.13) подтверждает ламинарный поток ее движения.

Проектирование строительства гидрогеологических скважин с фильтрами оптимальной конструкции, является сложной производственной задачей. Сооружаемые скважины должны качественно выполнять фильтрацию механических примесей и исключить кольматацию поверхности фильтра и зафильтрованного пространства в процессе эксплуатации. Для решения этой задачи нами предложен скважинный самоочищающийся фильтр. На рис. 2.4 представлен общий вид разработанного нами самоочищающегося фильтра (патент RU № 2681773).

На рис. 2.5 показано формирование силы F от восходящего потока жидкости. На рис. 2.6 показан крутящий момент, поворачивающий ребристый магнит.

Кольцевые постоянные магниты с наклонными ребрами насажены на распорную втулку и опору скольжения, размещенные на несущем стержне. Расстояние между кольцевыми постоянными магнитами пропорционально коэрцитивной силе и напряженности магнитного поля. Все элементы фильтра выполнены из немагнитных материалов: фильтровые трубы – из сплавов алюминия, бронзы, латуни, полиэтилена или пропилена; обмотки – из капронового или нейлонового шнура; внешний фильтрующий элемент – из синтетической тканевой сетки или капронового шнура. Оси симметрии отверстий перфорационных отверстий в каркасе фильтра образуют с осью вертикально установленного фильтра углы, изменяющиеся от 45° до 90° градусов в нижней части и зеркально от 90° до 45° градусов в верхней части фильтра. За счёт этого имеет место снижение гидростатического сопротивления потока жидкости.

Закупорка щелей при наличии в пласте мелких фракций песка и кольматантов происходит быстро, в первые секунды откачки. Мелкие фракции и кольматант цементируют поровое пространство между более крупными частицами, находящи-

мися в контакте с поверхностью проволоки, многократно снижая тем самым эффективную скважность фильтрующей поверхности. При этом осложняется расколматация прифильтровой зоны, что вызывает необходимость предъявления жестких требований к технологии вскрытия пласта, расширению, фракционированию и намыву гравия.

Для гидродинамического моделирования работы фильтров была использована конструкция разработанного нами самоочищающегося фильтра (патент RU № 2681773), представленного на рис. 2.4. С целью увеличения скважности фильтра было предложено, перед намоткой сетки на каркас, выполнить навивку капроновой нити с сечением в виде треугольника. При навивке проволоки на опорные стержни каркаса одна из вершин треугольника направляется внутрь фильтра перпендикулярно его продольной оси симметрии. Поверхность фильтра, контактирующая с породой, получается гладкой, без впадин около щелей и выступов между ними. В процессе откачки такая поверхность щели не способствует цементации и уплотнению породы вблизи фильтрующей поверхности, а наоборот, стимулирует вынос частиц, меньших по размеру ширины щели, и очищение прифильтровой зоны от шлама, мелких фракций и кольматантов.

Гидравлическое сопротивление фильтров с профилированным сечением обмотки меньше, чем с круглым, не только из-за большей проницаемости контактной зоны фильтрующей оболочки с породой. При прохождении потока через щель, имеющую в поперечном сечении форму расходящегося внутрь каркаса насадка, струя в момент вхождения в щель сжимается. Максимальное сжатие струи наблюдается не у фильтрующей поверхности, а на расстоянии 1–2 мм от нее внутрь. В интервале потока, характеризующегося минимальным сечением, скорости струи максимальны. С увеличением скорости, согласно уравнению Бернулли, уменьшается статическая составляющая и по аналогии со струйными аппаратами возникает вакуум. Вакуум также возникает между фильтрующей поверхностью и сечением максимального сжатия струи. На величину вакуума влияет сопротивление фильтра из профилированной проволоки меньше, чем круглой, в контакте с водной средой.

Недостатком известных конструкций считается перпендикулярность оси

симметрии щелей фильтра оси симметрии скважины и фильтровой колонны. Такое пространственное расположение отверстий рационально только в том случае, когда мы имеем дело с плоскопараллельным фильтрационным потоком в скважину и скорость притока в фильтр в любом сечении независимо от длины постоянна.

Обычно характер фильтрации носит промежуточный характер между плоскопараллельным и радиально-сферичным потоком. Прямое доказательство этого – эпюра входных скоростей в фильтр. Максимальные скорости фильтрации наблюдаются в верхних сечениях фильтра и постепенно (не линейно) убывают по направлению к забою скважины. При плоскопараллельной фильтрации входная скорость по длине фильтра – постоянная величина, а при радиально-сферичной фильтрации работает только верхний участок фильтра высотой, соответствующей его радиусу (остальная часть фильтра не работает). В этой связи очевидно, что градиент фильтрационного потока в реальных скважинных условиях направлен не перпендикулярно оси скважины (и параллельно пласту) и не в направлении верхних отверстий фильтра, а занимает определенное промежуточное положение, зависящее от свойств пласта, его размеров, режимов эксплуатации и др.

В случае, когда фильтрация потока происходит через фильтр с прямоугольными отверстиями в каркасе направление движения флюида не совпадает с направлением градиента фильтрации, который перпендикулярен линии постоянного давления в околоскважинной зоне. Такая конструкция фильтра увеличивает местное сопротивление, заставляющее поток, при прохождении через фильтрующую оболочку, временно изменять свое направление. Следовательно, при использовании фильтра с прямоугольными отверстиями, в каркасе возникают дополнительные потери напора, обусловленные несовпадением направления и градиента фильтрации, уменьшаются эксплуатационные характеристики скважины.

Несовпадение оси симметрии отверстия и фильтрационного потока в отверстиях приводит к возникновению асимметричной нагрузки на арочные, мостовые структуры из частиц песка вокруг отверстий, что способствует снижению их устойчивости, периодическому разрушению и суффозии.

Повышенная скорость фильтрации в верхних сечениях фильтра и соответственно уменьшенная скорость в нижних вызвана перетеканием жидкости из нижних сечений пласта в верхние по мере фильтрации, т.е. наличием вертикальной составляющей скорости потока. Переток жидкости из нижних в верхние сечения пласта и фильтра, наличие вертикальной составляющей скорости фильтрации обусловлены перепадом давления между верхними и нижними сечениями пласта и фильтра, вертикальной составляющей градиента давления. Перепад давления на верхних отверстиях фильтра значительно выше, чем на нижних.

Схема моделирования режима фильтрации воды в лабораторных условиях с применением окрашенной жидкости и откачки с помощью насоса «Малыш» показана на рис. 2.13. Режим фильтрации воды в околоскважинной зоне определяется в соответствии с рис. 2.14 [63].

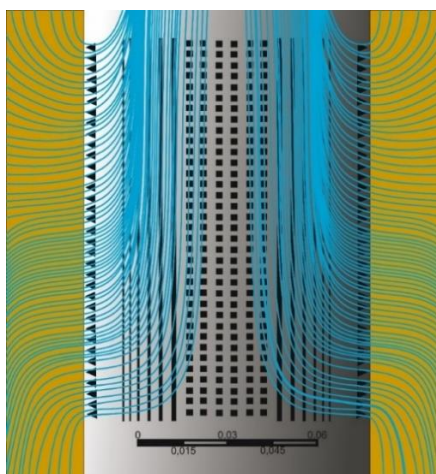


Рис. 2.13 Схема моделирования режима фильтрации воды в скважине

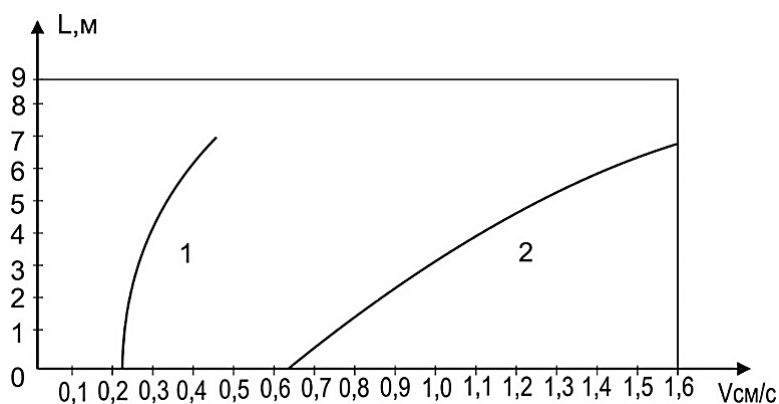


Рис. 2.14. Зависимость длины фильтра от входной скорости притока для разных режимов: 1-ламинарный, 2-турбулентный.

Ламинарный режим фильтрации наблюдается при входной скорости фильтрации, изменяющейся от 0,25 до 0,55 см/с. При входной скорости фильтрации больше 0,65 см/с наблюдается турбулентный режим.

Экспериментальные исследования ламинарного и турбулентного режима фильтрации воды к скважине, показывают, что сверление отверстий в каркасе фильтра под углом в сторону движения жидкости способствует ламинарному режиму фильтрации.

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. 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 (2.13) можно определить основные пути повышения гидродинамической эффективности скважинного фильтра [63]:

$$Q = V \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (2.14)$$

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

Экспериментально было установлено, что:

1) при увеличении диаметра на 10 % при скорости потока 0,01 м/с, расход 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 справедливо только для идеальной системы, в которой поток движется перпендикулярно плоскости отверстия и вдоль направления всасывания (рис. 2.15).

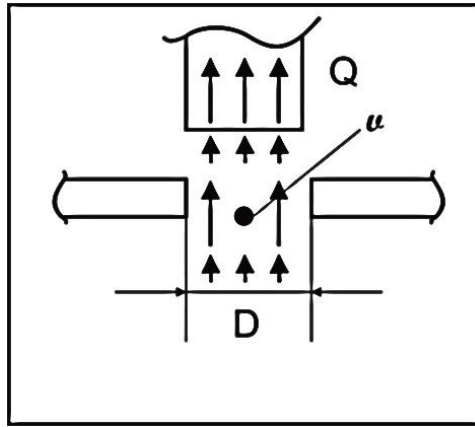


Рис. 2.15. Движение частиц идеального потока

В реальных условиях гидродинамическая эффективность фильтра во многом определяется углом наклона оси всасывания жидкости u углом наклона оси отверстия β относительно направления потока всасывания жидкости (рис. 2.16).

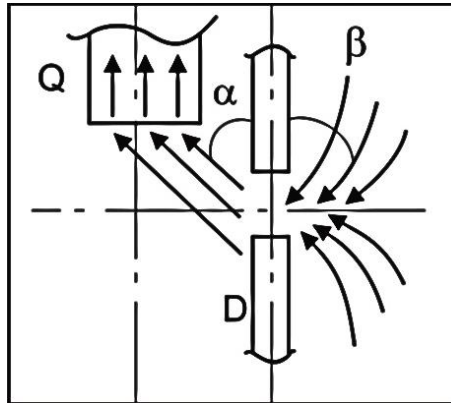
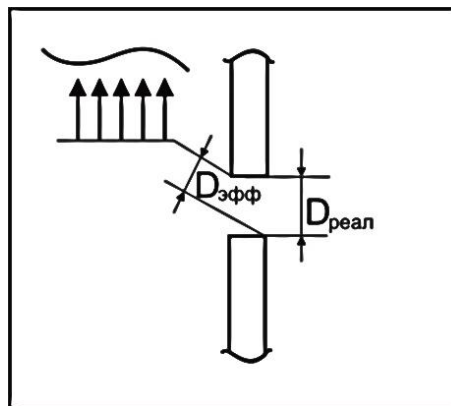


Рис. 2.16. Движение частиц реального потока

При этом, отклонение угла β от угла α будет изменять эффективный диаметр отверстия $D_{\text{эфф}}$ от реального $D_{\text{реал}}$, как показано на рис. 2.17.

Рис. 2.17. Соотношение диаметров $D_{\text{эфф}}$ и $D_{\text{реал}}$

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 α наклона отверстия относительно оси всасывания насоса. Тогда, 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 (угла β) [63].

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.

Наиболее распространённой задачей, с которой сталкиваются при исследовании фильтрующих систем, является внутренняя гидродинамическая задача – исследование процесса всасывания жидкости, окружённой твёрдыми стенками, в трубах и цилиндрических аппаратах. Частным случаем внутренней гидродинамической задачи является задача изучения эффектов, возникающих при протекании жидкости через перфорационные поверхности твердотельных полых элементов.

Компьютерное моделирование фильтрующих систем посредством современных универсальных программных систем конечно-элементного анализа, к которым относятся ANSYS, Solid Works, Nastran, Open FOAM и др., может быть выполнено с различной степенью детализации. В системах имеются богатые библиотеки, содержащее большое количество уже готовых стандартных деталей и конструкций,

оборудование, соединительные элементы. Эти средства используют различные подходы к моделированию и обладают различным инструментарием – удобным или неудобным – при решении той или иной задачи. Большинство из указанных систем совместимы между собой на уровне проектирования моделей напрямую или путём использования нейтральных форматов (iges, parasolid). Возможен экспорт твердотельных моделей, созданных в других системах проектирования, например, КОМПАС-3D, AutoCAD и т.д. Однако изменение и модификация таких экспортированных объектов при длительном процессе, связанном с внесением изменений в конструкцию модели, может вызвать дополнительные сложности.

Основной проблемой при моделировании течения в фильтрах является радикальное различие масштабов: диаметры отверстий составляет миллиметры (15–20), при том, что габариты колонны измеряются метрами, и число протяженных по периметру цилиндра отверстий составляет несколько сотен. То есть модель фильтра представляет собой структурно-неоднородную твёрдотельную среду, образованную периодическими объектами. Для фильтров подобной структуры рациональным является макро моделирование (моделирование на макроуровне) с учетом основных конструктивных особенностей, с постепенным введением в модель менее значимых элементов. Так, на начальных этапах моделирования можно пренебречь наличием металлической сетки, препятствующей попаданию мелких частиц в перфорационные отверстия, заменив её шероховатостью поверхности и/или наличием достаточно высокого поверхностного сопротивления. С другой стороны, последующее микро моделирование (моделирование на микроуровне) с использованием одного отверстия или ряда отверстий в поперечном позволит довести конструкцию отверстия до совершенства при незначительном росте ресурсов – времени и вычислительных мощностей.

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 [16–19]. Движение потоков жидкостей и газов описывается уравнением Навье-Стокса, которое интерпретирует законы сохранения массы, импульса и энергии для указанных веществ [20]. Дополнительно в уравнения включены элементы, описывающие состояние жидкости; элементы, описывающие геометрию потока, его граничные и начальные условия [63]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) &= 0 \\ \frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial \rho}{\partial x_i} &= \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i, \quad i = 1, 2, 3 \\ \frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} &= \frac{\partial}{\partial x_i}(u_j(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial \rho}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \varepsilon + S_i u_i + Q_H \\ H &= h + \frac{u^2}{2}\end{aligned}\tag{2.15}$$

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

$$S_i = S_i^{porous} + S_i^{gravity} + S_i^{rotation}; \text{ кН} \tag{2.16}$$

S_i^{porous} – сопротивление пористого тела; S_i^{gravlt} – 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; 7) возврат к п. 2.

С целью проверки гипотезы, было проведено моделирование работы скважинного перфорационного фильтра с насосом и при следующих допущениях: 1) внешняя среда – скважина – представлена цилиндрическим сосудом произвольного 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) мощность насоса неизменна и составляет $10 \text{ м}^3/\text{час}$.

На первом этапе создана твердотельная оболочка, поверхность которой обтекает жидкость, проникая через отверстия и попадая внутрь (рис. 2.18).

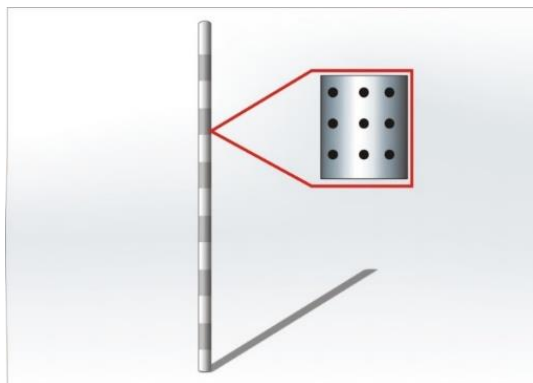


Рис. 2.18. Эскиз модели фильтра длиной 10 м

Создание твердотельной модели осуществлялось на основе операций, производимых над плоскостными эскизами, непосредственно в Solid Works, поскольку это дало возможность производить необходимые изменения над твердотельной конструкцией модели на более поздних этапах моделирования в пределах самой программы. Конструкция фильтра представлена стальным цилиндрическим резервуаром длиной $h_{\phi} = 10$ метров, диаметром $d_{\phi} = 168$ мм, толщиной стенки $w_{\phi} = 8$ мм.

Перфорационные отверстия диаметром $d_{\text{отв}} = 20$ мм расположены в шахматном порядке на расстоянии $l_{\text{отв}} = 70$ мм от центров по горизонтали и вертикали. Общая площадь фильтра $S_{\text{ф}}$, контактирующего с внешней средой составила [63]:

$$S_{\text{ф}} = 2\pi * r_{\text{ф}} * h_{\text{ф}} \approx 2 * 3,14 * (168/2) * 10000 \approx 5275200 \text{ мм}^2 \approx 5,27 \text{ м}^2.$$

Число отверстий в одном ряду

$$n_{\text{отв/ряд}} = [2\pi * r_{\text{ф}} / l_{\text{отв}}] \approx 2 * 3,14 * (168/2) / 70 \approx 8 \text{ шт.}$$

Число рядов отверстий

$$n_{\text{отв}} = \sim [n_{\text{отв/ряд}}] - 10000/70 \approx 142 \text{ шт.}$$

Полное число отверстий фильтра

$$n_{\text{отв}} = n_{\text{отв/ряд}} * n_{\text{ряд}} = 142 * 8 = 1136 \text{ шт.}$$

Общая площадь отверстий $S_{\text{отв}}$, контактирующих с внешней средой:

$$S_{\text{отв}} = 2\pi * r_{\text{отв}}^2 * n_{\text{отв}} = 2 * 3,14 * (20/2)^2 * 1136 \approx 713408 \text{ мм}^2 \approx 0,71 \text{ м}^2.$$

Соотношение площади отверстий к площади фильтра:

$$S_{\text{отв}} / S_{\text{ф}} = 0,71 / 5,27 = 0,13 \text{ \%}.$$

Угол наклона отверстий составляет 90° .

Создание проекта исследования

При создании проекта исследования модели фильтра использовались стандартные настройки:

- система единиц измерения – Си (SI)
- учёт гравитационного эффекта ($g=9,8 \text{ м/с}^2$);
- отключение закрытых полостей, не заполняемых жидкостью (исключение пустот);
- задача понимается как переходная (Time-dependent)
- жидкость, течение которой будет рассчитываться в проекте – вода;
- размеры расчётной 3D-области: $\pm 0,5$ м по координатам x и z , $+11$ м по координате $y_{\text{верх}}$, 0 м по координате $y_{\text{низ}}$;
- параметры потока: $V_x, V_y, V_z = 0 \text{ м/с}$;
- термодинамические параметры: давление – 101325 Па , температура – $9293,2 \text{ К}$;

- течение – ламинарное и турбулентное без учёта кавитации; характеристики турбулентности: $It - 0,1 \%$, $Lt - 0,00168 \text{ м}$; $k - 1 \text{ Дж/кг}$, $\varepsilon - \text{Вт/кг}$;
- поток жидкости одномерный, направленный вдоль оси z ;
- отказ от учёта явлений теплопроводности;
- отсутствие кавитации;
- отказ от учёта теплообмена/теплопроводности.

Граничные условия

- материал фильтра – сталь марки 3;
- реальная стенка, взаимодействие текучей среды со стенкой с трением: $293,2 \text{ К}$, $0 \text{ Вт/м}^2/\text{К}$, 0 мкм ;
- объёмный расход на выходе: параметры потока $0,0833 \text{ м}^3/\text{сек}$; скорость насоса, качающего жидкость, постоянна.

Задание целей

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.

Движение потока частиц в фильтре длиной 10 метров представлено на рис. 2.19.

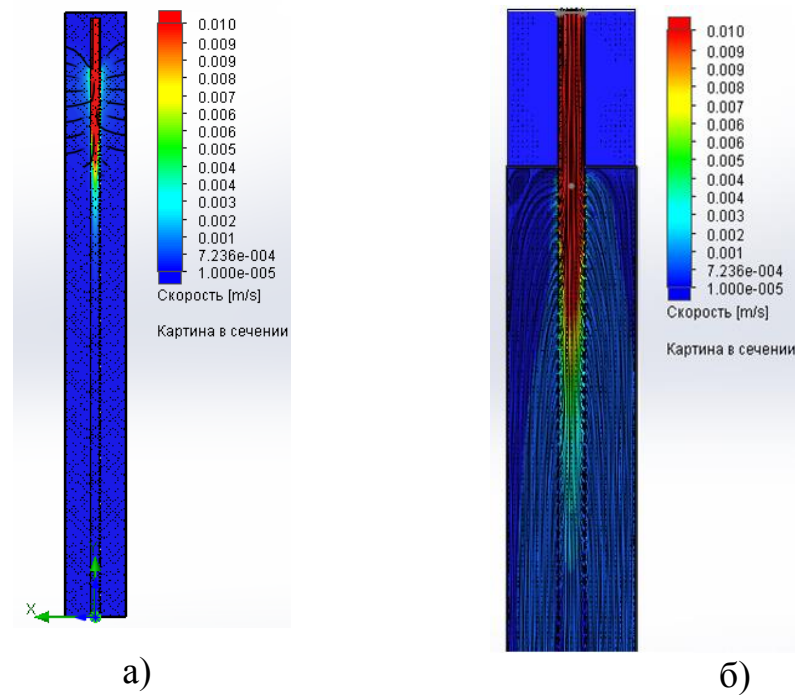


Рис. 2.19. Движение потока частиц в фильтре длиной 10 метров:

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. 2.19, а). Движение жидкости внутри и вдоль активной части фильтра представлено на рис. 2.19, б. Характер потока – 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 составляет 10 мм/с. На глубине более 4 м скорость потока падает до 0,1 мм/с. Ниже 4 м всасывания жидкости не происходит из-за ограниченной мощности насоса и чрезмерно длинной конструкции фильтра. В целом скорости течения низкие, поэтому поток движения жидкости ламинарный [63].

Последующее моделирование, с целью уменьшения расчетного времени, проводилось только для верхней активной зоны, составляющей 4 м. При этом площадь фильтра составляет 2,11 м². Число рядов перфорационных отверстий $n_{\text{ряд}}$ новой конструкции фильтра равно 55, общее число отверстий – 440. Общая площадь отверстий, $S_{\text{отв}}$, контактирующих с внешней средой равна 0,28 м². Соотношение площади отверстий к площади фильтра:

$$S_{\text{отв}}/S_{\text{ф}} \approx 0,58/2,11 \approx 0,26.$$

То есть, скважность испытываемого фильтра равна 26 %.

Характер движения частиц, распределение скоростей потоков и давлений внутри фильтра длиной 4 м представлены на рис. 2.20. Видно, что новая модель имеет лучшие гидродинамические характеристики: наибольшее всасывание происходит по-прежнему, в верхней части фильтра, но длина рабочей зоны увеличилась.

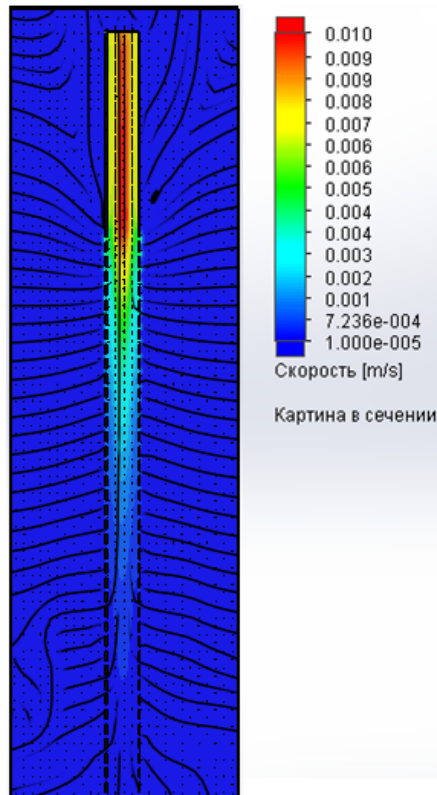


Рис. 2.20. Распределение скоростей в активной части фильтра длиной 4 м

Последующее увеличение длины рабочей зоны и увеличение потока всасывания можно получить на основе изменения угла наклона перфорационных отверстий. С этой целью была проведена серия экспериментов с видоизменёнными моделями. Изменения касались формы отверстий. При просверливании отверстия под углом увеличивается площадь элементарной поверхности всасывания, поскольку форма отверстия изменяется с окружности на овал. Само отверстие, ориентированное в направлении потока всасывания, способствует наилучшему протеканию жидкости.

На основе базовой модели фильтра эффективной длины 4 м, отверстия которой расположены под углом 90° , были созданы следующие конструктивные моди-

фикации. Первую группу составляют модели, общее число рядов отверстий которых пропорционально делится на три равных части. Группы отверстий верхней и нижней части фильтра имеют определенные углы наклона относительно вертикальной оси фильтра, отличные от 90° : $\{(30^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 150^\circ (-30^\circ), 135^\circ (-45^\circ), 120^\circ (-60^\circ))\}$. Центральная группа отверстий перпендикулярна оси, т.е. отверстия просверлены под углом 90° . Вторая группа моделей имеет один и тот же угол наклона отверстий вдоль всей длины фильтра $\{30^\circ, 40^\circ, 60^\circ\}$. Отдельная модификация фильтра представлена семью группами отверстий, просверленных под углами $\{30^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ\}$. На рис. 2.21 отображены потоки и скорости всасывания отдельных модифицированных моделей.

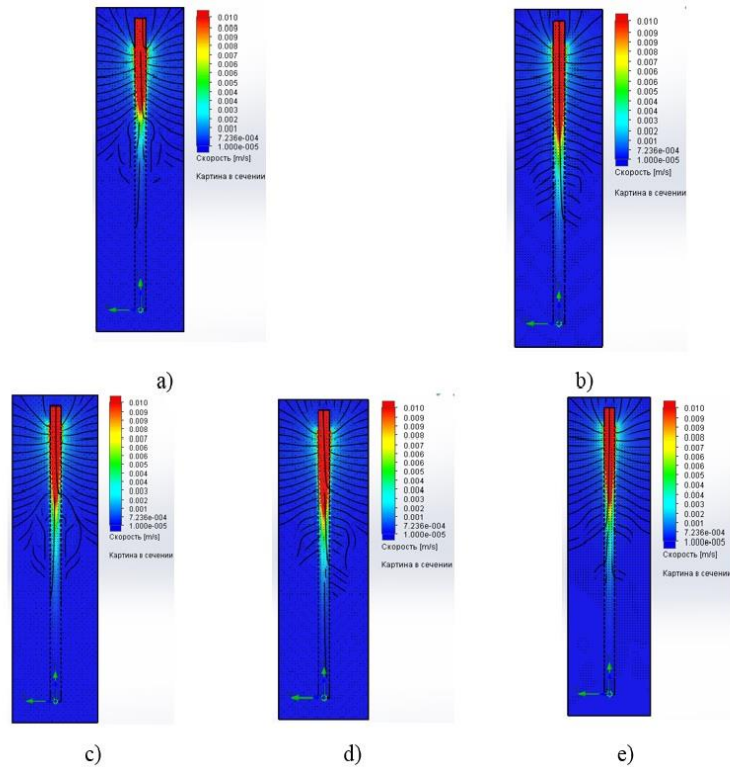


Рис. 2.21. Характер и эффективные зоны всасывания фильтров-модификаций с углами наклона:

a) 30° ; b) 60° ; c) $45^\circ/90^\circ/-30^\circ$; d) $45^\circ/90^\circ/-60^\circ$; e) $60^\circ/90^\circ/-45^\circ$

Анализ модифицированных моделей показал, что наилучшими из них являются модели с однонаправленными перфорационными отверстиями – модели с углами $30, 40$ и 60 градусов по ходу потока всасывания. На рис. 2.22 (a–b) показаны траектории потоков частиц жидкости через отверстия с разными углами наклона.

Наилучшее движение частиц и высокие скорости наблюдаются через отверстия, ориентированные в направлении потока всасывания. Наибольший интерес для исследования представляют скорости движения потоков водных частиц в перфорационных отверстиях.

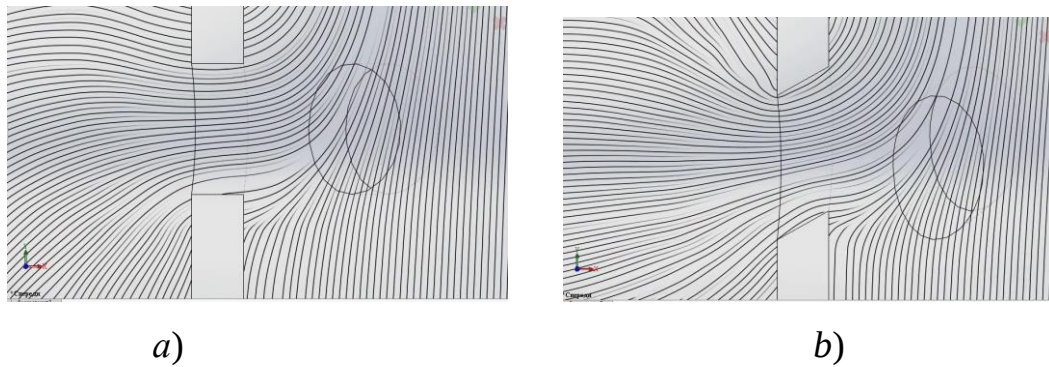


Рис. 2.22. Движение жидкости через отверстия с разными углами наклона:

a) 90° ; b) 40°

С этой целью в проект моделирования добавлены точки, соответствующие геометрическим центрам отверстий с внутренней поверхности стенки фильтра вдоль всей его длины (рис. 2.23). В качестве целей моделирования заданы средние значения скоростей и давлений в указанных точках.

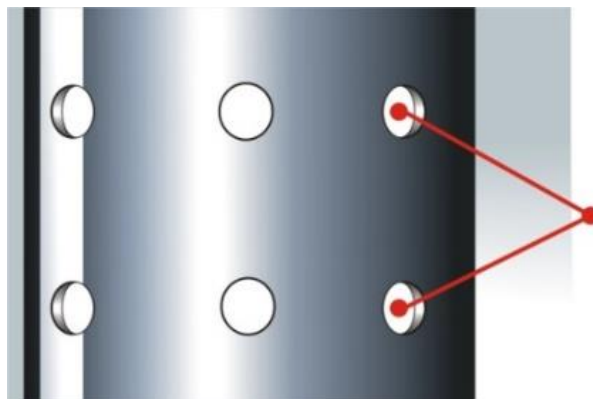


Рис. 2.23. Выбор локальных точек моделирования

Граничные условия моделирования оставлены прежними. Значения средних скоростей потока для каждой модификации представлены в табл. 2.2, гистограмма распределения скоростей различных модификаций фильтра эффективной длины представлена на рис. 2.24 [63].

Таблица 2.2. Средние скорости потока жидкости в центрах отверстий

№ п/п	Модификации модели по величине углов наклона от- верстий	Средняя скорость потока жидкости в центрах отвер- стий, м/с
1	90 (базовая модель) (basemodel)	0,010819
2	30/90/-40	0,015025
3	60/90/-40	0,015009
4	40/90/-30	0,015006
5	40/90/-40	0,014963
6	60/90/-30	0,014096
7	60/90/-60	0,011889
8	40/90/-60	0,011303
9	30/90/-60	0,010993
10	60	0,010700
11	40	0,010478
12	30	0,010218
13	30/40/60/90/-60/-40/-30	0,014451

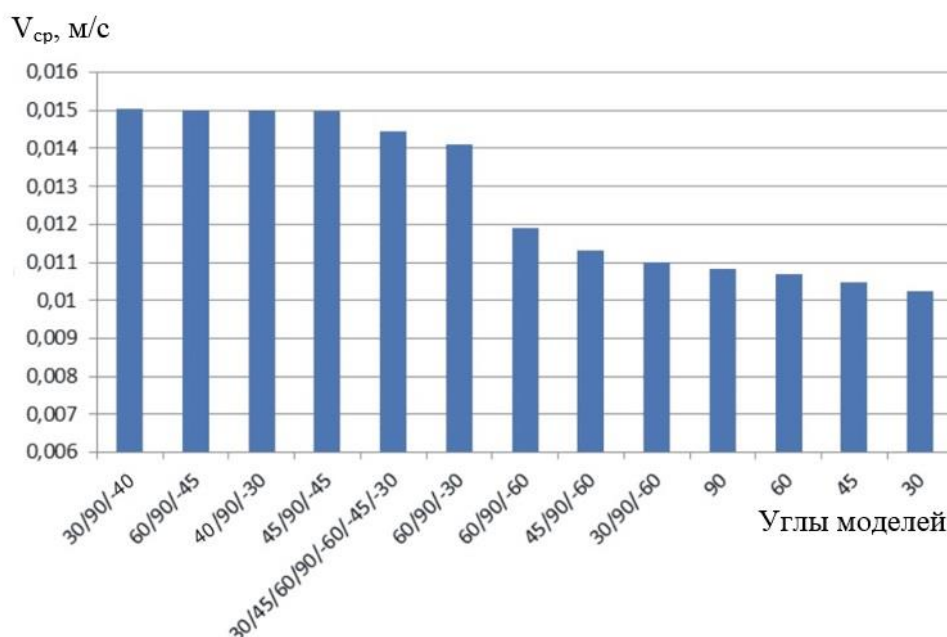


Рис. 2.24. Гистограмма распределения средних скоростей потока жидкости в центрах отверстий моделей фильтра

Эпюры скоростей с траекториями движения частиц жидкости при некоторых углах наклона отверстий представлены на рис. 2.25, а–d.

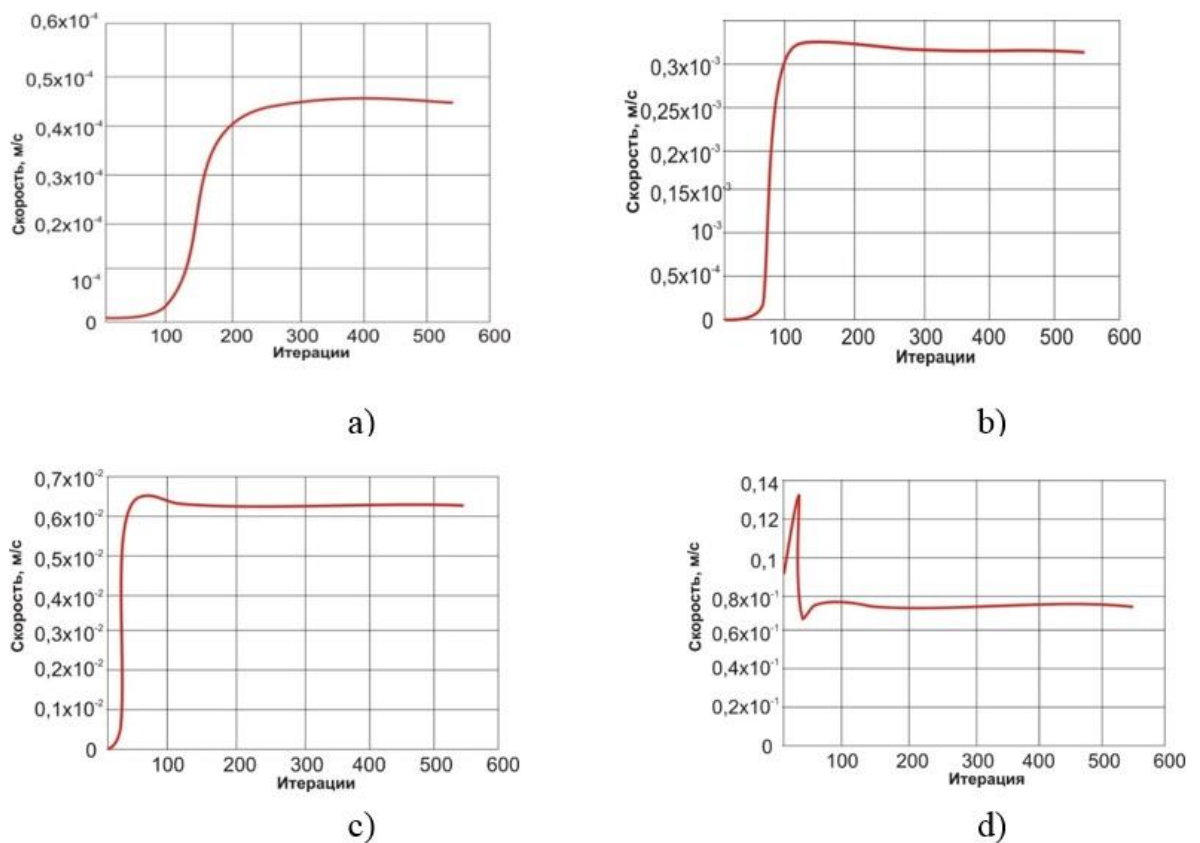


Рис. 2.25. Эпюры скоростей движения частиц в центрах отверстий с номерами:

а) 55; б) 35; в) 20; г) 1

Анализ результатов второго этапа моделирования показал, что для фильтра длиной 4 м и насоса производительностью $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, при мощности пласта 10 метров:

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 $\{30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ\}$ с точки зрения гидродинамики не оправдалось;
4. наиболее эффективными оказались модели с одинаковыми углами наклона отверстий β , максимально близкими по величине к углу α (рис. 2.26).

После проведенного моделирования была изменена конструкция предложенного фильтра. Новая конструкция (рис. 2.27) имеет длину 0,5 мощности пласта и, следовательно, 0,5 первоначальной длины фильтра. Угол наклона перфорационных

отверстий меняется равномерно от 30° в верхней части фильтра до 40° в его нижней части [63].

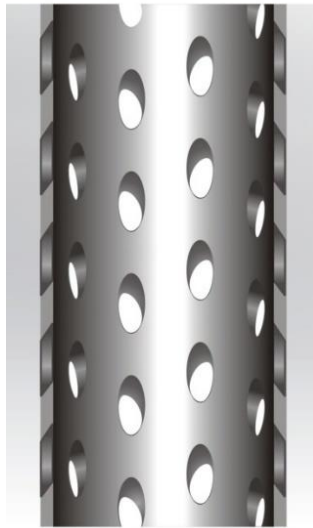


Рис. 2.26. Фрагмент фильтра с оптимальным углом наклона перфорационного отверстия

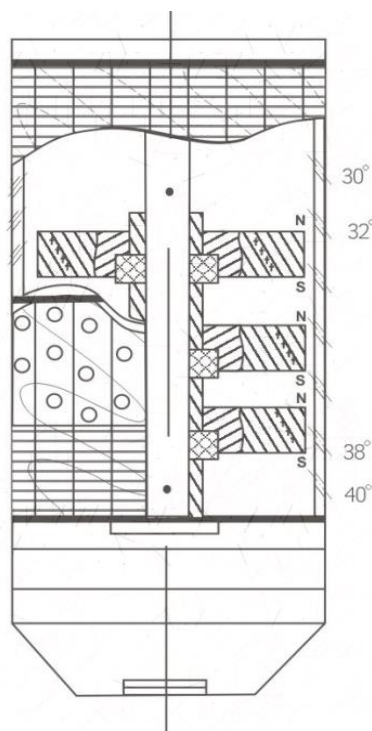


Рис. 2.27. Оптимальная конструкция скважинного самоочищающегося фильтра

Выполненные экспериментальные исследования позволили установить, что:

1. Экспериментальные данные не противоречат теоретическим представлениям о поведении жидкостей при их движении в ограниченных пространствах.

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. Углы наклона отверстий α в рабочей области фильтра должны составлять не более 30° от оси фильтра, при этом, большее уменьшение угла недопустимо ввиду технологических ограничений, а именно, из-за снижения прочности конструкции и уменьшения общей надежности.

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

5. 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.

6. 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.

7. Анализ результатов второго этапа моделирования показал, что для фильтра длиной 4 м и насоса производительностью $10 \text{ м}^3/\text{ч}$:

- 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 $\{30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ\}$ 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° – 40° .

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

9. Оптимальные углы сверления перфорационных отверстий в каркасе фильтра составляют 30° – 40° в направлении течения жидкости.

10. Оптимальной является скважность фильтра до 21-26 %;

11. Установить эффективную длину фильтра, которая составляет 0,4 мощности водоносного пласта от исходной длины фильтра (10 м);

12. Добиться существенной экономии длины фильтровой колонны;

13. Добиться уменьшения стоимости гидрогеологической скважины в целом.

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

15. Отверстия по всей длине фильтра рекомендуется сверлить в шахматном порядке, что позволит насосу равномерно всасывать и перемещать поток жидкости ламинарными слоями.

16. 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 и оптимальную длину фильтра, равную 0,4 мощности пласта.

17. В настоящее время на разработанную путем моделирования оптимальную конструкцию скважинного самоочищающегося фильтра получен патент № 2706841.

18. Использование имитационных моделей для решения гидродинамической задачи течения жидкости в скважинном самоочищающемся фильтре с использованием программного пакета Solid Works и ему подобных в настоящее время востребовано производителями и требует дальнейшего совершенствования.

ГЛАВА 3. РЕГЕНЕРАЦИЯ ФИЛЬТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Известно, что стоимость регенерации гидрогеологических скважин в несколько раз меньше стоимости строительства новых скважин, что делает этот вид работ экономически целесообразным. Разработать и выполнить с высоким качеством регенерацию гидрогеологических скважин возможно только после тщательного изучения проектов на строительство и истории их эксплуатации.

3.1. Обзор известных способов регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин

В Ростовской области средний срок службы скважин, оборудованных сетчатым фильтром, при условии минерализации воды до 1,5 г/л, составляет около 5 лет, а первые регенерационные мероприятия начинают проводить при прошествии одного года. Таким образом, за 15 лет каждая скважина будет перебурена как минимум 3 раза, и потребуется около 6 млн. рублей дополнительных вложений при средней стоимости строительства скважины 2 млн. рублей.

Известно, что для бесперебойной подачи воды населению необходимо поддерживать в работоспособном состоянии весь имеющийся фонд гидротехнических сооружений.

Межремонтный период – время, в течение которого скважина обеспечивает постоянный дебит при допустимом понижении уровня воды. После его окончания удельный дебит скважины очень быстро уменьшается, т.к. интенсивность кольматации фильтра значительно ускоряется. Продолжительность межремонтного периода по опыту эксплуатации многих скважин не превышает 3–4 года и зависит от конструкции фильтра и химического состава подземных вод. Так как нормативный срок эксплуатации скважин в зависимости от их конструкции и свойств подземных вод составляет от 5 до 10 лет, то, очевидно, необходимо обязательно планировать работы по регенерации скважин.

В настоящее время в России на балансе организаций находится несколько сот тысяч водозаборных скважин, более 40 % из них законсервированы из-за снижения

дебита и требуют проведения работ по регенерации. В Ростовской области на балансе организаций находятся более 7 тысяч скважин, треть из них нуждается в восстановлении.

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

Способы регенерации фильтра и прифилтровой зоны по характеру воздействия на кольтматант делятся на импульсные и реагентные. Импульсные способы декольтматации основаны на разрушении кольтматанта ударными волнами и импульсными потоками жидкости. Наиболее распространенными импульсными способами являются электрогидроударный и пневмоимпульсный. Реагентный способ декольтматации основан на растворении кольтматанта различными кислотами или их солями. При обработке скважин применяются, в основном, жидкие или порошкообразные реагенты [69].

Электрогидроударный способ регенерации фильтров гидрогеологических скважин заключается в следующем: если в воде на электроды анод-катод подать несколько десятков тысяч вольт (40–60 кВ), то под действием большой напряженности электрического поля между электродами происходит ионизация жидкости, а на аноде образуются разветвленные светящиеся каналы, которые называются стримерами (молния в воде) (рис. 3.1).

Если один из стримеров достигает катода, то образуется разрядный канал, по которому проходит мощный поток электронов, и жидкость в этом канале превращается в плазму с давлением до 100 МПа и температурой до 20000°С. Под действием этого давления разрядный канал, быстро расширяясь, сжимает прилегающие слои воды, образуя ударную волну, которая затем разрушает кольтматант на фильтре скважины.

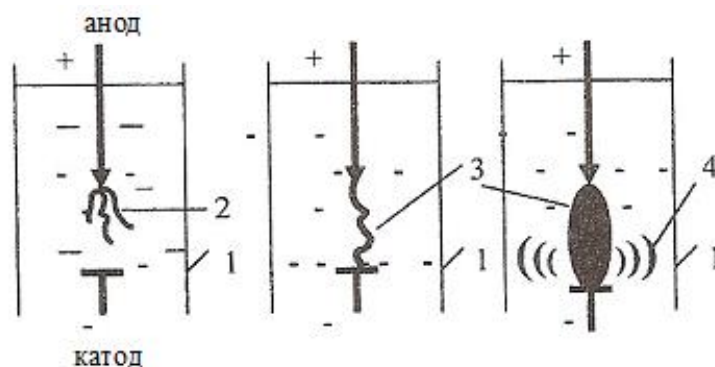


Рис. 3.1. Схема формирования ударной волны при электрическом разряде в воде:

1 – фильтр; 2 – стримеры; 3 – разрядный канал; 4 – ударная волна

Принципиальная схема установки для осуществления электрических разрядов в скважине представлена на рис. 3.2.

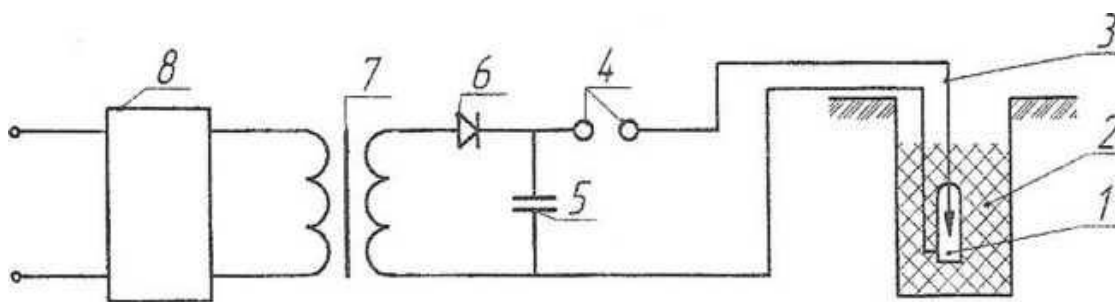


Рис. 3.2. Электрическая схема установки для осуществления электрических разрядов в скважине:

1 – погружной разрядник; 2 – фильтр скважины; 3 – коаксиальный кабель; 4 – воздушный промежуток; 5 – конденсатор; 6 – выпрямитель; 7 – трансформатор; 8 – пульт управления

Известен также агрегат ЭГУРА-500, который смонтирован на автомобиле «КамАЗ» и предназначен для выполнения комплекса работ при восстановлении дебитов водозаборных, дренажных, нагнетательных, наблюдательных и геотехнологических скважин [27].

Разработан агрегат профессором Новочеркасской мелиоративной академии Н.И. Богдановым и предназначен для диагностики и регенерации водозаборных, дренажных, нагнетательных, наблюдательных и геотехнологических скважин глубиной до 500 метров. Работы по регенерации скважин выполняются следующим образом: в интервал фильтра опускают разрядник и производят высоковольтные

разряды. Образуется ударная волна, после чего поднимают на поверхность разрядник, опускают насос и производят очистку скважины от разрушенных окислов. Максимальная глубина скважины, на которую опускается разрядник на 40 тысяч вольт, составляет 500 метров. Экипаж буровой машины – три человека: электрик, водитель и специалист по ремонту скважин. У ЭГУРА-500 практически нет зарубежных аналогов – европейские и американские гидротехники не оживляют «мертвые» скважины. Потому что там водные объекты регулярно поддерживают в исправном состоянии, а для этого не требуются ударные методы. Достаточно химической или механической прочистки. Электрогидроударный способ регенерации скважин является экологически безопасным, высокоэффективным и высокопроизводительным. С помощью агрегата ЭГУРА-500 удельный дебит скважин восстанавливается практически до первоначального, а регулярный текущий ремонт скважин с использованием этого агрегата позволяет продлить фактический срок службы скважин в 5 и более раз [69].

При пневмоимпульсной обработке в фильтре скважины, при помощи пневмокамеры, создаются упругие колебания, возбуждающиеся при быстром истечении в воду воздуха, находящегося в корпусе пневмокамеры под давлением. В результате струевидного истечения воздуха в воду в фильтре скважины образуется воздушный пузырь, расширение которого вызывает движение жидкости. При достижении максимального объема воздушный пузырь лопается и начинается обратное движение жидкости от периферии к центру. Такого рода пульсация может повторяться несколько раз, но уже со значительно меньшей интенсивностью. Кольматирующие образования на фильтре и частично в прифильтровой зоне разрушаются под действием избыточного давления в образующемся пузыре.

В комплект установки для пневмоимпульсной обработки скважин входят: компрессор, воздухосборник, пульт управления, лебедка, шланг высокого давления и пневмокамера (рис. 3.3).

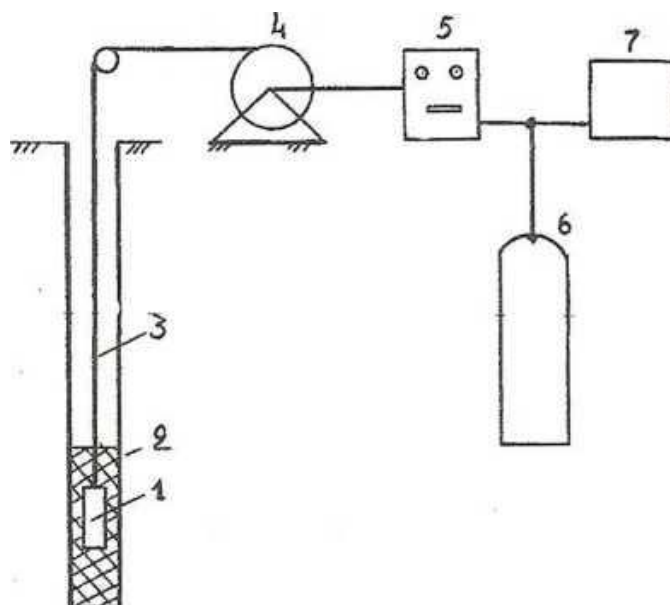


Рис. 3.3. Схема установки для пневмоимпульсной регенерации скважины:

1 – пневмокамера; 2 – фильтр скважины; 3 – шланг высокого давления; 4 – лебедка; 5 – пульт управления; 6 – воздухосборник; 7 – компрессор

Быстрый выброс сжатого воздуха из пневмокамеры в воду осуществляется с помощью специального клапана. Пневмокамера может иметь емкость 0,3; 0,5 или 1 литр. В зависимости от гидрогеологических условий и времени эксплуатации скважин удельный дебит пневмоимпульсным способом восстанавливается от 20 до 70 % от первоначального. При повторной обработке отмечается постепенное снижение эффективности восстановительных работ.

Для растворения кольматанта в фильтре скважины используются, в основном, соляная кислота, бисульфат натрия водный и дитионит натрия.

Соляная кислота (HCl) – бесцветная (или желтоватая) «дымящаяся» на воздухе жидкость, транспортируется в стеклянных, полиэтиленовых или покрытых слоем резины железных емкостях. Оптимальная концентрация соляной кислоты для растворения железистого и карбонатного кольматанта составляет 20–25 %. При взаимодействии соляной кислоты с кольматантом образуются газы. Для предохранения от коррозии металлических фильтров в раствор соляной кислоты добавляются специальные вещества, которые называются ингибиторами (катапин, карбозолин, марвелин и др.). Бисульфат натрия водный ($\text{NaHSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) – бесцветный порошок, водный раствор которого (5–7 %) растворяет железистый кольматант с

образованием газов. Дитионит натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) – порошок, водный раствор (6–8 %) которого эффективно растворяет железистый кольматант без образования газов. Дитионит натрия слабо корродирует стальные элементы скважины, но интенсивно воздействует на медные и латунные сетки.

Изучив проекты на сооружение гидрогеологических скважин, технические паспорта и историю эксплуатации более 1000 скважин в Ростовской области было установлено, что основное количество скважин каптируют водоносный горизонт, представленный мелко-среднезернистыми песками, фильтр скважин является сетчатым, длина его составляет 10–15 метров, глубины изменяются от 50 метров до 200 метров, после нескольких лет эксплуатации таких скважин удельный дебит начинает резко уменьшаться. Также было установлено, что кольматант, отлагающийся на поверхности сетчатого фильтра и вокруг фильтровой зоны, представлен в основном карбонатами кальция (CaCO_3), карбонатами магния (MgCO_3) и кремния (SiO_2). Все дальнейшие исследования по регенерации скважин, расположенных в Ростовской области, были выполнены с учетом выше изложенного.

3.2. Разработка растворов для регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин

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, удельный дебит которых, по истечению нескольких лет работы, начал катастрофически уменьшаться. Применительно к Ростовской области в большей степени это касается скважин, оборудованных сетчатыми фильтрами [9, 10, 12–15].

При эксплуатации водозаборных скважин на фильтрах и в прифильтровых зонах происходит отложение кольматирующих образований. Выпадение кольматанта на поверхности фильтра связано с нарушением химического равновесия в

пласте, обусловленным действием гидродинамического возмущения при отборе подземных вод.

Образование железистых соединений контролируется изменением щелочно-кислых (pH) и окислительно-восстановительных (Eh) условий в подземных водах. Имея информацию о химическом составе подземных вод и их физико-химических условиях, по диаграмме устойчивости железа в воде или расчетным зависимостям можно составить прогноз образования железистых соединений в прифильтровой зоне скважин.

При наличии в подземных водах сероводорода возможен процесс кольматажа скважин сульфидными соединениями железа, поэтому качественная оценка наличия сероводорода – важный критерий при определении тенденции к смещению химического равновесия в прифильтровых зонах скважин – коррозии или кольматажу фильтров.

В практике эксплуатации скважин на воду отмечено и формирование кремнекислых осадков на фильтрах и в прифильтровых зонах скважин. Эти осадки характеризуются повышенной прочностью и практически нерастворимы в кислотах. Относительно, реже отлагаются осадки фосфатно-железистого состава. Выпадению фосфатов способствует уменьшению их растворимости при увеличении щелочности.

Процесс отложения соединений железа в подземных водах интенсифицируется жизнедеятельностью железобактерий. Биологический кольматаж фильтров и прифильтровых зон наблюдается при наличии в воде железо - марганцевых бактерий, содержании железа в закисной форме в движущейся воде более 0,2 мг/л, в застойной воде – 1,6 мг/л, при этом величина показателя недиссоциированного водорода в воде pH составляет больше чем 13,5–15,5. При каптаже подземных вод гидрокарбонатно-кальциевого и гидрокарбонатно-сульфатно-кальциево-натриевого типа в песчаных коллекторах в минералогическом составе кольматирующих осадков преобладают до 60–80% в различной степени дегидратированные оксиды и гидроксиды железа в виде гематита Fe_2O_3 , гетита FeOOH и гидрогетита (лимонита) FeOOH . Как правило, кольматант фильтра многокомпонентный, в его составе возможно присутствие кальцита $\text{Ca}(\text{CO}_3)$, сидерита $\text{Fe}(\text{CO}_3)$, магнезита $\text{Mg}(\text{CO}_3)$, а также

железофосфатных минералов. Сульфидные соединения железа представлены пиритом FeS_2 , а соединения марганца родохрозитом $\text{Mn}[\text{CO}_3]$, и пиролюзитом MnO_2 .

Минеральный состав колюматирующих осадков изучается рентгеноструктурным, термическим анализом и ПК-спектроскопией, что довольно сложно при получении оперативной информации о составе осадков при планировании ремонтных работ. Для этого используются результаты химического анализа вытяжки осадков, представляемых в виде полуторных окислов и окислов основных компонентов осадка.

Установлено, что в скважинах для водоснабжения, каптирующих водоносные горизонты в гравийно-песчаных отложениях, песках и песчаниках, химический состав осадков изменяется в следующих пределах (%): Fe_2O_3 – 40,2–80,5; CaO – 1,6–40,5; MgO – 0,2–1,3; FeS – 0,2–13,1; MnO – 0,03–0,8.

На первом этапе формирования колюматирующих осадков образуются рыхлые отложения вязкой консистенции с водно-коллоидными связями. Они характерны для осадков, отлагающихся на водоподъемном оборудовании, в трубах, и собственно колюматанта фильтра, гравийной обсыпки и пород на ранней стадии формирования. Рыхлые образования имеют незначительную прочность, при высыхании становятся хрупкими и легко разрушаются. В процессе старения колюматирующих отложений, сопровождающегося дегидратацией, водноколлоидные связи рыхло-пластичных образований замещаются на кристаллизационные, в результате чего происходит цементация прифильтровой зоны. Интенсивность цементации от фильтра в пласт убывает.

Лабораторными опытами установлено, что прочность на одноосное сжатие образцов кубической формы с высотой теста 3 см, отобранных из сцементированной прифильтровой зоны скважины на юге Ростовской области не превышает 8 кгс/см². Натурные вскрытия прифильтровых зон скважин свидетельствуют о том, что для скважин с сетчатыми фильтрами размеры зон, в которых сказываются колюматационные процессы, не превышают в радиусе 0,5 м. В общем случае структура таких зон может быть охарактеризована следующим образом. Непосредственно на стенках фильтра образуется прочная сцементированная зона толщиной 1–2,5 см, имеющая максимальную плотность и наихудшие фильтрационные свойства. В этой

зоне пласта песчаная фракция сцементирована железистыми отложениями. Далее от фильтра в пласт прослеживается неоднородная зона коьматации, имеющая в разной степени насыщенную цементирующими отложениями пористую среду. В этой зоне прочностные характеристики осадка снижаются по мере уменьшения степени насыщения коьматантом. По результатам исследований извлеченных из скважин сетчатых фильтров, установлено, что зоны развития процессов коьматации скважин не превышают 4 см. Обычно это прочно сцементированная зона, выдержанная по вертикали. Таким образом, при прогнозе коьматации скважин и определении оптимальных технологических операций их регенерация следует ориентироваться на относительно небольшие по размеру зоны, которые для сетчатых фильтров составляют не более 3 см. Несмотря на разнообразие гидрогеологических условий, плотность коьматанта изменяется незначительно, что позволяет сделать вывод о возможности принятия в расчет плотности, равной 3000 кг/см.

По механизму растворения коьматирующих соединений реагенты подразделяются на нейтрализаторы, восстановители и комплексообразователи. По газовому состоянию они могут быть жидкими, твердыми (в порошкообразном или гранулированном виде) и газообразными. В качестве реагентов-нейтрализаторов целесообразно использовать неорганические кислоты и их соли, в результате реакции которых с коьматантом, образуются растворенные соединения, вода и газообразные продукты (CO_2 , H_2S). К их числу относятся соляная и сульфаминовая кислоты, гидразин солянокислый, бисульфат натрия водный. Растворяющая способность этих реагентов основана на явно выраженных их кислотных свойствах.

Среди рассматриваемых реагентов, наиболее широко применяется, для регенерации скважин, соляная кислота HCl , растворяющая железистые и карбонатные коьматирующие образования и сложные железифосфорсодержащие комплексы. Техническая соляная кислота HCl выпускается концентрацией не менее 27,5–31,0 %. Приблизительное процентное содержание HCl в водном растворе можно найти посредством ареометра, умножив на 2 число дробных долей плотности кислоты. Например, при плотности 1,18 г/см процентное содержание получается разным $18 \times 2 = 36 \%$

Одновременно происходит растворение железистых соединений и за счет восстановительных свойств образующегося в растворе гидразина. Оптимальная концентрация гидразина ($\text{N}_2\text{H}_4\cdot 2\text{HCl}$) находится в пределах 8–10 %, растворяющая способность раствора существенно интенсифицируется в диапазоне температур от 60 до 80°C. Преимущество раствора гидразина солянокислого в сравнении с известными растворами, применяющимися для регенерации скважин, состоит в том, что он эффективно разрушает также и глинистые кольматирующие образования в прифилтровой зоне скважин. Поэтому при обработке скважин происходит не только удаление железистых и карбонатных соединений, но и ее доосвоение.

Железистые кольматирующие образования эффективно растворяются раствором бисульфата натрия, имеющего сильноокислую реакцию. Кристаллогидрат бисульфата натрия ($\text{NaHSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$) – бесцветное кристаллическое вещество, хорошо растворяется в воде. Оптимальные условия применения реагента характеризуются следующими пределами: концентрации 5–7 %, температура – 60–70°C.

Температура любого реагента-нейтрализатора может быть повышена до необходимой температуры путем ввода в раствор герметизированной скважины безводного хлористого алюминия AlCl_3 . Хлористый алюминий – гигроскопичный кристаллический порошок белого цвета и поэтому должен храниться в герметичных емкостях. Повышение температуры раствора происходит за счет экзотермической реакции хлористого алюминия с водной составляющей раствора. Наряду с нагревом раствора происходит диссоциация его компонентов, усиливающих кислотные свойства раствора. При вводе хлористого алюминия в герметизированную скважину его концентрация должна быть не менее 7 % и не более 28 %. Подогрев соляной кислоты может быть произведен в стволе скважины при помощи магния.

Для растворения практически полностью дегидратированных окислов и гидроксидов железа рекомендуется применение порошкообразного дитионита натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$). Оптимальные параметры использования дитионита – концентрация 6–8 %, pH среды 5–8, температура не выше 18°C. Дитионит натрия проявляет слабое корродирующее воздействие на металлические конструктивные элементы скважины. При приготовлении раствора нет необходимости предусматривать специальные

меры по технике безопасности, а при реакции раствора с кольматантом не образуется газов, способных вызвать газлифтный подъем раствора по стволу скважины, что существенно упрощает производство работ. Введение в раствор дитионита натрия добавок сульфита натрия (Na_2SO_3 0,5–1 %) существенно снижает окислительное воздействие кислорода воздуха на восстановительные свойства раствора при его приготовлении и задавливании за контур сжатым воздухом.

Для восстановления производительности водозаборных скважин, структурные элементы которых неустойчивы в кислотах, применимы комплексообразующие, порошкообразные реагенты – триполифосфат натрия $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ гексаметафосфат натрия $\text{Na}_2[\text{Na}_4(\text{PO}_3)_6]$, т.е. $(\text{NaPO}_3)_6$. Процесс растворения основных кольматирующих соединений на фильтрах и в прифильтровых зонах скважин сводится к тому, что ионы железа и кальция связываются фосфатами в растворимые комплексные соединения.

При регенерации скважин комплексообразователями также исключен газлифтный подъем раствора по стволу скважин, отсутствуют вредные газовыделения, что весьма важно при обработке скважин, расположенных в шахтных колодцах. Достоинство этого реагента также в том, что при его применении отпадает необходимость в ингибиторах коррозии металлов, так как фосфаты являются одновременно и замедлителем процесса коррозии.

Отличительным свойством полифосфатов является их способность стабилизировать водные растворы и предотвращать вторичное осаждение солей при очень низких концентрациях, заведомо недостаточных для связывания осаждающихся катионов в растворимые комплексы. Стабилизирующий эффект предельно малых добавок связан с процессами адсорбции. Это свойство использовано для предупреждения коагуляции растворенного кольматанта при нейтрализации реагентов-нейтрализаторов и восстановителей в ходе обработки.

Отложение кольматанта происходит на поверхности фильтра всегда, так как подземные воды обладают определенной жесткостью. Кольматант образуется за счет отложения кальция, магния, марганца. В случае если образование кольматанта на поверхности воды происходит за счет силиката калия, то кольматант получается

сульфатным. Кремнекислые соединения таких веществ, как железо, алюминий или кальций, приводит к образованию силикатного кольматанта. Таким образом, образование кольматанта на поверхности фильтра в процессе его эксплуатации не означает, что произошло именно отложение карбонатного кольматанта.

При сооружении и эксплуатации водозаборных скважин происходят процессы механического, химического и биологического кольматажа, что влияет на длительность работы водозабора в целом. Механический кольматаж происходит, в основном, на стадии сооружения гидрогеологических скважин, а химический и биологический наблюдается в течение всего времени эксплуатации скважин. Кольматирующие образования, отлагающиеся на поверхности фильтра и фильтрующей его оболочки, могут быть различными по химическому составу и зависят от химического состава воды и материала фильтра.

Известно, что основными компонентами известных растворов для регенерации гидрогеологических скважин являются: соляная, карбоновые, дикарбоновые и поликарбоновые кислоты, триполифосфат натрия, гидразин, дитионит натрия, гидросульфат натрия и др., которые не всегда способствуют эффективному растворению химического кольматанта или агрессивны по отношению к оборудованию.

С целью решения вопросов по оптимизации технологии регенерации были исследованы пробы кольматирующих образований, отобранных из 10 скважин Каменского водозабора Ростовской области. Исследуемые скважины каптируют водоносные горизонты, представленные мелко-среднезернистыми песками. Кольматант был отобран непосредственно с сеток фильтров, извлеченных из скважин, и с водоподъемного оборудования. С целью подбора оптимальной жидкости для регенерации кольматанта был изучен химический состав всех образцов, исследования выполнены в ЦКП «Нанотехнологии» НИИ Нанотехнологий и новых материалов ФГБОУ ВО «Южно-Российского государственного политехнического университета (НИИ) имени М.И. Платова». Перечень применяемых приборов представлен в табл. 3.1 [51, 52, 58, 65].

Таблица 3.1. Характеристика используемых приборов.

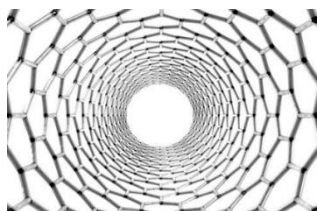
№ п/п	Наименование комплекса, стенда, установки, системы	Страна производитель	Назначение
1	Сканирующий электронный микроскоп Quanta 200	Голландия	Для исследования любых материалов.
2	Порошковый рентгеновский дифрактомер ARL X TRA	Швейцария	Многофункциональный рентгеновский дифрактомер для решения задач рентгенофазового рентгеноструктурного анализа порошковых и твердых образцов различных полукристаллических материалов (качественный и количественный состав)

Используя возможности ЦКП «Нанотехнологии» было выполнено комплексное исследование материалов кольматанта – химический и спектральный анализ, структурные исследования (макро-микроструктура), электронно-оптический и рентгеноструктурный анализ, фактографический анализ, дефектообразование. Результаты исследований представлены ниже на рис. 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9.

Результат получен на основе сравнения штрих-диаграммы и измеренной зависимости интенсивности дифрагированного образцом излучения от угла 2θ с соответствующими данными из базы данных ICDD PDF-2. Каждый из дифракционных пиков, представленных в верхней части рисунка, соответствует системе кристаллографических плоскостей с определённым межплоскостным расстоянием и индексами Миллера, одинаковыми для каждой плоскости системы. Отмеченное выше сравнение с карточками стандартов, отображающими такую же информацию для конкретного вещества, заключается в определении степени совпадения положения пиков дифрактограммы с положением пиков из карточки конкретного вещества и относительных интенсивностей набора пиков конкретной фазы с одним из подмножеств пиков измеренной дифрактограммы (если образец многофазный).

На сканирующем электронном микроскопе Quanta 200 были исследованы морфология поверхности образцов кольматанта отобранного непосредственно с поверхности сетчатого фильтра.

Результаты исследования представлены на фото 1, 2, 3, 4, 5, 6 с увеличением от 100 до 2000 раз. Геометрическая структура кольматанта плотная, многокомпонентная. Материал кольматанта относится к диэлектрику, то есть не проводит электрический ток.



ЦКП «Нанотехнологии»

НИИ Нанотехнологий и новых материалов

ФГБОУ ВПО Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова

г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132. Тел 8(86352)55105,

e-mail: niintnm@gmail.com

ПРОТОКОЛ

ИСПЫТАНИЙ (ИЗМЕРЕНИЙ)

№

от 19.07.2019 г.

«Проведение качественного фазового анализа кольматанта сетчатых фильтров»

Заказчик

Организация ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова

Подразделение кафедра «Нефтегазовая техника и технологии»

Контактное лицо, должность Швеи В.В.

Телефон, e-mail 13050465@mail.ru

Условия предоставления услуг Договор № ЮЛ-9 от 19.07.2019 г.

(номер договора, совместные исследования, др.)

Задание на исследование

Задачи исследования: Определение фазового состава образца

Ожидаемый результат Качественный фазовый состав

Объект исследований Образцы кольматанта

Количество образцов 5 (пять)

Агрегатное состояние:

Размеры

Фото прилагается ☐

твердое, порошок

Дата поступления

18.07.2019

Дата испытания (исследования)

19.07.2019

Качественный фазовый анализ поликристаллических веществ с использованием данных порошковой дифракции (XRD) основан на сравнении измеренной дифрактограммы с данными стандартов, содержащимися в базе данных ICDD PDF-2. Дифрактограмма регистрировалась на рентгеновском порошковом дифрактометре ARL X'TRA с вертикальным гониометром θ - θ и с геометрией на отражение. Излучение – $\text{Cu K}\alpha_1/\text{K}\alpha_2$ $\lambda=1.541/1.544$ Å. Детектор – полупроводниковый Si(Li) энергодисперсионный с охладителем Пельтье. Диапазон углов 2θ : 5° - 90° . Шаг сканирования – 0.02° . Время интеграции – 1с.

Результаты испытаний (исследований)

Из анализа дифрактограмм установлено:

Образец 1а состоит из следующих кристаллических фаз (фото 1):

Карбонат кальция-магния ($\text{Ca}_{0.86}\text{Mg}_{0.14}\text{CO}_3$). Номер в базе данных PDF-2: 000-43-0697.

Оксид кремния (SiO_2). Номер в базе данных PDF-2: 010-85-0865.

Образец 1б состоит из следующих кристаллических фаз (фото 2):

Карбонат кальция (CaCO_3). Номер в базе данных PDF-2: 010-70-0095.

Оксид кремния (SiO_2). Номер в базе данных PDF-2: 010-73-3460.

Оксид железа (Fe_2O_3). Номер в базе данных PDF-2: 010-72-6233.

Образец 2 состоит из следующих кристаллических фаз (фото 3):

Карбонат кальция-магния (CaMgCO_3). Номер в базе данных PDF-2: 000-60-0473.

Образец 3 состоит из следующих кристаллических фаз (фото 4):

Карбонат кальция-магния ($\text{Ca}_{0.871}\text{Mg}_{0.129}\text{CO}_3$). Номер в базе данных PDF-2: 010-86-2336.

Образец 4 состоит из следующих кристаллических фаз (фото 5):

Карбонат кальция-магния ($\text{Ca}_{0.86}\text{Mg}_{0.14}\text{CO}_3$). Номер в базе данных PDF-2: 000-43-0697.

Образец 5 состоит из следующих кристаллических фаз (фото 6):

Карбонат кальция-магния ($\text{Ca}_{0.86}\text{Mg}_{0.14}\text{CO}_3$). в базе данных PDF-2: 000-43-0697.

Оксид кремния (SiO_2). Номер в базе данных PDF-2: 010-75-8320.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Качественный фазовый анализ поликристаллических веществ с использованием данных порошковой дифракции (XRD) основан на сравнении измеренной дифрактограммы с данными стандартов, содержащимися в базе данных ICDD PDF-2. Дифрактограмма регистрировалась на рентгеновском порошковом дифрактометре ARL X'TRA с вертикальным гониометром θ - θ и с геометрией на отражение. Излучение – $\text{Cu K}\alpha_1/\text{K}\alpha_2$ $\lambda=1.541/1.544$ Å. Детектор – полупроводниковый Si(Li) энергодисперсионный с охладителем Пельтье. Диапазон углов 2θ : 5° - 90° . Шаг сканирования – 0.02° . Время интеграции – 1с.

Образец 1a состоит из следующих кристаллических фаз (рис.3.4):

Карбонат кальция-магния ($\text{Ca}_{0.86}\text{Mg}_{0.14}\text{CO}_3$). Номер в базе данных PDF-2: 000-43-0697.

Оксид кремния (SiO_2). Номер в базе данных PDF-2: 010-85-0865.

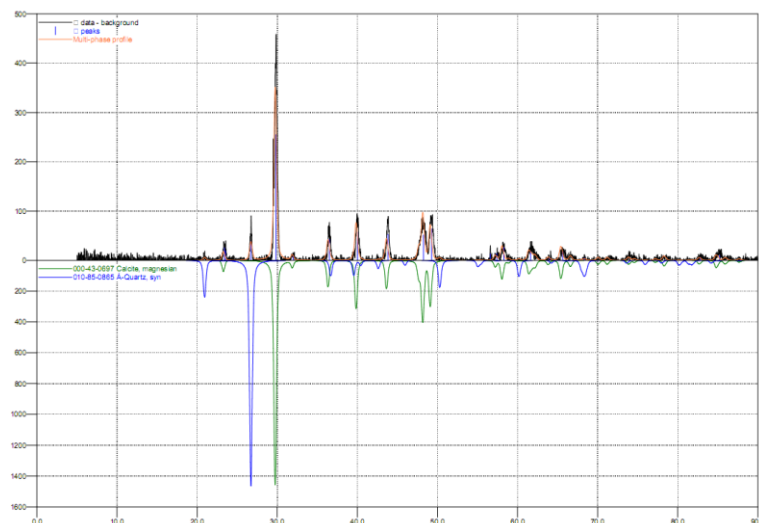


Рис. 3.4 Образец 1a

Образец 1b состоит из следующих кристаллических фаз (фото 6):

Карбонат кальция (CaCO_3). Номер в базе данных PDF-2: 010-70-0095.

Оксид кремния (SiO_2). Номер в базе данных PDF-2: 010-73-3460.

Оксид железа (Fe_2O_3). Номер в базе данных PDF-2: 010-72-6233.

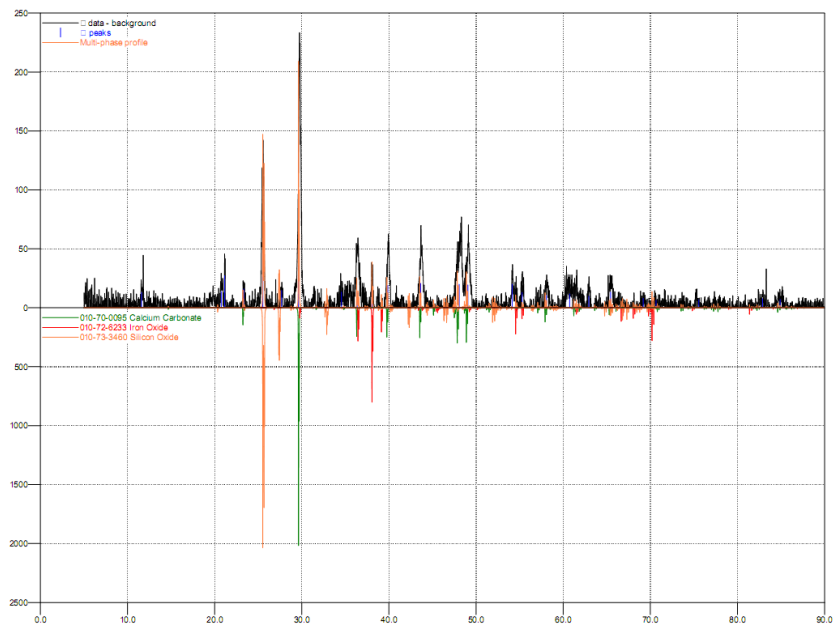


Рис. 3.5 Образец 1b

Образец 2 состоит из следующих кристаллических фаз (рис. 3.6)

Карбонат кальция-магния (CaMgCO_3). Номер в базе данных PDF-2: 000-60-0473.

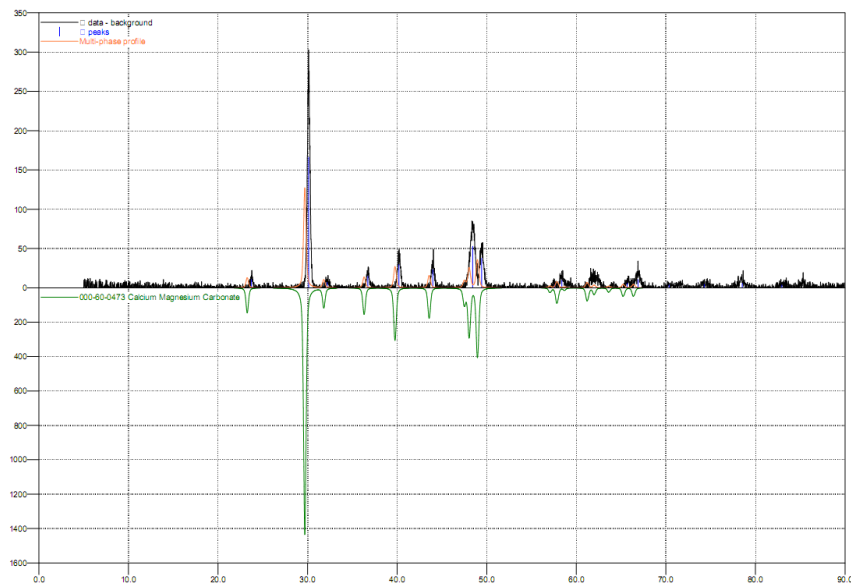


Рис. 3.6 Образец 2

Образец 3 состоит из следующих кристаллических фаз (рис. 3.7):

Карбонат кальция-магния ($\text{Ca}_{0.871}\text{Mg}_{0.129}\text{CO}_3$). Номер в базе данных PDF-2: 010-86-2336.

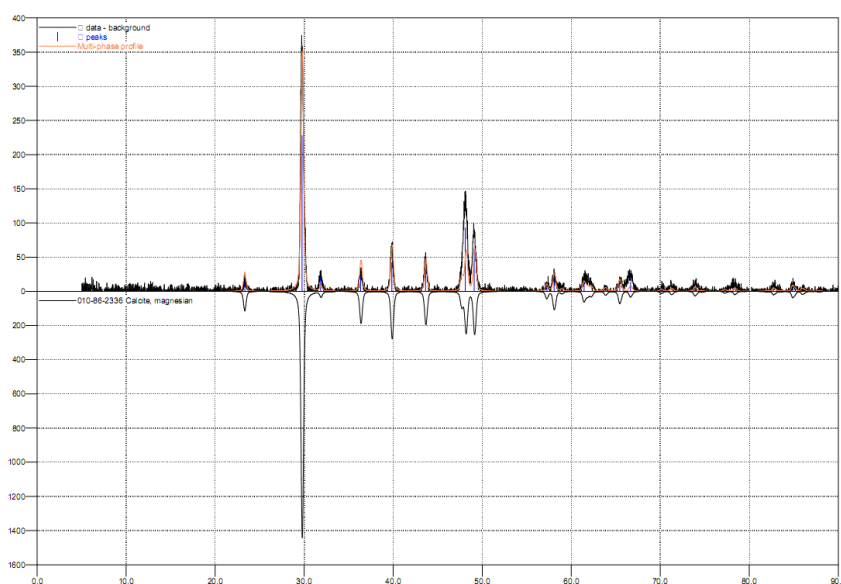


Рис. 3.7 Образец 3

Образец 4 состоит из следующих кристаллических фаз (рис. 3.8):

Карбонат кальция-магния ($\text{Ca}_{0.86}\text{Mg}_{0.14}\text{CO}_3$). Номер в базе данных PDF-2: 000-43-0697.

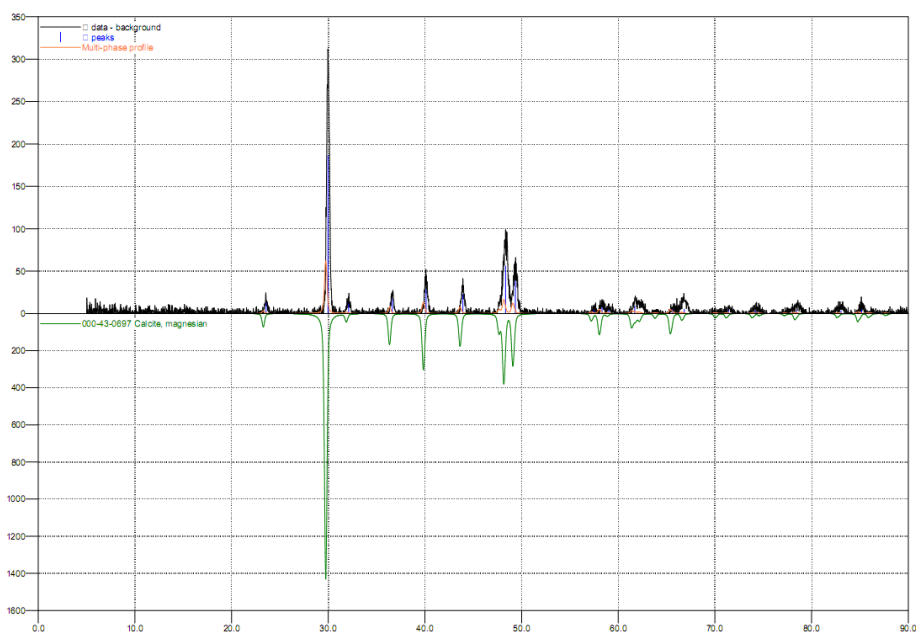


Рис. 3.8. Образец 4

Образец 5 состоит из следующих кристаллических фаз (рис. 3.9):

Карбонат кальция-магния ($\text{Ca}_{0.86}\text{Mg}_{0.14}\text{CO}_3$). в базе данных PDF-2: 000-43-0697.

Оксид кремния (SiO_2). Номер в базе данных PDF-2: 010-75-8320

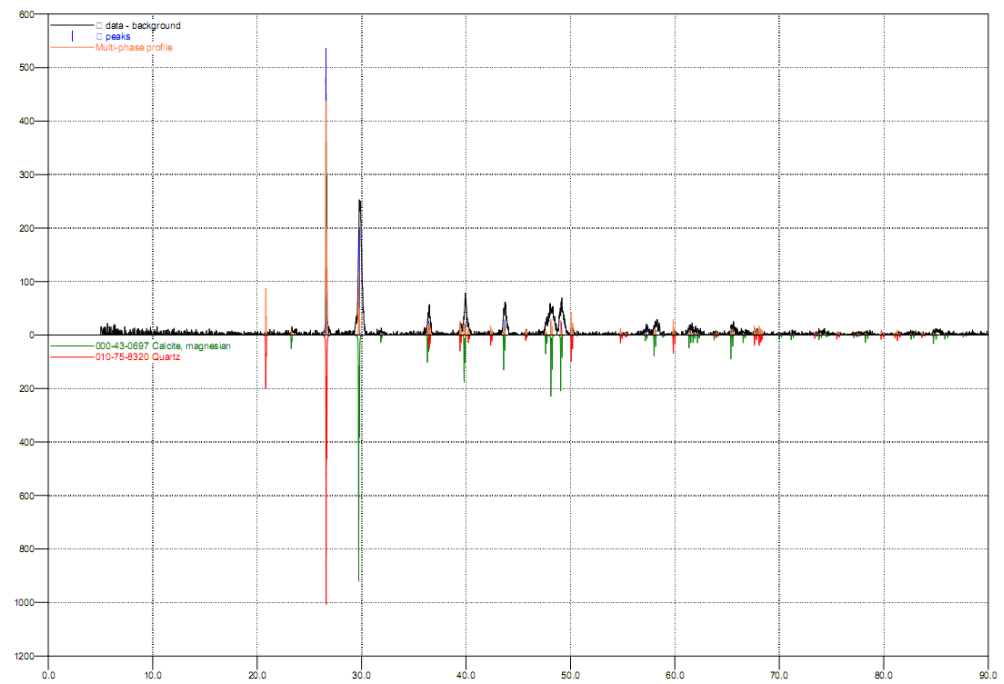


Рис. 3.9. Образец 5

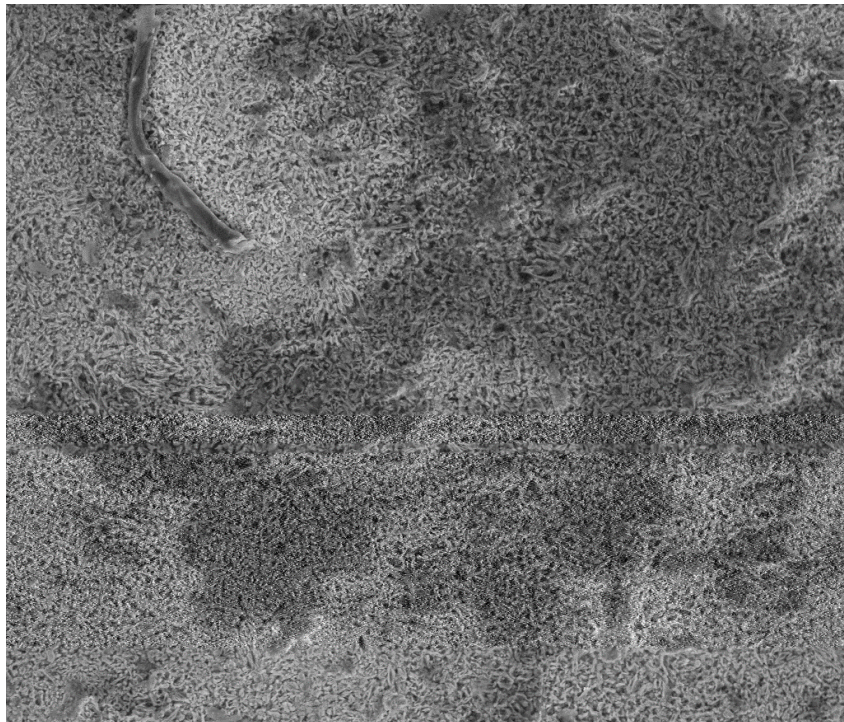


Фото 1. Образец кольматанта № 1

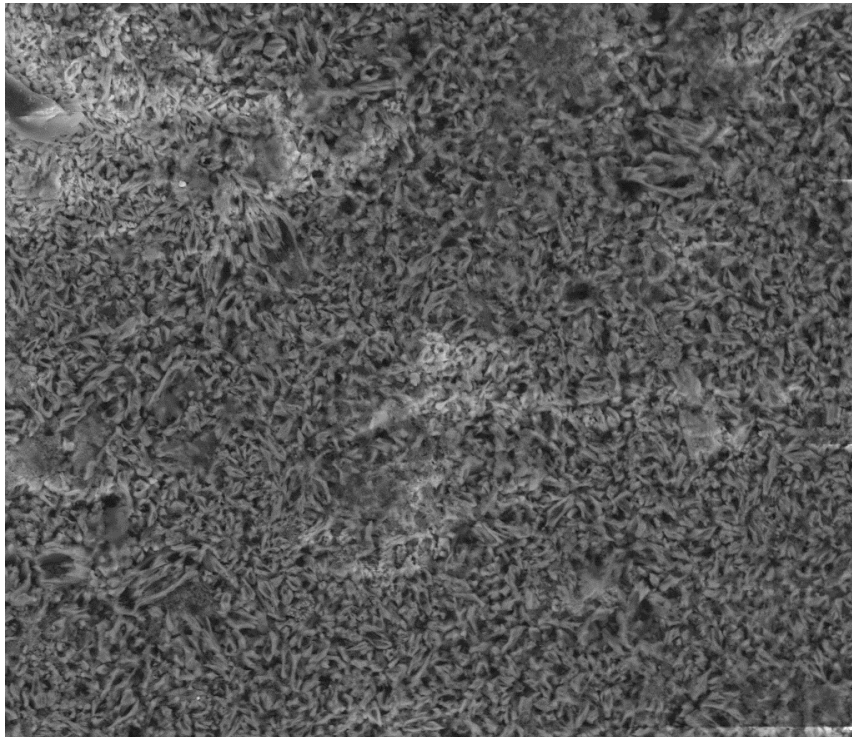


Фото 2. Образец кольматанта № 2

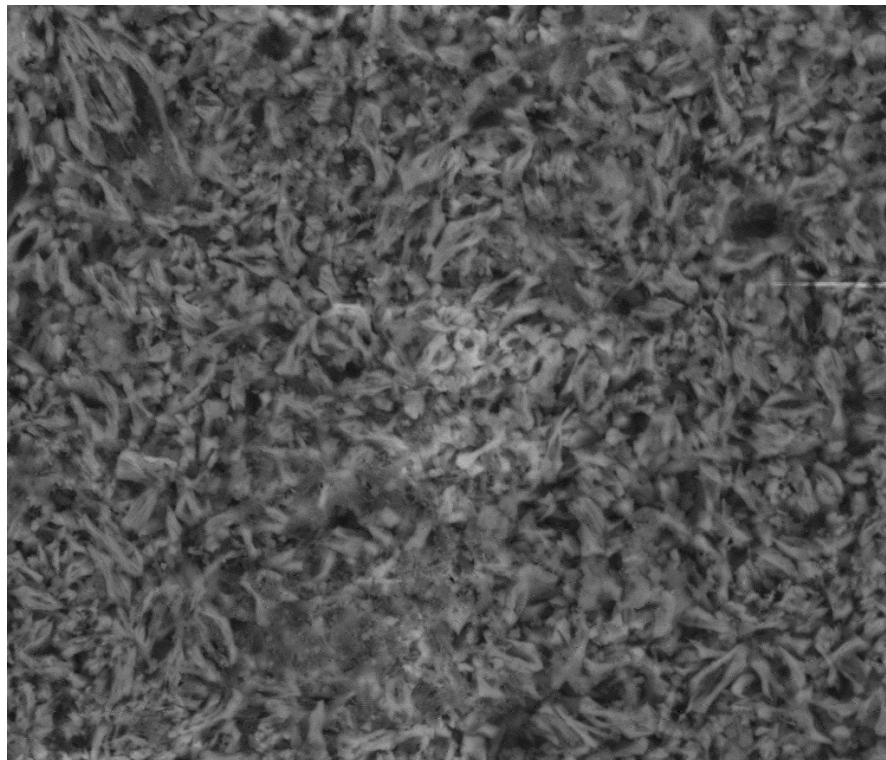


Фото 3. Образец кольматанта № 3

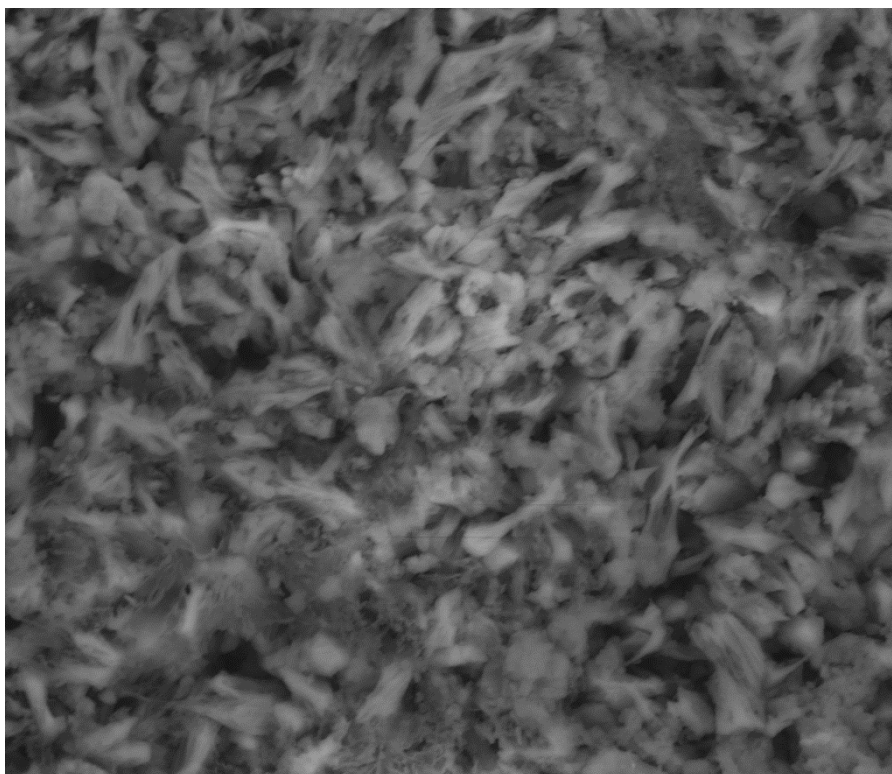


Фото 4. Образец кольматанта №4

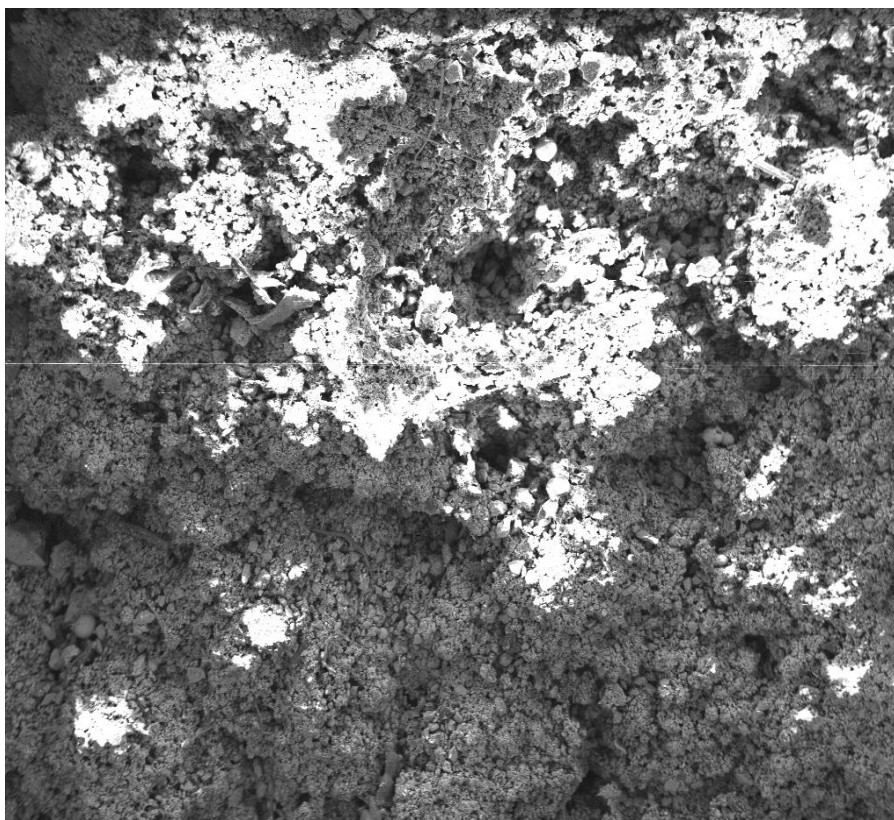


Фото 5. Образец кольматанта № 5

Результаты исследования образцов кольматанта на порошковом рентгеновском дифрактомере ARL X`TRA представлены в протоколе испытаний от

19.07.2019 г. Диффрактограммы образцов кольматанта показывают в рентгеновском отражении наличие кольматантов карбонатов кальция (CaCO_3), карбонатов магния (MgCO_3) и кремния (SiO_2). Полученные экспериментальные результаты позволили разработать оптимальный раствор для регенерации гидрогеологических скважин на территории Ростовской области. 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 дополнительно вводят триполифосфат натрия и адипиновую кислоту. Соотношение, компонентов, масс. %: трихлоруксусная кислота – 10–15; сульфаминовая кислота – 8–10; ингибитор коррозии КПП-19 – 0,3–0,5; поверхностно-активное вещество ПАВ ОП-10 – 0,5–1,0; триполифосфат натрия – 8–12; адипиновая кислота – 8–12; вода остальное. На разработанный раствор для регенерации фильтров 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.

С целью выбора наиболее эффективной промывочной жидкости для регенерации скважин были проведены лабораторные работы. Процесс разрушения кольматанта при промывке скважины моделировался на специально разработанной лабораторной установке (рис. 3.10, состоящей из следующих основных узлов: 1 – сосуд из оргстекла, 2 – сетчатый фильтр, 3 – сваб-пакер, 4 – манжетное уплотнение.

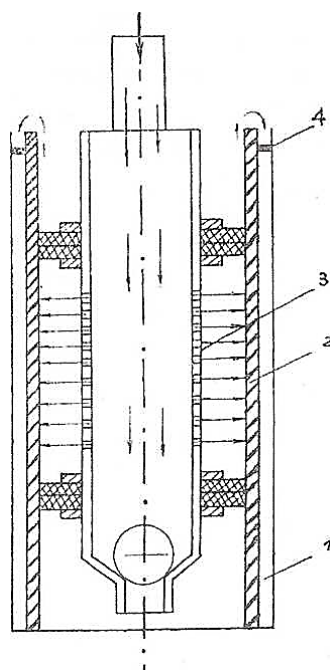


Рис. 3.10. Лабораторная установка для выбора эффективной промывочной жидкости:

1 – сосуд из оргстекла, 2 – сетчатый фильтр, 3 – сваб-пакер, 4 – манжетное уплотнение

С целью подтверждения эффективности предлагаемого раствора в лабораторных условиях было выполнено растворение образцов закольматированного фильтра и определено оптимальное время растворения кольматанта равное 45 минут. Результаты приведены в табл. 3.2.

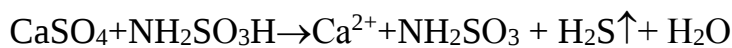
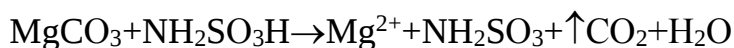
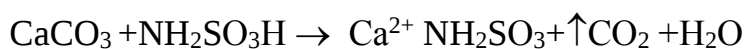
Таблица 3.2. Растворение образцов кольматанта

№	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. Трихлорфосфат натрия – 12		14,0 (образец № 4)	
	6. Адипиновая кислота – 12			

Результаты эксперимента показывают, что предлагаемый нами новый, на уровне изобретения, раствор является более эффективным, причем все химические элементы являются между собой синергетически активными.

Синергетический эффект и составляющая доля действия каждого реагента подтверждена лабораторными опытами. Трихлоруксусная кислота – CCl_3COOH – бесцветные гигроскопические кристаллы, продукт органического синтеза, получают путем окисления хлораля, легко растворяется в воде. Сульфаминовая кислота $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ – бесцветные кристаллы ромбической сингонии. Получают взаимодействием мочевины с SO_3HSO_4 , легко растворяется в воде. Обладает значительной меньшей коррозионной активностью, чем соляная и серная кислота. Ингибитор коррозии КПИ-19 – комбинированный ингибитор, содержащий соли замещенного аммония, бромистые органические соединения. Представляет собой вязкую жидкость желто-зеленого цвета с характерным, запахом, растворимую в воде, минеральных и органических кислотах, органических растворителях. Поверхностно-активное вещество ПАВ ОП-10 уменьшает поверхностное натяжение на границе фильтрующей поверхности фильтра, уменьшает отложение солей, улучшает разрушение карбонатных отложений на поверхности фильтра. Триполифосфат натрия – $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ – порошок белого цвета, хорошо растворимый в воде и кислотах. Адипиновая кислота $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ – белый порошок, получают главным образом двухстадийным окислением циклогексана, который легко растворяется в воде. Реакция с отложением солей на поверхности фильтра происходит следующим образом [52, 58]:

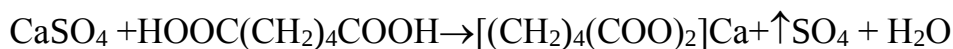
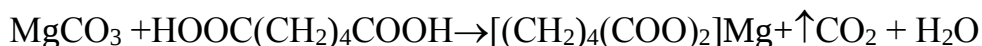
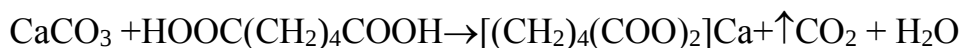
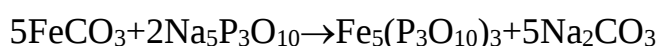
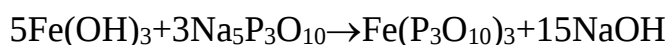
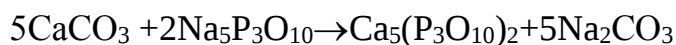
Сульфаминовая кислота $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$



Трихлоруксусная кислота CCl_3COOH



Выше представленные реакции позволяют получать углекислый газ CO_2 , сероводород H_2S и воду H_2O .

Адипиновая кислота $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ Триполифосфат натрия $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 

Выше приведенное воздействие кольматанта с кислотами показывает, что реакции проходят в полном объеме, при этом выделяются такие газы как: CO_2 , H_2S , SO_4 и вода. 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 фильтров водозаборных скважин Пролетарского района Ростовской области.

Степень воздействия реагента на кольматант оценивали по растворенной массе, после реакции с реагентом по истечению времени. Методом вариаций концентраций основных компонентов реагента были подобраны составы водных растворов. Условия лабораторных испытаний: растворы объемом 100 мл готовили на дистиллированной воде (реактивы химически чистые для анализа), температура 20°C , масса образцов кольматирующих образований составляла порядка 10 г, фиксирование массы растворенного кольматанта производилось через 30 и 45 мин, взвешивание производили с точностью до 0,1 грамм. Для воспроизведения результатов опыты повторяли трижды и использовали различные значения кислот, концентрацию которых варьировали в интервале 8–15%. Ингибитор коррозии КПИ-19 использовали в количестве 0,5 %, ПАВ-10 – в количестве 1 %, вода – остальное. Результаты регенерации образцов кольматанта представлены в табл. 3.3.

Полученные данные (см. табл. 3.3, рис. 3.11) показывают, что наиболее эффективными являются растворы четырехкомпонентной смеси из кислот: 15 % трихлоруксусной, 10 % сульфаминовой, 12 % адипиновой, 12 % трихлорфосфата

натрия при воздействии на кольматант в течении 45 минут.

Таблица 3.3. Результаты растворения образцов кольматанта

Наименование кислот	Время раство- рения	Вес образца до испы- таний, г	Вес образца после испытаний, г
Трихлоуксусная, 10 % Сульфаминовая, 8 % Адипиновая 8 % Триполифосфат натрия 8%	15	10,0	8,1
Трихлоуксусная, 13 % Сульфаминовая, 9 % Адипиновая 10 % Триполифосфат натрия 10 %	15	10,1	7,5
Трихлоуксусная, 15 % Сульфаминовая, 10 % Адипиновая 12 % Триполифосфат натрия 12 %	15	10,2	6,9
Трихлоуксусная, 10 % Сульфаминовая, 8 % Адипиновая 8 % Триполифосфат натрия 8 %	30	10,1	4,1
Трихлоуксусная, 13 % Сульфаминовая, 9 % Адипиновая 10 % Триполифосфат натрия 10 %	30	10,0	3,9
Трихлоуксусная, 15 % Сульфаминовая, 10 % Адипиновая 12 % Триполифосфат натрия 12 %	30	10,2	3,3
Трихлоуксусная, 10 % Сульфаминовая, 8 % Адипиновая 8 % Триполифосфат натрия 8 %	45	10,2	2,8
Трихлоуксусная, 13 % Сульфаминовая, 9 % Адипиновая 10 % Триполифосфат натрия 10 %	45	10,1	2,3
Трихлоуксусная, 15 % Сульфаминовая, 10 % Адипиновая 12 % Триполифосфат натрия 12 %	45 60 90	10,2 10,2 10,2	1,4 1,2 1,0
Трихлоуксусная, 20 % Сульфаминовая, 15 % Адипиновая 17 % Триполифосфат натрия 17 %	45 60 90	10,1 10,0 10,2	1,3 1,1 0,9

Увеличение концентрации раствора для регенерации на 5 % не дает существенного эффекта по регенерации образцов кольматанта. Подтверждено также оптимальное время регенерации образцов кольматанта, которое составило 45 минут.

На рис. 3.11 показана зависимость растворения кольматанта от времени в соответствии с табл. 3.3

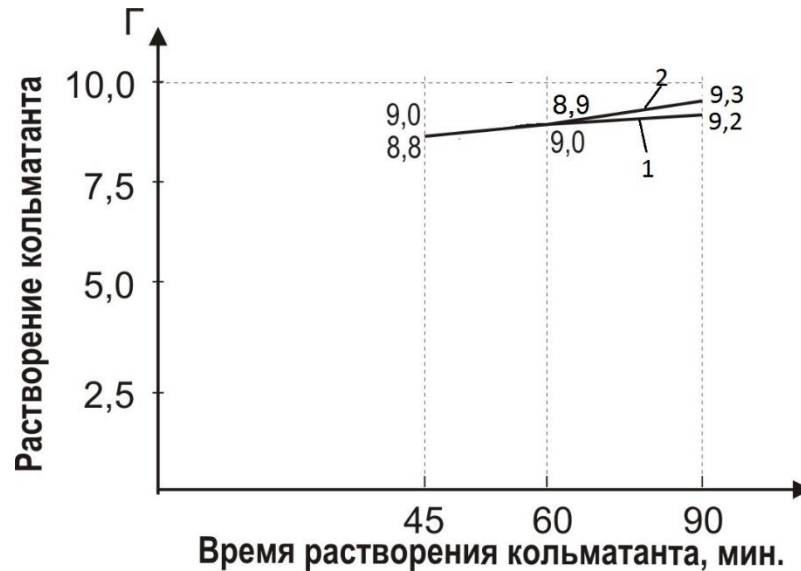


Рис. 3.11 Зависимость растворения кольматанта от времени:

1 – оптимальная концентрация химреагентов, 2 – концентрация химреагентов увеличенная на 5%.

В лабораторных условиях на стенде (рис. 3.12) 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: трихлоруксусная кислота – 15 %, сульфаминовая кислота – 10 %, адипиновая кислота – 12%, трихлорфосфата натрия – 12%, ингибитор коррозии КПИ-19 – 0,5%, поверхностно-активное вещество – ОП-10 – 1%, остальное вода.

Исследованиям подвергались куски фильтров, извлеченные из скважин, проработавших длительный срок на территории Дубовского района Ростовской области, длиной до 0,5 м. При этом использовались растворы, разработанные на кафедре «Нефтегазовые техника и технологии» Южно-Российского государственного технического университета имени М.И. Платова.

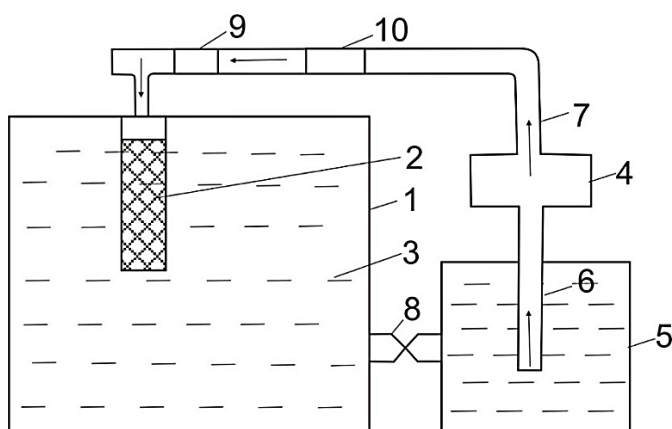


Рис. 3.12. Схема стенда для исследования регенерации фильтров:

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

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 экспериментальных исследований представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4 Результаты регенерации кусков фильтров.

№ скважины	Степень кольматации образца фильтра до регенерации, %	Температура раствора, град.	Степень регенерации образца фильтра после регенерации, %	Время регенерации, мин.	Примечание
18Э	100	10	20	45	
		50	25		
		70	50		
		80	75		
		90	100		
22Э	100	10	20	45	
		50	24		
		75	50		
		80	65		
		90	100		
26Э	100	10	20	45	
		20	25		
		40	35		
		65	50		
		78	75		
		90	100		

Результаты эксперимента, представленные в табл. 3.4 и на рис. 3.12, 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°.

Результаты эксперимента, представленные в табл. 3.4 и на рис. 3.13, 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°.

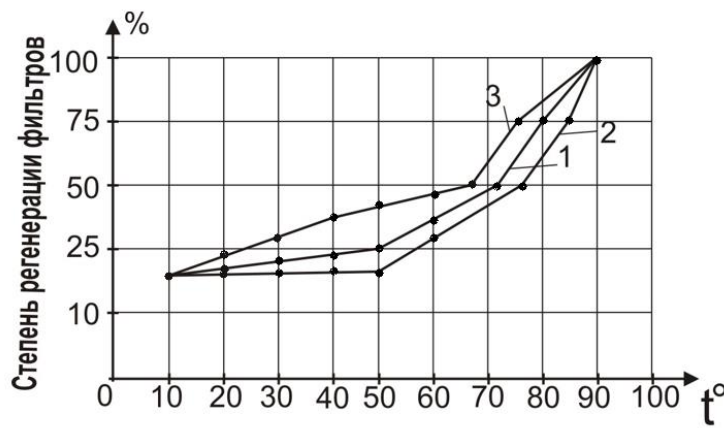


Рис.3.13 Влияние температуры раствора на степень регенерации фильтра:

1 – регенерация скважины № 18Э, 2 – регенерация скважины № 22Э, 3 – регенерация скважины № 26Э

Исходя из результатов экспериментальных данных перед прокачкой раствора, для регенерации фильтра, его желательно подогреть.

С целью выявления зависимости эффективности регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин от концентрации раствора в лабораторных условиях был смонтирован стенд для исследования регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин (рис. 3.14). исследованиям подвергались фрагменты фильтров, извлеченных из 7 скважин с длиной фильтра в среднем 10 метров скважин, проработавших 5 лет на территории Зимовниковского и Орловского районов Ростовской области. Исследования выполнялись на 3-х кусках фильтра из каждой скважины длиной 0,3–0,4 м. С использованием разработанного раствора для регенерации состоящего из: трихлоруксусная кислота, сульфаминовая кислота, адипиновая кислота, трихлорфосфат натрия, ингибитор коррозии КПИ-19, поверхностно-

активное вещество – ОП-10, остальное вода. Для регенерации фрагментов сетчатых фильтров было выбрано установленное ранее оптимальное время – 45 мин., при этом температура раствора составляла 30°C.

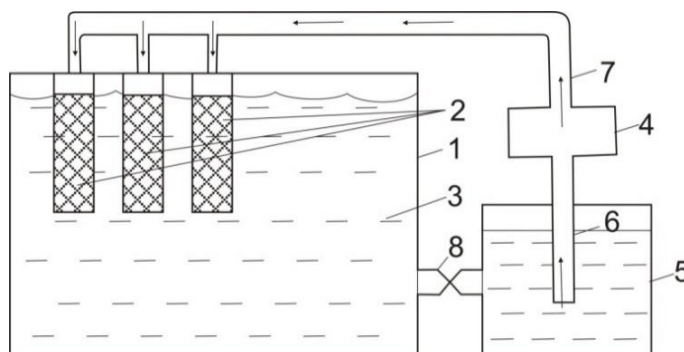


Рис. 3.14. Схема стенда для исследования регенерации фильтров:

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

Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Результаты регенерации частей фильтров

№ скважин	Степень кольматации образцов фильтра до регенерации, %	Концентрация раствора, %	Степень кольматации образцов фильтра после регенерации, %	Время регенерации, мин	Примечание
1	2	3	4	5	6
33Э	100	Трихлоуксусная – 11, Сульфаминовая – 6, Адипиновая – 8, Триполифосфат натрия – 8, КПИ-19 – 0,5, ОП-10 – 1,0, вода – остальное.	75	45	
36Э	100	Трихлоуксусная – 13, Сульфаминовая – 8, Адипиновая – 10, Триполифосфат натрия – 10, КПИ-19 – 0,5, ОП-10 – 1,0, вода – остальное.	80	45	
1Э	100	Трихлоуксусная – 14, Сульфаминовая – 9, Адипиновая – 11, Триполифосфат натрия – 11, КПИ-19 – 0,5, ОП-10 – 1,0, вода – остальное.	90	45	

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6
12Э	100	Трихлоуксусная – 15, Сульфаминовая – 10, Адипиновая – 12, Триполифосфат натрия – 12, КПИ-19 – 0,5, ОП-10 – 1,0, вода – остальное.	100	45	
31Э	100	Трихлоуксусная – 16, Сульфаминовая – 12, Адипиновая – 13, Триполифосфат натрия – 13, КПИ-19 – 0,5, ОП-10 – 1,0, вода – остальное.	100	45	
32Э	100	Трихлоуксусная – 17, Сульфаминовая – 14, Адипиновая – 14, Триполифосфат натрия – 14, КПИ-19 – 0,5, ОП-10 – 1,0, вода – остальное.	100	45	
10Э	100	Трихлоуксусная – 18, Сульфаминовая – 15, Адипиновая – 15, Триполифосфат натрия – 15, КПИ-19 – 0,5, ОП-10 – 1,0, вода – остальное.	100	45	

С целью подтверждения лабораторных испытаний предлагаемый раствор был испытан на девяти эксплуатационных скважинах, расположенных в совхозе Октябрьский Зимовниковского района Ростовской области. Глубина скважин составила 100 м, водоносный горизонт представлен на глубине 81–91 м мелко-среднезернистым песком, фильтровая колонна имеет диаметр 168 мм. Результаты испытания раствора представлены в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Результаты регенерации скважин

№	№ скважины/ отделение	Время эксплуатации скважины, лет	Дебит скважины до регенерации, л/с	Дебит скважины после регенера- ции, 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

Технология приготовления раствора для 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.

После этого с помощью бурового насоса прокачивают полученный раствор через сваб-пакер (см. рис. 3.9), спущенный внутрь фильтра, при этом сваб-пакер перемещается на бурильных трубах, с помощью лебедки бурового станка вверх - вниз по всей длине фильтра. Тонкие струи раствора размывают кольяматант изнутри, и он выносятся потоком промывочного раствора на поверхность. В дальнейшем выполняется откачка воды из скважины с помощью эрлифта или погруженного электронасоса. Испытания разработанного раствора производились также в Пролетарском районе Ростовской области (табл. 3.7).

Таблица 3.7. Результаты регенерации фильтров на Каменском водозаборе подземных вод

№ 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 гидрологических скважин, отработавших более 5 лет, позволили установить, что дебит скважин, на которых была выполнена регенерация, увеличился от 1,9 до 2-х раз.

В Орловском районе Ростовской области было произведено реагентное освоение семи скважин, каптирующих неогеновые и четвертичные водоносные комплексы, приуроченные к средне-мелкозернистым пескам. Скважины оборудованы

фильтрами диаметром 168 мм длиной 10–15 метров. Реагентное освоение производили одним из вышеописанных методов цикличной реагентной обработки. Для реагентной обработки фильтра и пласта использовали разработанный нами раствор для регенерации фильтров гидрогеологических скважин (патент № 2688621).

Как видно из полученных данных, удельный дебит семи эксплуатационных гидрогеологических скважин увеличился в среднем 2,1 раза, то есть практически вернулся к первоначальным значениям.

Бурение экспериментальных скважин было выполнено буровым станком УБР-ЗАМ с прямой промывкой глинистым раствором. Удельные дебиты скважин за время эксплуатации уменьшились от 1,9 до 2,3 раза от первоначального, полученного сразу после сооружения скважин. Исходя из этого было принято решение провести реагентную декольматацию фильтра и водоносного пласта. В пласт закачали 8 м³ технологического раствора. После закачки раствора производили циклическое его задавливание за контур фильтра сжатым воздухом в течении двух часов. Далее раствор оставили без движения в виде реагентной ванны на 6 часов, после чего выполнили в течении двух часов эрлифтную прокачку скважины с отводом жидкости на поверхность по сбросному водоотводу. Выполнив демонтаж эрлифта – смонтировали насос ЭЦВ-6-10-80 и произвели прокачку скважины в течении 8 часов. После выполнения вышеперечисленных операций все семь скважин были запущены в эксплуатацию. Результаты реагентной декольматации представлены в табл. 3.8

Таблица 3.8. Результаты реагентной декольматации.

№ скважины	Глубина скважины, м	Удельный дебит л/с/м		Увеличение удельного дебита, ед.
		До реагентной обработки	После реагентной обработки	
14	101	1,4	2,9	2,1
15	100	1,4	2,8	2,0
17	102	1,2	2,6	2,3
19	99	1,3	2,7	2,1
21	103	1,3	2,8	2,2
22	100	1,4	2,7	1,9
24	102	1,4	2,9	2,1

3.3. Разработка технологии регенерации фильтров эксплуатационных гидрогеологических скважин

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 колюматизирующих соединений в фильтре и прифилтровой зоне скважины (собственно регенерации); контроль за ходом процесса регенерации; определение времени окончания обработки; прокачка скважины после обработки

При выборе способа растворения колюматизирующих соединений в фильтре и прифилтровой 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 колюматанта по всей длине фильтра, в том числе наиболее плотного – в верхней его части. Уменьшение сопротивления зафилтрованного пространства в результате обработки этим способом незначительны по сравнению со способом циклической реагентной обработки.

При циклической реагентной обработке скважин производится задавливание реагента в зафилтрованное пространство. Уменьшение сопротивления достигается увеличением дальности проникновения реагента и образованием очищенных каналов в пористой зоне колюматирования. Циклическое задавливание реагента обеспечивает непрерывное возвратно-поступательное движение реагента в пределах заколюматированной прифилтровой зоны скважины, что существенно интенсифицирует процесс растворения колюматизирующих образований. Недостаточно продолжительная обработка скважины не обеспечивает полного удаления колюматизирующих образований с фильтра и из прифилтровой 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. Для восстановления дебита скважин реагентным способом используются передвижные агрегаты, выполняющие необходимый комплекс технологических операций. Необходимая масса реагента (кг) зависит от массы кольматанта в фильтровой зоне и рассчитывается по формуле:

$$m = 1,2k_1k_2\rho V \quad (3.1)$$

где: k_1 – коэффициент, определяется экспериментально и равен отношению массы реагента к массе растворенного в нем кольматанта, k_2 – коэффициент заполнения пор фильтровой зоны кольматантом ($k_2 \approx 0,1-0,3$), ρ – плотность кольматанта, кг/м³ ($\rho \approx 3000$ кг/м³), V – объём пор фильтровой зоны в начале эксплуатации скважины, м³.

Количество отложившегося кольматанта (кг), определяется по формуле [58]:

$$P_k = \left[\frac{\pi(2R_k + D_\phi)^2}{4} - \frac{\pi R_\phi^2}{4} \right] \cdot L_\phi \rho_k \quad (3.2)$$

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.

Объём раствора (м³) реагента зависит от диаметра, длины фильтра, диаметра и длины отстойника, объема зоны кольматации и определяется [58]:

$$v_p = \frac{\pi(2R_k + D_\phi)^2 L_\phi}{4} + \frac{\pi D_{отст}^2 \cdot L_{отст}}{4}, \quad (3.3)$$

где: D_{ϕ} – внутренний диаметр фильтра, м; L_{ϕ} – длина фильтра, м; $L_{отст}$ – длина отстойника, м.

После монтажа герметизирующего устройства производится проверка системы на герметичность путем опрессовки ее сжатым воздухом при давлении 0,1–0,2 МПа. При падении давления в системе устанавливаются и устраняются утечки воздуха. После монтажа устройства реагентной обработки и проверки его на герметичность производится закачка раствора в фильтр скважины и в таком положении выдерживается – 18 часов. После этого при закрытом трубопроводе в скважину нагнетают сжатый воздух, давление которого контролируют по манометру. Момент прекращения задавливания реагента за контур фильтра контролируют по скачку давления. После этого вентиль закрывают и производят сброс давления по трубопроводу. Время задавливания реагента 50–60 минут, сброс – 3–5 мин. Рациональное количество циклов при обработке 8–10. Общую продолжительность обработки скважины контролируют по стабилизации времени восстановления раствора в трубе.

Наиболее целесообразно в качестве контролирующего показателя при обработке скважин принимать проницаемость прифильтровой зоны в заданном радиусе, которая в свою очередь является функцией насыщенности порового пространства кольматантом. Поэтому время окончания процесса циклической обработки с достаточной степенью достоверности может быть определено по стабилизации коэффициента фильтрации прифильтровой зоны, прослеживаемой по данным о восстановлении (задавливании) уровня жидкости в стволе скважины непосредственно в ходе обработки. Обработку ведут до стабилизации времени восстановления (задавливания) уровня, что свидетельствует при избытке реагента о предельно возможном уменьшении насыщенного порового пространства кольматантом.

При прокачке скважин эрлифтом необходимо соблюдать следующие правила безопасности. Эксплуатация компрессорной установки и воздухопроводов должна производиться в соответствии с требованиями «Правил устройства и безопасной

эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов». Необходимо проверять исправность и герметичность оборудования, воздухопроводов, арматуры и немедленно устранять все недостатки. Применяемое оборудование должно быть опрессовано на давление превышающее максимальное рабочее давление на 50 %. Результаты опрессовки должны оформляться актами. Эрлифтная установка устанавливается на площадке в соответствии с техническими требованиями ее эксплуатации. Жидкость при откачках должна по трубопроводу или шлангу отводиться за пределы рабочей площадки.

Лица, занимающиеся реагентными обработками, должны быть обеспечены для работы с соляной кислотой резиновыми сапогами, костюмами с кислотостойкой пропиткой (ГОСТ 12.4.036-78) или прорезиненными фартуками, резиновыми перчатками (ГОСТ. 9502-60), универсальными противогазами марки «М» (цвет коробки красный!) (ТУ 6-16-14-34-69). Кроме того, для защиты от сероводорода, хлористого водорода должен быть применен противогаз марки «В» (ТУ 6-16-1434-69) или марки «КД» (ТУ 6-16-1434-69).

Опрессовку собранной системы производить воздухом в течение 5 минут давлением, превышающим в 1,5 раза рабочее. Проверку герметичности производить методом обмыливания соединений системы при рабочем давлении 0,2–0,25 МПа. Устранять неисправности только при полностью сброшенном давлении.

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 становится многокомпонентным, 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.

Для регенерации гидрологических скважин на Каменском водозаборе Ростовской области был предложен реагентный метод восстановления дебита, заклю-

чающийся в применении сваб-пакера для регенерации фильтра. Раствор, состоящий из трихлоруксусной кислоты, сульфаминовой кислоты, триполифосфата натрия, адипиновой кислоты; ингибитора коррозии КПИ-19, поверхностно-активного вещества ОП-10 и воды, прокачивают буровым насосом через сваб-пакер (рис. 3.15), который перемещается внутри фильтра на бурильных трубах с помощью лебедки бурового станка вверх-вниз – по всей длине фильтра. Тонкие струи раствора разрушают кольматант изнутри фильтра, и он выносится потоком раствора на поверхность.

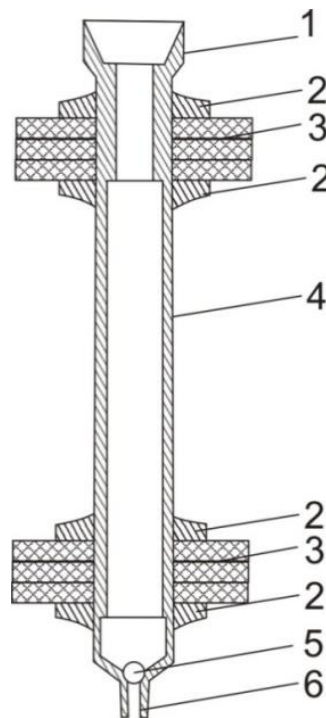


Рис. 3.15. Сваб-пакер:

1 – переходник 2 – шайба металлическая; 3 – резиновые манжеты;
4 – перфорированный патрубок; 5 – металлический шар; 6 – переходник

Сваб-пакер имеет самоуплотняющиеся уплотнители манжетного типа, в которых уплотнительные элементы в свободном состоянии имеют больший диаметр, чем внутренний диаметр фильтра и прижимаются за счет внутренних упругих сил.

Расчетная масса реагентов для регенерации одного метра фильтра с помощью 25 % раствора соляной кислоты и разработанного многокомпонентного раствора приведена в табл. 3.9. Если раствор реагента подается в герметизированную на устье скважину, масса реагента удваивается [69].

Схема обвязки скважин при реагентной обработке показана на рис. 3.16.

Таблица 3.9. Масса реагента для декольматации одного метра фильтра

Диаметр фильтра, мм	Масса реагента, кг/м			
	25 % HCl		Многокомпонентный раствор	
	гравийно-прово- лочный фильтр	сетчатый фильтр	гравийно-прово- лочный фильтр	сетчатый фильтр
114	24–35	12–17	1,6–2,4	1,0–1,3
168	34–45	22–28	2,4–3,6	1,7–2,1
219	62–67	42–47	4,0–4,8	3,1–3,5
245	79–90	63–68	5,6–6,4	4,7–5,2
299	100–110	88–93	7,2–8,0	6,5–7,0

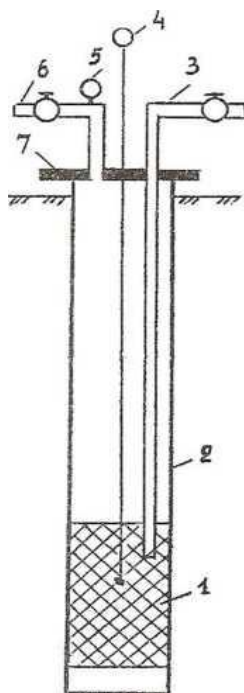


Рис. 3.16. Схема обвязки скважины при реагентной обработке:

- 1 – фильтр; 2 – обсадная труба; 3 – труба с вентилем для закачки реагента; 4 – омметр;
 5 – манометр; 6 – труба с вентилем для выброса продуктов реакции и сброса давления;
 7 – герметизирующее устройство

Известные способы регенерации гидрогеологических скважин не решают в полной мере проблемы очистки фильтров от кольматанта и требуют разработки новых инновационных технологий.

Выбор реагента производится в зависимости от состава кольматирующих соединений и кислотоустойчивости конструктивных элементов фильтра. Исходя из опыта работ на территории Ростовской области известно, что в скважинах, оборудованных сетчатыми фильтрами, толщина закольматированной зоны песков при сроке эксплуатации скважин 5–13 лет не превышает 30 см, что необходимо учитывать при определении величины объема пор закольматированной зоны.

Остаточная насыщенность порового пространства кольматантом после реакгентной обработки может быть определена при известных значениях изменения насыщенности порового пространства и коэффициентах фильтрации прифильтровой зоны до и после обработки (K_1 и K_2) следующим образом [69]:

$$\alpha_2 = \frac{1 \times \sqrt[3]{\frac{K_1}{K_2}} - \Delta\alpha_2}{1 \times \sqrt[3]{\frac{K_1}{K_2}}} . \quad (3.4)$$

По остаточной насыщенности порового пространства α_2 и изменениям ее в ходе обработки $\Delta\alpha_2$ определяется насыщенность порового пространства перед обработкой как $\alpha_1 = \alpha_2 + \Delta\alpha_2$, и далее можно определить коэффициент фильтрации прифильтровой зоны скважины в момент сдачи ее в эксплуатацию:

$$K_0 = K_1 \left(\frac{1}{1 - \alpha_1} \right)^3 . \quad (3.5)$$

При проведении обработок на каждом участке работ ориентировочное количество реагента должно корректироваться по количеству откачанного реагента (избыточному или недостаточному) следующим образом.

При откачке из скважин после обработки в течение 45–60 минут отбирают пробы откачиваемого раствора, в которых определяют концентрацию используемого реагента. Далее в химической лаборатории по изменению концентрации реагентов в ходе откачки рассчитывают количество откачанного реагента в пересчете его на исходную концентрацию с последующим определением количества израсходованного реагента на растворение кольматирующих образований.

При этом также возможно и определение значений соотношения между количеством реагента в пересчете на 100 %-ную концентрацию и количеством кольматанта.

Для восстановления производительности скважин, каптирующих трещиноватые карбонатные породы, необходимое количество соляной кислоты составляет 6–8 т, что позволяет не только растворить кольматирующие образования, но и существенно образом увеличить производительность скважины за счет увеличения

проницаемости прифилтровой зоны. Добавка к соляной кислоте уксусной кислоты в пределах концентраций 1–3 % позволяет снизить скорость реакции соляной кислоты с карбонатами, что увеличивает дальность ее проникновения в пласт.

В зависимости от вида реагента и применяемого оборудования растворы для обработки скважин приготавливаются в заливочной емкости, закачиваются в скважину, либо готовятся непосредственно в стволе скважины.

При соляно-кислотных обработках кислота из цистерны сливается в заливочную емкость, куда вводят необходимое количество порошкообразных фосфатов, после чего насосом производят закачку раствора в герметизированную скважину. При использовании специализированных агрегатов, оборудованных кислотостойкими насосами, порошкообразные фосфаты вводят в скважину, либо в емкость с кислотой, после чего производят закачку раствора в герметизированную скважину.

После монтажа герметизирующего устройства производят проверку системы на герметичность путем опрессовки ее сжатым воздухом при давлении 0,1–0,2 МПа. При падении давления в системе устанавливают место утечки воздуха и устраняют ее.

Схема обвязки скважины одноколонной конструкции для циклической обработки скважины представлена на рис. 3.17. Пакер устанавливают в стволе скважины на такой отметке, чтобы объем жидкости, заключенный в трубе 5 и в подпакерном пространстве до фильтра 1 скважины, составлял не менее объема закольматированной прифилтровой зоны [69].

Ориентировочное время задавливания реагента составляет 5–10 минут, сброс продуктов реакции – 3–5 мин. Рациональное количество циклов при обработке 8–10, а общее время обработки – не более 2-х часов.

В условиях близкого залегания уровня подземных вод к верхней части фильтра, при отсутствии герметичности в колонне обсадных труб при одноколонной конструкции скважины целесообразно использовать схему обвязки скважины, представленную на рис. 3.18. При монтаже устройства в скважине необходимо учитывать, чтобы объем жидкости, отдавливаемый из трубы, был не менее объема закольматированной прифилтровой зоны.

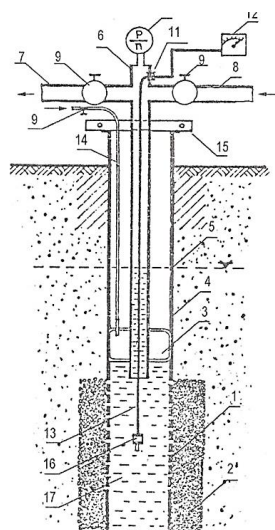


Рис. 3.17. Схема обвязки скважины одноколонной конструкции для циклической реагентной обработки:

1 – фильтр скважины; 2 – гравийная обсыпка; 3 – пневматический пакер; 4 – колонна обсадных труб; 5 – труба; 6 – оголовок; 7 – трубопровод для сброса давления и выпуска продуктов реакции; 8 – трубопровод для подачи реагента и сброса давления; 9 – вентиль; 10 – манометр; 11 – сальниковое уплотнение; 12 – омметр; 13 – двухжильный кабель; 14 – воздухопроводные трубы; 15 – опора; 16 – датчик для замера электрического сопротивления раствора; 17 – реагент

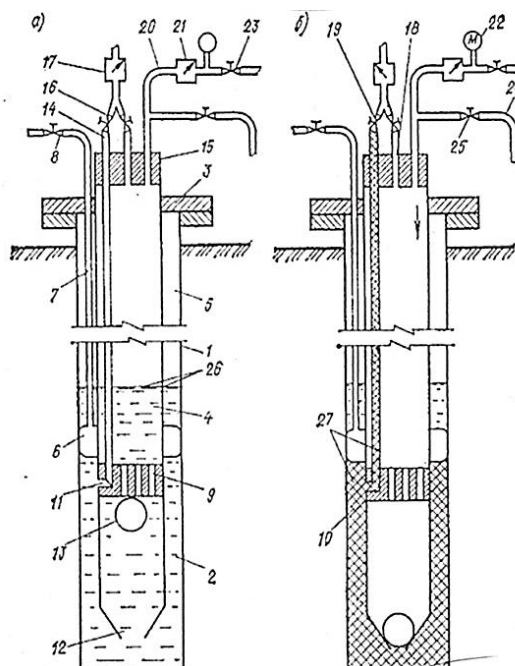


Рис. 3.18. Устройство для циклической реагентной обработки:

1 – скважина; 2 – фильтр; 3 – опора; 4 – труба; 5 – межтрубное пространство; 6 – пакер; 7, 18, 24 – трубопроводы; 8, 16, 19, 23, 25 – вентили; 9 – перегородка; 10 – перфорированное отверстие; 11 – угловой клапан; 12 – коническое седло; 13 – шаровый клапан; 14 – реагентопровод; 15 – крышка; 17, 21 – обратные клапаны; 20 – воздуховод; 22 – манометр; 26 – уровень подземных вод; 27 – реагент

Способ циклической обработки с применением рассматриваемого устройства осуществляют следующим образом. До начала работы устройства в трубе 4 и в межтрубном пространстве 5 находится подземная вода. Через вентиль 8 и трубопровод 7 в пакер подают воздух или воду. Загерметизировав таким образом трубу 4 по отношению к скважине и закрыв вентили 23 и 25, манипулируя вентилями 16 и 19, подают реагент 27 по реагентопроводу 14, угловому каналу 11 в межтрубное пространство 5, а по ветке 18 – в трубу 4. Завершив подачу реагента, закрывают вентили 16 и 19, открывают вентиль 23 и по воздухопроводу 20 нагнетают воздух в трубу 4 под давлением, при котором реагент отжимается вниз, свободно проходит через отверстие 10 в муфте 9, через конусное седло 12 поступает в межтрубное пространство и далее за контур фильтра в пласт. В момент полного вытеснения реагента из трубы 4 шариковый клапан 13 уплотняется на конусном седле, не допуская прорыва воздуха в межтрубное пространство, и, таким образом, предотвращая газовую кольматацию при фильтровой зоны скважины [69].

В случае возникновения газлифта срабатывают обратные клапаны 17 и 21, предотвращая попадание газореагентной смеси в емкость с реагентом в ресивер компрессора. Особое внимание следует обращать на герметизацию всех соединительных элементов устройства, обеспечивающих постановку плавающего шарового клапана 13 на седло 12.

Схема обвязки скважины, оборудованной фильтром впотай, для циклической реагентной обработки представлена на рис. 3.19 [69].

Обработка скважины при такой обвязке производится следующим образом.

После установки уплотнительного элемента 7 на верхнюю часть фильтровой колонны 5 и проверки системы на герметичность в скважину подается расчетное количество реагента с помощью сжатого воздуха при открытых ventилях 16, 15 и закрытом вентиле 14. При этом реагент отжимается в фильтр и за его контур, свободно проходя через перфорированную перегородку 4 в запорном устройстве. В момент полного вытеснения реагента из емкости 18 и трубы 8 шаровой клапан 3 уплотняется на конусном седле 2, не допуская прорыва воздуха в межтрубное пространство.

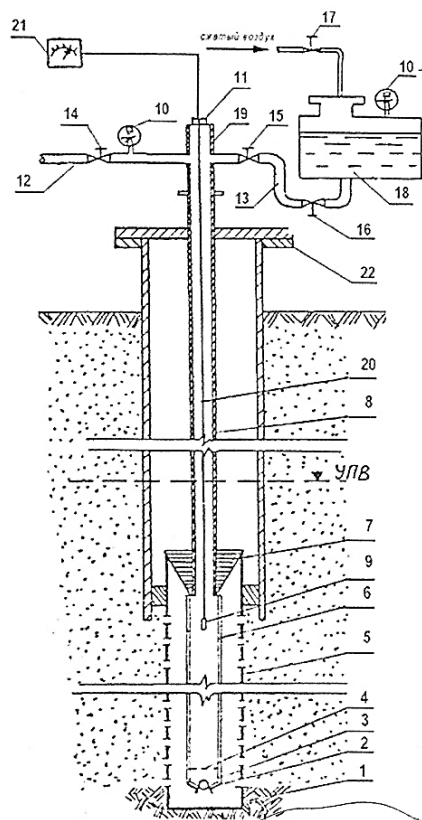


Рис. 3.19. Схема обвязки скважины для циклической реагентной обработки:

1 – отстойник; 2 – конусное седло; 3 – шаровой клапан; 4 – перфорированные отверстия; 5 – фильтр; 6 – вставка; 7 – уплотнительный элемент; 8 – реагентопровод; 9 – датчик сопротивления; 10 – манометр; 11 – сальниковое уплотнение; 12 – трубопровод для сброса продуктов реакции; 13 – трубопровод для подачи реагента и сжатого воздуха; 14, 15, 16, 17 – вентиль; 18 – емкость с реагентов; 19 – оголовок; 20 – кабель; 21 – омметр; 22 – опора

Момент прекращения задавливания реагента за контур фильтра контролируют по скачку давления, фиксируемого по манометру 10.

После этого вентиль 14 открывают, сбрасывают давление, компрессор выключают, вентили 15, 16 и 17 закрывают и емкость 18 отключают от трубопровода 13. Компрессор подключают к трубопроводу 13.

После восстановления уровня жидкости в трубе 8 до положения, близкого к статическому, что может контролироваться уровнемером, производят следующий цикл обработки. В ходе обработки фиксируют по омметру 21 электрическое сопротивление раствора в фильтре скважины при помощи датчика 19.

Способ реагентной ванны применяют при глубоком уровне подземных вод (более 50 м), при высоте столба воды в стволе скважины свыше 60–70 м, то есть, когда практически нельзя производить отдавливание реагента за контур фильтра

при помощи сжатого воздуха, подаваемого от передвижной компрессорной станции. При обработке скважин, каптирующих водонасыщенные песчаные коллектора, процесс растворов дегидратированных кольматирующих образований определяется малыми скоростями диффузии, поэтому приращение производительности скважин и уменьшение их сопротивления в результате обработки незначительны по сравнению со способом циклической реагентной обработки.

Способ реагентной ванны осуществляют следующим образом. После монтажа герметизирующего устройства и проверки его на герметичность производят закачку раствора в фильтр скважины и в таком положении выдерживают: для растворов соляной кислоты и дитионита натрия – 10–12 часов; для растворов гидразина солянокислого, бисульфата натрия и подкисленного раствора фосфатов – 14–16 часов; для фосфатных растворов – 20–24 часа. По истечении указанного времени производят сброс продуктов реакции.

При циклической реагентной обработке скважин эффективность регенерации скважин во многом обеспечивается достаточной продолжительностью процесса растворения кольматирующих образований при заданном гидродинамическом режиме обработки. Недостаточно продолжительная обработка скважин не обеспечивает полного удаления кольматирующих образований с фильтра и из прифилтровой зоны, что не позволяет в полной мере достигнуть необходимой производительности скважины и существенным образом снижает срок ее межремонтного периода. Излишняя продолжительность времени обработки скважины увеличивает время контакта агрессивных сред с металлическими конструкциями скважины и оборудования, а также необоснованно увеличивает время пребывания ремонтной бригады на скважине.

Общая продолжительность обработки определяется динамикой растворения кольматанта, гидродинамическими условиями обработки и начальной проницаемостью закольматированной зоны скважины. Наиболее целесообразно в качестве контролирующего показателя при обработке скважин принимать проницаемость прифилтровой зоны в заданном радиусе, которая в свою очередь является функцией насыщенности порового пространства кольматантом. Поэтому время окончания процесса циклической обработки с достаточной степенью достоверности может

быть определено по стабилизации коэффициента фильтрации прифильтровой зоны, прослеживаемой по данным о восстановлении (задавливании) уровня жидкости в стволе скважины непосредственно в ходе обработки. Обработку ведут до стабилизации времени восстановления (задавливания) уровня, что свидетельствует при избытке реагента о предельно возможном уменьшении насыщенного порового пространства кольматантом.

Контроль за ходом циклической обработки осуществляют следующим образом. В каждом цикле обработки, при сбросе давления сжатого воздуха с одного и того же значения в период выпуска продуктов реакции, определяют, с помощью секундомера, время восстановления уровня жидкости. При стабилизации этих значений обработку скважины прекращают. Время восстановления уровня жидкости определяется при помощи различных электроуровнемеров, датчиков гидростатического давления жидкости или специальных сигнальных устройств, устанавливаемых в скважине при монтаже герметизирующих устройств. Датчик уровнемера рекомендуется устанавливать на 30–40 см ниже статического уровня. Время окончания обработки может быть установлено также и по стабилизации времени задавливания реагента. Существенным преимуществом такого способа контроля за ходом обработки является совмещение в одном комплексе собственно технологических и контрольных операций.

Контроль за ходом обработки осуществляют следующим образом. При монтаже устройства для обработки скважины в ее фильтре на кабеле устанавливают датчик для замера электрического сопротивления и в процессе обработки измеряют электрическое сопротивление раствора. Измерение сопротивлений можно производить при помощи омметра М57Д, индикатора сопротивлений типа ММЗ и др. Во избежание поляризации электродов единичное измерение рекомендуется проводить в течение 5–10 сек. Регенерацию скважины ведут до стабилизации электрического сопротивления раствора, свидетельствующей об окончании процесса перехода в раствор кольматирующих соединений.

Контроль за ходом реагентной обработки может также осуществляться при помощи различных конструкций рН-метров и иономеров путем измерения в фильтре

скважины стандартными датчиками величин pH раствора (для реагентов-нейтрализаторов) или величин Eh (для реагентов-восстановителей). Стабилизация измеряемых значений также свидетельствует об окончании реакции между коагулирующими соединениями и реагентом.

Рекомендуемые способы контроля за ходом реагентных обработок приведены в табл. 3.12.

Таблица 3.12. Данные о способах контроля за ходом реагентных обработок скважин

Контролируемый параметр	Способ контроля за ходом обработки скважин	Ограничения в применении способа
Коэффициент фильтрации прифильтровой зоны	По стабилизации времени восстановления уровня при циклическом задавливании реагента	1. Оборудование для обработки скважины должно быть герметичным. 2. Отсутствует газлифтный выброс из ствола скважины
Концентрация растворенных коагулирующих образований	По стабилизации электрического сопротивления раствора в фильтре скважины	Неприменим при термореагентных методах
pH раствора	По стабилизации величины pH раствора в фильтре скважины	Применим только для реагентов-нейтрализаторов
Eh раствора	По стабилизации величины Eh раствора в фильтре скважины	Применим только для реагентов-восстановителей

После окончания обработки производится выпуск продуктов реакции; помещение колодца или насосной станции продувается сжатым воздухом до полного удаления вредных газов. Далее демонтирует оборудование для обработки, монтируют эрлифт или электропогружной насос и прокачивают скважину. Сброс откачиваемой жидкости производят в канализационную систему, а при ее отсутствии в специально вырытую огороженную яму в земле на расстоянии не менее 25 м от скважины. Категорически запрещено производить сброс откачиваемой жидкости в поверхностные водоемы и водостоки.

Качественная оценка насыщенности откачиваемой жидкости растворенными коагулирующими соединениями и остаточным количеством реагента производится путем сравнения электрического сопротивления воды взятой до обработки скважины с пробами воды, взятыми в процессе откачки. При достижении равенства значений электрического сопротивления - идентичности минерализации, откачку прекращают.

При правильном подборе необходимого количества реагента и монтаже эрлифта в фильтре скважины продолжительность откачки после реагентной обработки не превышает 1–1,5 часов.

В период откачки воды из скважины, после обработки производится определение удельного дебита скважины. Эффективность обработки оценивается путем сопоставления достигнутого удельного дебита после обработки с первоначальным, т.е. в момент сдачи скважины в эксплуатацию, и с удельным дебитом, замеренным до обработки.

Подключение скважины к эксплуатации после обработки разрешается только после выдачи заключения органов санитарной охраны о соответствии воды нормам ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая». По окончании работы составляется акт на реагентную обработку. Акт подшивается в паспорт скважины.

Выполненные лабораторно-экспериментальные и полевые работы по разработке оптимального раствора и технологии регенерации сетчатых фильтров и прифильтровых зон эксплуатационных гидрогеологических скважин позволяют сделать выводы: 1) на основе изучения кольматанта, взятого на поверхности фильтров водозаборных скважин Ростовской области было установлено, что кольматант состоит в основном из бикарбонатов кальция (CaCO_3), магния (MgCO_3) и кремния (SiO_2); 2) разработанный, на уровне изобретения (патент RU 2688621), оптимальный раствор для регенерации сетчатых фильтров и прифильтровых зон гидрогеологических скважин имеет состав: трихлоруксусная кислота – 15 %, сульфаминовая кислота – 15 %, адипиновая кислота – 12 %, триполифосфат натрия – 12 %, ингибитор коррозии КПИ-19, поверхностно-активное вещество ОП-10 – 1 %, вода – остальное; 3) разработанная для геолого-гидрологических условий Ростовской области, технология регенерации гидрогеологических скважин является оптимальной и внедрена в практику буровых работ ООО НПП «Ростовская буровая компания»; 4) применение разработанной технологии регенерации позволяет добиться увеличения удельного дебита эксплуатационных гидрогеологических скважин в среднем в 2 раза; 5) разработанная технология регенерации фильтров и прифильтровых зон эксплуатационных гидрогеологических скважин в настоящее время является эффективной, но требует дальнейшего усовершенствования и работы в этом направлении необходимо продолжить.

ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Оценка экономической эффективности реагентной обработки эксплуатационных гидрогеологических скважин

При расчете экономического эффекта использовалась методика определения экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений, а также отраслевые методические указания и инструкции, разработанные на основе типовых документов и учитывающие специфику определения экономического эффекта путем сопоставления приведенных затрат по сравниваемым вариантам базового и нового решения.

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2) \cdot A_2, \quad (4.1)$$

здесь $\mathcal{E}$ – годовой экономический эффект, руб.;

A_2 – средне годовой дебит скважины в результате внедрения новой техники в расчетном году, м³/час;

Z_1 и Z_2 – приведенные затраты единицы продукции, производимой с помощью базовой и новой техники, определяемые по формуле, руб.:

$$Z = C + E_n K, \quad (4.2)$$

где C – себестоимость затрат единицы продукции, руб.;

K – удельные капиталовложения в производственные фонды, руб.;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимаемый равным 0,25.

В соответствии с этим расчет годового экономического эффекта определится по формуле, руб:

$$\mathcal{E} = E_n \cdot \left(\frac{K'_1}{A_1} - \frac{K'_2}{A_2} \right) A_2 + \left(\frac{I_1}{A_1} - \frac{I_2}{A_2} \right) A_2, \quad (4.3)$$

где K'_1 и K'_2 капиталовложения в производственные фонды по сопоставляемым вариантам, руб.;

A_1 и A_2 – дебит скважины до и после обработки, м³/час;

I_1 и I_2 – годовые эксплуатационные затраты по сопоставляемым вариантам.

В качестве базы сравнения при расчетах экономического эффекта разработки (способ обработки, устройство для обработки, раствор и др.) во все годы их использования применяются среднегодовые показатели заменяемой техники в году, предшествовавшем началу использования разработки.

В объём капитальных вложений включают следующие затраты:

а) проходящие строительные работы (бурение скважины, сооружение павильона, водонапорной башни, зоны санитарной охраны, подъездной дороги к скважине); б) стоимость оборудования (электропогружного насоса, станции управления, трубопровода от скважины к водонапорной башне и др.); в) стоимость монтажа оборудования; г) затраты на приобретение инструмента и инвентаря, относимые к основным фондам; д) прочие непредвиденные расходы.

При расчете годовых эксплуатационных затрат учитываются затраты на:

а) электроэнергию; б) амортизационные отчисления; в) техническое обслуживание и текущий ремонт; г) заработную плату и начисления на социальное страхование; д) реагентную регенерацию скважин; е) прочие расходы.

Ниже приведён пример расчета годового экономического эффекта от внедрения способа циклической реагентной обработки на скважине глубиной 100 метров с диаметром эксплуатационной колонны 168 мм по состоянию на 1.01.2019.

Расчётные показатели сопоставляемых вариантов представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Расчётные показатели сопоставляемых вариантов

№ п/п	Наименование показателя	Единицы измерения	До обработки	После обработки
1	Капиталовложения	руб.	7100000	7100000
2	Эксплуатационные затраты	руб.	2138000	2524000
3	Дебит скважины	м ³ /час	4,1	8,2

Экономическая эффективность от регенерации одной скважины в ценах на 1 января 2019 года составит:

$$\mathcal{E} = 0,25 \left(\frac{710000}{4,1} - \frac{710000}{8,2} \right) 8,2 + \left(\frac{213800}{4,1} - \frac{252400}{8,2} \right) 8,2 = 352 \text{ т. р}$$

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 минерали-

зации 2/3 г/л – 2–3 года, а первые регенерационные мероприятия начинают проводить при прошествии 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 коррозионно-стойких 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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.С. Влияние неравномерности нагрузки фильтров на приток к скважине // Водоснабжение и сантехника, 2008, № 8.
2. Алексеев В.С., Коммунар Г.М. Кольматаж фильтров и прифильтровых зон водозаборных скважин. – Водные ресурсы. – 1974, № 5. –С. 170–177.
3. Алексеев В.С. Рекомендации по восстановлению производительности скважин реагентными методами / Алексеев В.С., Гаврилко В.М., Гребенников В.Т. – М., Изд-во ВНИИВОДГЕО, 1975.
4. Алексеев В.С., Гуринович А.Д. Пусковые режимы работы водозаборных скважин с погружными насосами – Гидротехника и мелиорация, 1973. № 9, С. 90–94.
5. Алексеев В.С. Гидрогеологическое обоснование методов восстановления производительности скважин на воду / Алексеев В.С., Гребенников В.Т., Астрова Н.В. // Гидрогеология и инженерная геология, Т.6 (Итоги науки и техники). – М.: ВИНТИ, 1978.
6. Амиян В.А., Амиян А.В. Повышение производительности скважин М.: Недра, 1986. – 159 с.
7. А.с. 972061 (СССР) раствор для регенерации скважин / ВНИИВОДГЕО; авторы изобретения: Алексеев В.С., Гребенников В.Т., Стэдник А.М. и др.– Опубл. в В.И., 1982, № 41.
8. А.с. 800180 (СССР) Состав для обработки скважин / ВНИИ ВОДГЕО; авторы изобретения: Алексеев В.С., Гребенников В.Т., Хлистунов В.В. – опубл. в В.И., 1981, № 4.
9. Алексеев В.С., Гребенников В.Т. Восстановление дебита водозаборных скважин – М.: Агропромиздат, 1987.
10. Алексеев В.С., Гребенников В.Т. Инструкция по применению реагентных методов при реконструкции (регенерации) скважин на воду. – ВНИИВОДГЕО. – М., 1984, 67 с.

11. Алексеев В.С. Принципы проектирования и эксплуатации наблюдательных скважин / Алексеев В.С., Зайцев А.С., Круглова Н.Д. // Гидрогеология и инженерная геология. – М.: ВИЭМС, 1981.
12. Алексеев В.С. Рекомендации по импульсным методам восстановления производительности скважин на воду. – М.: ВНИИВОДГЕО, 1979.
13. Алексеев В.С. Рекомендации по виброреагентному восстановлению производительности скважин. – М.: ВНИИВОДГЕО, 1982.
14. Алексеев В.С. Рекомендации по импульсно-реагентным методам восстановления производительности скважин на воду. – М.: ВНИИВОДГЕО, 1982.
15. Алексеев В.С. Руководство по применению реагентных методов восстановления производительности скважин. – М.: ВНИИВОДГЕО, 1977.
16. Алексеев В.С., Щеглов Е.Ю. Импульсные методы освоения и регенерации скважин на воду. – М.: ВНИИВОДГЕО, 1977.
17. Алексеев В.С., Тесля В.Г. Критерии проектирования фильтров водозаборных скважин // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. – № 11.
18. Алямовский А.А. // Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский // СПб: БХВ-Петербург, 2005. – С. 163–170.
19. Башкатов Д.Н. Справочник по бурению скважин на воду. – М.: Недра, 1979.
20. Башкатов Д.Н., Панков А.В., Коломиец А.М. Прогрессивная технология бурения гидрогеологических скважин. – М.: Недра, 1992.
21. Башкатов Д.Н., Роговой В.Л. Бурение скважин на воду – М.: Колос, 1976.
22. Богданов Н.И., Третьяк А.Я., Павлунишин П.А., Богданов А.Э. Эксплуатация и регенерация скважин на воду. Южно-Российский государственный технический университет (НПИ). – Новочеркасск: Изд-во ООО «Лик», 2008. – 151 с.

23. Боровский Б.В., Ершов Г.Е., Кузнецов А.В., Кувыкина Ю.Ю. «Обоснование источников водоснабжения олимпийских объектов «Сочи-2014» за счет подземных вод» // Разведка и охрана недр.– М., 2010. – С. 68–70.
24. Боровский Б.В., Язвин А.Л. Основные этапы развития учения об оценке эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод в СССР и современной России. Прошлое, настоящее, будущее// Недропользование XXI век. – 2012, № 2. – С. 44–54.
25. Боровский Б.В., Язвин А.Л. Еще раз об упрощенных требованиях к оценке запасов подземных вод на участках недр, эксплуатируемых одиночными водозаборами: состояние проблемы и пути решения// Разведка и охрана недр. – 2014. –№ 5, С. 32–39.
26. Боровский Б.В., Язвин А.Л. Особенности методики оценки эксплуатационных запасов подземных вод в районах их интенсивной эксплуатации (на примере Московского региона). Разведка и охрана недр. – 2012. – № 11, С. 3–13.
27. Боровский Б.В., Язвин А.Л. Кондиционные и некондиционные питьевые и технические подземные воды. Проблемы изучения, назначения использования, нормативной базы. // Разведка и охрана недр. – 2012. – № 11. С. 18–26.
28. Боровский Б.В., Зекцер И.С., Язвин А.Л., Язвин Л.С. Возобновляемые подземные водные ресурсы // «Водные ресурсы России и их использование». Ред. Шикломанов И.А. С-Петербург, 2008. – С. 229–281.
29. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин. – Ростов-на-Дону, «Феникс», 2017. – 367 с.
30. Гаврилко В.М., Алексеев В.С., Коммунар Г.М. Метод определения количества реагента при восстановлении производительности скважин. – Водоснабжение и санитарная техника, 1973, № 9. – С. 24–26.
31. Гаврилко В.М. Сооружение высокодебитных водозаборных и дренажных скважин. – М.: Колос. 1975.
32. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин – М.: Недра,

1976. – 344 с.

33. Гарипов А.А., Константинов С.Ю., Тук Д.Е., Целищев Д.В. // Численное моделирование течения в фильтре. Уфа. Вестник уфимского государственного авиационного технического университета. 2013, т.17, №3 (56). С. 153–158.

34. Грикевич Э.А. Гидравлика водозаборных скважин. – М.: Недра, 1986.

35. Боровский Б.В., Ершов Г.Е., Кувыкина Ю.Ю. «Геофильтрационная модель Нижнезмтинского месторождения пресных подземных вод на Черноморском побережье Кавказа и ее изменения в условиях интенсивной антропогенной нагрузки» // Сборник трудов «Водоснабжение, водоотведение, гидротехника и инженерная гидрогеоэкология», Вып. 13. – М., 2012. – С. 85.

36. Коломиец А.М., Зайцев Б.И., Голиков С.И. Новые технические средства и технологии для бурения скважин на воду. – М., 2010. – С. 234.

37. Классен В.И. Вода и магнит. – М.: Наука, 1973. – С. 111.

38. Ловля С.А. Взрывные работы в водозаборных скважинах. – М.: Недра, 1971.

39. Ошовский В.В., Дюбанов А. // Компьютерное моделирование гидродинамических эффектов, возникающих в сужающем устройстве/ Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Хімія і хімічна технологія. Випуск 2 (21), 2013. – С. 169–179.

40. Пугач С.Я., Боровский Б.В., Язвин А.Л. Северо-Западный Федеральный округ. Подземные воды. Состояние обеспеченности питьевыми и техническими водами // Минеральные ресурсы России, 2008. – № 4. – С. 88–93.

41. Тесля В.Г. Обоснование длины и диаметра фильтра при проектировании скважин на воду. // Водоснабжение и санитарная техника. № 10. – 2009, Ч. 2.

42. Третьяк А.Я. Сооружение гидрогеологических скважин. – Новочеркасск, 1992.

43. Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Швеи В.В. Скважинный самоочищающийся фильтр. Патент № 265514, заявл. 13.04.2018, опубл. 19.04.2019. Бюл. № 11, 8 с.

44. Третьяк А.Я., Бурда М.Л., Онофриенко С.А. Самоочищающийся скважинный фильтр // Строительство, нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2011, № 10. – С. 28–29.
45. Третьяк А.А., Рыбальченко Ю.М., Швец В.В., Лубянова С.И., Турунтаев Ю.Ю., Борисов К.А. Буровой раствор. Патент № 2582197, заявл. 25.03.2015, опубл. 20.04.2016. Бюл. № 11.
46. Третьяк А.А., Попов В.В., Богущ И.А., Кокарев М.О., Швец В.В. Скважинный фильтр. Neftegaz.ru. № 7, 2017 г. С. 44–48.
47. Третьяк А.А., Кокарев М.О., Швец В.В. Фильтр для скважин на углеродное сырье и воду. 1-я Международная научно-практическая конференция. Булатовские чтения. 31 марта 2017 г. Том 3. Краснодар, 2017, С. 262–266.
48. Третьяк А.А., Швец В.В. Критерии проектирования фильтров гидрогеологических скважин // Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее» (к 100-летию МГРИ-РГГРУ). Материалы Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах. 2018, С. 245–246.
49. Третьяк А.А., Швец В.В. Самоочищающийся скважинный фильтр. Разведка и охрана недр. – Москва, № 8, 2018.
50. Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Швец В.В. Скважинный самоочищающийся фильтр. Патент №2681773, заявл.13.04.2018, опубл.12.03.2019. Бюл. №8. – 10 с.
51. Третьяк А.А., Швец В.В. Раствор для регенерации фильтров гидрогеологических скважин. Патент № 2688621.заявл. 01.08.2018, опубл. 21.05.2019. Бюл. №19.
52. Третьяк А.А., Швец В.В. Реагентный метод регенерации гидрогеологических скважин // Известия ВУЗов. Геология и разведка. № 5, 2018 г.
53. Третьяк А.А., Швец В.В. Оценка состояния эксплуатационных гидрогеологических скважин // Разведка и охрана недр. – № 12. – 2018, С. 30–33.
54. Третьяк А.А., Швец В.В. Скважинный фильтр новой конструкции /

Международная научно-практическая конференция «Строительство и ремонт скважин» 24–29.09.2018, Сочи. – С. 122–126.

55. Третьяк А.А., Швец В.В. Фильтр для скважин // Нефть, газ, новации, № 11, 2018. С. 78–83.

56. Третьяк А.А., Швец В.В. Фильтр новой конструкции // III Международная научно-практическая конференция «Бурение скважин в осложненных условиях», Санкт-Петербургский горный университет, 8–9 ноября 2018. – С. 123–125.

57. Третьяк А.А., Швец В.В. Регенерация фильтров гидрогеологических скважин // Актуальные проблемы недропользования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск, 2018 / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. имени М.И.Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2019. – С. 148–152.

58. Третьяк А.А., Швец В.В. Реагентная обработка фильтров гидрогеологических скважин // Актуальные проблемы недропользования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск, 2018 / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. имени М.И.Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2019. – С. 152–156.

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

60. Третьяк А.Я., Чихоткин В.Ф., Павлунишин А.П. Техника и технология сооружения гидрогеологических скважин/ ЮНЦ РАН. – 2006. – С. 408.

61. Третьяк А.Я. Теоретические вопросы омагничивания полимерной промывочной жидкости. // Изв. Вузов Северо-Кавказский регион. Технические науки, 1994.– №3. С. 46-53

62. Третьяк А.Я., Швец В.В., Нырков Е.А. Выбор оптимального поля с целью регенерации скважинных фильтров. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле, 2019, вып. №1. С. 237–244.

63. Третьяк А.А., Кузнецова А.В., Швец В.В. Результаты моделирования процесса течения жидкости в скважинном самоочищающемся фильтре. // Изд-во Томского государственного университета. Инжиниринг георесурсов, 2019. –

Т. 330, № 9. – С. 128–142.

64. Третьяк А.Я., Швец В.В. Самоочищающийся скважинный фильтр // Разведка и охрана недр, 2018, № 8.

65. Третьяк А.Я., Бурда М.Л., Онофриенко С.А., Третьяк А.А. Раствор для регенерации фильтров гидрогеологических скважин. Патент № 2482153, заявл.13.09.2011, опубл. 02.11.2012. Бюл. № 10.

66. Третьяк А.Я., Бурда М.Л., Шайхутдинов Д.В., Онофриенко С.А. Выбор оптимального магнитного поля с целью регенерации фильтров гидрогеологических скважин // Известия вузов, Северо-Кавказский регион, Технические науки. – 2011, № 4. – С. 121–124.

67. Третьяк А.Я., Бурда М.Л., Литкевич Ю.Ф.// Скважинный фильтр: патент Рос. Федерация № 2478775; заявл. 04.05.2011; опубл.10.04.2012, Бюл. №10, 9 с.

68. Третьяк А.А., Швец В.В. Основы бурения нефтяных и газовых скважин (учебное пособие). – Новочеркасск, изд-во Лик, 2016, С. 433.

69. Третьяк А.А., Савенок О.В., Швец В.В., Кусов Г.В. Скважинные фильтры. – Новочеркасск, Колорит, 2019. – С. 227

70. Федоров Ю.С., Петров А.А. Предупреждение кольтматации фильтров гидрогеологических скважин. – Разведка и экран недр. 1974. № 7.– С. 56–58.

71. Фоменко В.И. Подбор и расчет фильтров дренажных и водозаборных скважин// Мелиорация, гидротехника и водоснабжение. Вып. № 3. Горки, изд-во БСХА, 1975.

72. Шляйферт М.А., Вольницкая Э.М. Увеличение дебита водяных скважин взрывом. – М.: Наука, 1970.

73. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, 1986.

74. *Ansoft Maxwell 3D* [Электронный ресурс] / Электрон. дан. – Москва, 2010. – Режим доступа: [http:// narod/m/disk/9840402000/Maxwell 3D vllfall book.pdf.html](http://narod/m/disk/9840402000/Maxwell_3D_vllfall_book.pdf.html)

75. Ahmad M.U, Hasnain S.M. Some new concept for well design. *Memories of the 18th Congress of the Internation Association of Hydrogeologists, Cambridge, 1985.* –p.p 158–167.
76. Aniket Shrikant Ambekar, R. Sivakumar, N. Anantharaman, M. Vivekenandan CFD simulation study of shelf and tube heat exchangers with different baffle segment configurations // *Applied Thermal Engineering, Vol.108, 2016, P. 999-1007.*
77. American Water Works Association, *Water Well Standard, A – 100 – 97, 1997.*
78. Black J.M., Kipp K.L. Observation well response time and its effect upon aquifer best resulte – *J. Hydrol, 1977, vol. 34, p. 297–306.*
79. Comsol: MULTIPHYSICS CYCLOPEDIANavier-Stokes Equations, [Online]. Available: <https://www.comsol.com/multiphysics/navier-stokes-equations>. [Accessed 02.06.2019].
80. Cullimpre R. *Microbiology of well biofouling – Lewis Publishers, 2000.*
81. Edelmeier F., Pope J. 3D woven metal cloth doubles filtration flow/ *Filtration and Separation Vol. 54, Issue 3, May 2017, P. 34-37.*
82. Erich Bieske, Wilhelm Rubbert, Christoph Treskatis. *Bohrbrunnen. Oldenbourg, 1998. – 455 c.*
83. Ehrhardi G., Pelzer R. Wirkung von Saustromsteuerungen in Brunnen // *BBR. 1992. № 42 (10).*
84. Fayard L.D. Relation between oxidation and the occurrence of iron in ground water from the Chicot aquifer, Lafayette, Louisiana, 1972, № 750. – D, p. 182–186.
85. Fletcher G. Driscoll. *Groundwater and wells. Edition 2, Johnson Division, 1986, 1089 c.*
86. Folknes K. Leistungsminderung und Altering von Entwässerungs filterbrunnen – *Neue Bergbautechnik, № 7, 1975, p. 504–513.*
87. *Ground water and wells.– Saint Poul, Minnesota: Johnson Division, 1972*

88. *Groundwater*. – American Water Works, Association, 2002
89. *Hasselbarth U., Ludemati D. Die biologische Verockerung von Brunnen- durch Massenentwicklung von Eisen – und Manganbackterien. «Bohrtechnik, Brunnen- bau, Rohrleitungsbau», 1967, № 10–11.*
90. *Handbook of ground water development. Roscoe Moss Company, Wiley – IEEE, 1990, 493 c.*

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт внедрения разработанной технологии регенерации фильтров
эксплуатационных гидрогеологических скважин

Утверждаю
директор ООО НПП
«Ростовская буровая компания»

А.В. Нагибин

25 февраля 2019.



Акт.

Мы, нижеподписавшиеся, главный инженер ООО НПП «Ростовская буровая компания» (ФИО) и буровой мастер ООО НПП «Ростовская буровая компания» (ФИО) составили настоящий акт о том, что разработанная в ЮРГТУ (НПИ) имени М.И.Платова технология регенерации гидрогеологических скважин внедрена при ремонте скважин на территории Ростовской области и позволяет добиться увеличения дебита скважин до двух раз.

Главный инженер ООО НПП Семиков Е.А.
«Ростовская буровая компания» (ФИО)

Буровой мастер ООО НПП Чабанов Иван Борисович
«Ростовская буровая компания» (ФИО)

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Акт внедрения результатов научных работ в учебный процесс

Утверждаю
проректор по образовательной
деятельности



ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ)

имени М.И.Платова

С.Н.Чеботарев

15 февраля 2019 г.

Акт

о внедрении результатов научных работ в учебный процесс

15 февраля 2019 г.

г. Новочеркасск

Комиссия в составе начальника учебно-методического управления ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ) имени М.И.Платова Скринникова Е.В., и.о. декана факультета «Геологии, горного и нефтегазового дела» д.т.н., доцента Третьяка А.А., и.о. зав.кафедры «Нефтегазовая техника и технологии» (НТиТ), к.т.н., доцента Рыбальченко Ю.М., профессора кафедры НТиТ Попова В.В., к.т.н., доцента кафедры НТиТ Литкевича Ю.Ф., составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательских работ полученные в ходе выполнения диссертационной работы Швеца В.В. на тему «Разработка и исследование технологии конструирования, применения и регенерации фильтров гидрогеологических скважин (на примере месторождений Ростовской области)» внедрены в учебный процесс для студентов первого и второго курсов направлений подготовки бакалавриата 21.03.01. «Нефтегазовое дело» направленность «Бурение нефтяных и газовых скважин» и магистратуры первого и второго курсов 21.04.01 «Нефтегазовое дело» направленность «Строительство нефтяных и газовых скважин в сложных условиях».

Начальник УМУ

И.о. декана ФГГиНГД, д.т.н., доцент

И.о. зав. кафедрой НТиТ, к.т.н., доцент

Д.т.н., профессор кафедры НТиТ

К.т.н., доцент кафедр НТиТ

Е.В.Скринников

А.А.Третьяк

Ю.М.Рыбальченко

В.В. Попов

Ю.Ф.Литкевич