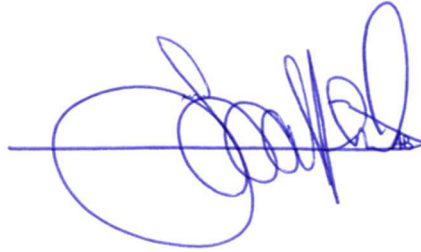


На правах рукописи

УШАКОВ Антон Валерьевич



**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН
ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ
МЕТОДОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫМ
ПОЛЕМ НА ДОБЫВАЕМЫЙ ФЛЮИД**

*Специальность 25.00.17 – Разработка и эксплуатация
нефтяных и газовых месторождений*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель –

доктор физико-математических наук, профессор

Коровкин Михаил Владимирович

Официальные оппоненты:

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», кафедра нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна, профессор

Фёдоров Вячеслав Николаевич

доктор технических наук, профессор, Общество с ограниченной ответственностью «Башнефть-ПЕТРОТЕСТ», эксперт

Ведущая организация – Общество с ограниченной ответственностью «Самарский научно-исследовательский и проектный институт нефтедобычи»

Защита состоится 06 июня 2019 г. в 17 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.13 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 05 апреля 2019 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ТАНАНИХИН
Дмитрий Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Современное состояние нефтегазодобывающей отрасли обусловлено ухудшением качества ресурсной базы, увеличением доли трудноизвлекаемых запасов в структуре активов нефтяных компаний и, как следствие, осложнением условий эксплуатации оборудования. Структура остаточных запасов нефти резко ухудшается из-за выборочной разработки лучшей части запасов, особенно для крупных (запасы более 30 млн. т) месторождений, обеспечивающих 2/3 добычи нефти в стране.

Имеющиеся предпосылки диктуют нефтегазодобывающим компаниям условия для формирования основных стратегий их дальнейшего развития. Основополагающей стратегией является снижение удельных затрат на добычу 1 тонны нефти на 5-10% в течение ближайших лет. Как показывает мировая нефтегазопромысловая практика, приблизительно 20% скважин, эксплуатирующихся механизированным способом добычи, оборудованы установками электроцентробежных насосов (УЭЦН), что составляет в количественном выражении около 180 тыс. скважин.

Основное отрицательное влияние на технико-экономические показатели работы скважины оборудованной УЭЦН оказывает геологическая группа осложнений, а именно: свободный газ, связанная вода, отложения солей и парафинов, пескопроявление - механические примеси. Природа и особенности данных осложнений формируются в результате образования нефтегазовой залежи и активно проявляются при взаимодействии добываемого флюида с промысловым оборудованием.

Известно, что главной целью любой нефтегазодобывающей компании является увеличение наработки погружного оборудования УЭЦН на отказ. Решение этой задачи является неотъемлемой частью стратегии по снижению удельных затрат и повышению эффективности механизированной добычи нефти.

Одной из перспективных технологий для борьбы с осложнениями, вызванными причинами геологического характера, является воздействие магнитным полем на осложненные нефтяные

флюиды (ОНФ-системы). Технология магнитного воздействия относится к группе малоэнергетических технологий, позволяющих с малыми затратами перестраивать структуру жидких сред, уменьшая тем самым степень влияния осложняющих факторов. Данная технология, как сравнительно новый метод, имеет широкие перспективы стать одним из наиболее эффективных методов.

Проблемам эффективности эксплуатации установок электроцентробежных насосов при работе в осложнённых условиях посвящен фундаментальный труд М.Н. Персиянцева, рассмотрению различных осложнений в частности, посвящены работы следующих авторов: К.В. Черновой, Р.Р. Мусина, А.А. Лапшина, М.Р. Хужина, А.С. Топольникова, А.Р. Гарифуллина, О.М. Перельмана, А.А. Ишмурзина, С.В. Фролова, Н.И. Смирнова, С.С. Шубина, М.В. Прожега, В.А. Ведерникова.

Процессы изменения структуры, состава и свойств вследствие воздействия магнитным полем на водные и водно-нефтяные системы с осложнениями рассмотрены в трудах: В.И. Классена, Р.В. Спиридонова, К.В. Щурина, В.И. Лесина, Ю.В. Лоскутовой, Н.В. Юдиной, А.С. Колесникова, М.В. Козачок, Г.И. Жилина, Н.В. Инюшина, М.М. Хасанова, А.В. Исакова, А.Б. Лаптева. При этом в литературе нет данных об исследованиях конструктивных особенностей методов магнитного воздействия на добываемый флюид с целью повышения эффективности и работоспособности УЭЦН при эксплуатации в осложнённых условиях, чему отчасти и посвящена работа.

Цель диссертационной работы

Разработка технических решений для повышения эффективности и работоспособности электроцентробежных насосов при эксплуатации в осложнённых условиях с использованием методов магнитного воздействия на добываемый флюид.

Идея работы заключается в повышении эффективности эксплуатации скважин электроцентробежными насосами, путём использования комплексного подхода в исследовании взаимодействия магнитного поля с жидкой средой с целью установления способов эффективного управления структурой, составом и гидродинамическими характеристиками жидкой среды.

Задачи исследования:

1. Рассмотреть область применения магнитного поля при эксплуатации электроцентробежных насосов в осложненных условиях;
2. Выполнить анализ теоретических предпосылок и экспериментальных исследований применения магнитной обработки для воздействия на нефти особых составов;
3. Разработать нестандартную аппаратуру для проведения испытаний воздействия магнитного поля на осложненные флюиды;
4. Провести экспериментальные исследования по воздействию магнитного поля на ОНФ-системы;
5. Исследовать процессы формирования структурообразования в ОНФ-системах при магнитной обработке;
6. Разработать технологические решения и рекомендации по использованию методов магнитной обработки добываемого флюида на нефтяных месторождениях.

Методы решения поставленных задач

Анализ теоретических предпосылок и экспериментальных исследований, проведение лабораторных экспериментов, построение физико-механических принципов структурообразования изучаемых процессов, лабораторные и графоаналитические методы, методы математической статистики.

Научная новизна работы:

1. Впервые экспериментально получен эффект диспергирования дисперсной минеральной фазы при воздействии магнитным полем, что позволяет рассматривать возможность применения магнитной технологии для управления таким осложнением как пескопроявление для минимизации воздействия на рабочие органы электроцентробежного насоса.
2. Выявлена зависимость интенсивности осаждения карбоната кальция от параметра пересыщения раствора при воздействии магнитным полем.
3. Установлен характер влияния магнитного поля на формирование структурообразования в солеотложении при магнитном воздействии, что позволяет рассматривать возможность применения магнитной технологии для управления таким

осложнением как солеотложение для минимизации воздействия на рабочие органы электроцентробежного насоса.

4. Исследованы принципы формирования структурообразования в ОНФ-системе, позволяющие рекомендовать магнитную технологию для использования с целью управления такими осложнениями как пескопроявление и солеотложение.

Защищаемые научные положения:

1. Выявлена прямая зависимость интенсивности осаждения карбоната кальция от параметра пересыщения при воздействии магнитным полем. Воздействие магнитного поля в течении 15 секунд на водный раствор карбоната кальция увеличивает количество выпадающего осадка CaCO_3 на $24 \div 41\%$, эффект увеличивается от 24% до 41% по мере изменения параметра пересыщения от 0 до 1,2. Увеличение напряженности магнитного поля до 60 кА/м приводит к резкому повышению доли выпавшего осадка на $11 \div 22\%$, дальнейшее повышение напряженности слабо влияет на выпадение осадка.

2. Наблюдается устойчивый эффект диспергирования элементов горной породы в составе композиций с дисперсной минеральной фазой. При воздействии магнитным полем напряженностью 120 кА/м на композицию водной суспензии с частицами-обломками песчаника среднечисленный диаметр частиц уменьшается в 1,5 раза, при воздействии на композицию нефти с частицами-обломками песчаника среднечисленный диаметр частиц уменьшается в 1,36 раза.

3. Эффективное магнитное воздействие на перекачиваемый флюид осуществляется рациональной компоновкой УЭЦН, включающей в себя электроцентробежный насос, состоящий из рабочих органов с постоянными магнитами из редкоземельного сплава особой конструкции, обеспечивающей увеличение времени воздействия магнитного поля на добываемый флюид и требуемую напряженность магнитного поля.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений основана на теоретических и экспериментальных исследованиях с

использованием искусственной модели раствора карбоната кальция с заданными свойствами, естественных образцов нефти, пластовой воды и искусственного образца песчаника, а также собранной лабораторно-экспериментальной установки для исследования магнитного воздействия, в том числе теории экспериментальных исследований и использованием современных средств измерений, стандартных и взаимодополняющих методик проведения исследований.

Достоверность и обоснованность полученных результатов, научных положений и выводов, содержащихся в диссертационной работе, подтверждается согласованностью полученных результатов с известными теоретическими и экспериментальными данными.

Практическое значение работы:

1. Выполнен анализ и обобщение теоретических предпосылок и экспериментальных исследований применения магнитной обработки для воздействия на жидкие среды и на нефти в частности.

2. Создана лабораторная установка, используемая для изучения изменения ОНФ-систем при воздействии постоянным магнитным полем.

3. Получены показатели изменения характера структурообразования в пескопроявлении и солеотложении при воздействии магнитным полем.

4. Проведены исследования принципов формирования структурообразования в ОНФ-системах при магнитной обработке.

5. На основании проведенных лабораторных исследований и использования физико-механических принципов формирования структурообразования при воздействии магнитного поля на ОНФ-системы разработано техническое решение конструкционной компоновки УЭЦН (патент РФ №157504), включающей в себя электроцентробежный насос состоящий из рабочих органов с постоянными магнитами из редкоземельного сплава особой конструкции, обеспечивающей увеличение времени воздействия магнитного поля на добываемый флюид и требуемую напряженность магнитного поля.

6. Впервые предложен способ магнитного воздействия на перекачиваемый флюид в компоновке электроцентробежного насоса, рекомендуемый для использования на месторождениях с такими осложнениями как пескопроявления, солеотложения. Применение возможно как для воздействия на осложнения проявляющиеся в единичном случае, так и в комплексе.

7. Разработаны рекомендации по практическому использованию полученного научного результата при разработке и эксплуатации нефтяных месторождений.

Апробация работы

Результаты исследований и основные положения диссертационной работы докладывались на: конференции научно-технического творчества молодежи ОАО "Славнефть-Мегионнефтегаз", секция: "Добыча и подготовка нефти" (Мегион, 2011 г., диплом I степени); научно-практической конференции молодых специалистов ЗАО "РОСПАН ИНТЕРНЕШНЛ", секция: "Добыча нефти и газа" (Новый Уренгой, 2012 г., диплом I степени); Российской технической нефтегазовой конференции и выставке SPE по разведке и добыче, секция аспирантских работ (Москва, ВВЦ, 2012 г.); научно-практической конференции молодых специалистов ТНК-ВР, секция: "Добыча нефти и газа" (Тюмень, 2012 г., диплом - Лучший инновационный проект); научно-практической конференции молодых специалистов ЗАО "РОСПАН ИНТЕРНЕШНЛ", секция: "Добыча нефти и газа" (Новый Уренгой, 2013 г., диплом I степени); региональной научно-практической конференции молодых специалистов ОАО "НК "Роснефть", секция: "Добыча нефти и газа" (Тюмень, 2013 г., диплом - Лучший инновационный проект), XVI и XVII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых (Томск, ТПУ, 2012-2013 гг.).

Публикации

Результаты выполненных исследований отражены в 8 печатных работах, в том числе в 6-ти статьях, опубликованных в изданиях, входящих в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Личный вклад автора

Выполнен сбор данных и анализ материалов, экспериментальных исследований ранее опубликованных по теме диссертации; сформулированы цели и задачи диссертационного исследования; проведены экспериментальные исследования процессов формирования структурообразования в ОНФ-системах при воздействии магнитным полем для чего сконструирована и собрана лабораторная экспериментальная установка; выполнена обработка и интерпретация полученных данных; разработано технологическое решение и рекомендации по использованию методов магнитной обработки добываемого флюида на нефтяных месторождениях; сформулированы основные защищаемые положения и выводы.

Структура и объём диссертационной работы

Диссертация содержит введение, пять глав и заключение. Работа изложена на 174 страницах машинописного текста, включая 80 рисунков, 20 таблиц, 2-х приложений и списка использованных источников из 124 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы постановка и актуальность темы, сформулированы цели и основные задачи исследований, научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе отражены представления о видах и характере осложнений при нефтедобыче. Показано, что осложнения в нефтедобыче могут проявляться либо изначально с периодом разработки, либо возникать на определённых периодах, при этом на завершающих стадиях жизненного цикла месторождения осложнения неизбежны. Отмечено, что состав осложнений как системная группа индивидуален по отношению к конкретному месторождению.

На примере статистических данных по ряду нефтегазодобывающих предприятий рассмотрены основные осложняющие факторы, влияющие на работу электроцентробежных насосов при добыче нефти. Проанализированы последствия воздействий основных осложнений на электроцентробежные насосы.

На основе сопоставления методов управления эффективностью работы электроцентробежных насосов показано, что магнитные технологии имеют широкие перспективы стать одним из наиболее эффективных методов.

Сформированы цели и задачи научной работы.

Во второй главе проведён анализ теоретических предпосылок, экспериментальных исследований и технологий магнитной обработки нефти.

В работах Спиридонова Р.В., Демакина С.А., Кривокурцева А.Ю. отмечено, что в отношении механизма магнитного воздействия на нефть, водонефтяные и водные системы нет единой общепринятой точки зрения. В тоже время в монографии Классена В.И. рассматриваются водные системы, тогда как для нефтедобычи характерны водные и водонефтяные системы.

Представляется целесообразным выделить исследуемые среды по уровню сложности состава и структуры:

- водные системы (истинные растворы) – простейшие однородные системы;
- водные коллоиды - двухуровневые системы (вода – коллоид), в которых присутствуют дефектные области - границы раздела вода – коллоид;
- многокомпонентные системы высшего уровня сложности - осложненные нефтяные флюиды (нефть с АСПО, минеральными солями, водонефтяными эмульсиями и др.).

Приведенная систематизация позволяет описывать среды как дефектные структуры:

- водные системы - условно однородные и бездефектные;
- водные коллоиды - неоднородные по плотности и составу, дефектность - границы раздела коллоидная частица - среда;
- осложненные нефтяные флюиды (ОНФ-системы) - высоконеоднородные по плотности и составу, дефектность - границы раздела частица - среда.

По химическому и физико-химическому состоянию компоненты осложненных нефтяных флюидов разнообразны - истинные растворы (соли в воде), коллоидные системы,

минеральные дисперсные системы, конденсированные углеводороды и иные варианты.

На фундаментальном уровне формулировка задачи влияния магнитного поля на нефти может быть описана как исследование взаимодействия магнитного поля и нефтяных флюидов в плане изменения структуры, и характеристик нефтяных флюидов.

Более общая формулировка задачи - исследование взаимодействия магнитного поля с жидкой средой с целью установления способов эффективного управления структурой, составом и гидродинамическими характеристиками жидкой среды.

Рассмотренные данные по теоретическим предпосылкам и экспериментальным исследованиям применения магнитной обработки для воздействия на жидкие среды в целом и на нефти в частности позволяет сделать выводы:

- в теоретическом плане вопросы механизмов воздействия магнитного поля на жидкие среды в целом и на нефти в частности остаются слабо проработанными, что в значительной степени препятствует выстраиванию системной методологии и технологии управления процессами модернизации состава и структуры осложненных нефтяных флюидов;
- в экспериментальном плане на лабораторном уровне при исследовании объектов ряда месторождений достигнут прогресс при работе с некоторыми осложнениями - солеотложения, водонефтяные эмульсии, парафиноотложения, образование смол и асфальтенов, а также по ряду других позиций;
- тем не менее, отдельные продвижения магнитной технологии пока еще не обеспечивают надежных воспроизводимых результатов в промышленных масштабах, что связано с нерешенностью теоретических и опытных исследований методического и технологического уровня.

Анализ известных аппаратурных подходов магнитного воздействия на нефти показывает, что представленные решения имеют единичный характер, и при этом слабо оформлены системные технологические принципы.

Как было показано выше, магнитная технология имеет хорошие перспективы для использования в методах управления ОНФ - системами, однако до настоящего времени указанная технология не вышла за пределы отдельных примеров эффективного использования. В единичных случаях удается добиться гармонии между используемым оборудованием, технологическими параметрами магнитного воздействия и характеристиками нефтяной системы.

Ключевая проблема магнитной технологии в отношении воздействия на нефти - слабая проработанность вопросов взаимосвязи между технологическими методами и объектом исследований, учитывая меру сложности его строения, состава и свойств.

В третьей главе раскрыты экспериментальные исследования по воздействию магнитного поля на осложнённые нефтяные флюиды.

Результатом рассмотрения конструктивных особенностей различной лабораторной аппаратуры является сконструированная и смонтированная нами лабораторная установка вариативного типа, адаптированная под задачи, решаемые в научной работе (рисунок 1).

Для создания воздействия магнитным полем применяли магнитный элемент на основе сплавов редкоземельных металлов Nd-Fe-B (неодим-железо-бор).

На рисунке 2 представлена собранная нами установка в реальных лабораторных условиях, на которой проводились лабораторные исследования.

Представленную лабораторную установку использовали для исследований влияния магнитного поля на ОНФ-системы, а также применяли дополнительное оборудование и приборы для регистрации, контроля и определения параметров наблюдаемых результатов.

В качестве насоса использовали химический насос для перекачки жидкостей Wilo, модель PM-250 PES с частотным регулятором для создания производительности в диапазоне $0.1 \div 1.5$ (л/мин.).

Интенсивность образования осадка при исследовании солеотложений определяли с использованием методов аналитической химии. Для определения содержания карбоната кальция навеску растворяли в избытке титрованного раствора соляной кислоты. Непосредственно титровать нерастворимый в воде CaCO_3 было бы невозможно. Избыток кислоты титровали раствором щелочи.

Расчет диаметров частиц при исследовании генерации дисперсной минеральной фазы после магнитной обработки выполняли по микрофотографиям при помощи программного продукта ImageTool v.300. Микроснимки выполняли при помощи цифрового микроскопа Motic модель DMBA-310.

Солеотложения

Данные экспериментальные исследования направлены на изучение воздействия магнитного поля на процесс солеотложения при воздействии магнитного поля на систему.

В качестве объектов исследования использовали:

- приготовленные водные растворы карбоната кальция с концентрациями 1,0; 1,1 и 1,2 по отношению к предельной растворимости соли при комнатной температуре 25 °С.

Параметры магнитного воздействия:

- продолжительность контакта жидкого раствора с магнитным полем: 5; 10; 15 с;
- скорость потока 0,1-1 л/мин;
- тип магнитного поля - постоянное;
- напряженность магнитного воздействия 30-120 кА/м.

Нами определены зависимости доли осажденного карбоната кальция от продолжительности контакта раствора с магнитным полем и параметра пересыщения, представленные на рисунке 3.

Введём параметр пересыщения p :

$$p = \frac{c_m - c_o}{c_o}, \quad (1)$$

где C_m – текущая концентрация соли в растворе, C_o – концентрация соли в насыщенном растворе.

В состоянии насыщения $p=1$, в состоянии пересыщения $p>1$.

Интенсивность образования зародышей:

$$I = K(C - C_0)^m, \quad (2)$$

где K и m – постоянные, зависящие от физико-химических свойств растворенного вещества и растворителя. По ряду данных m находится в пределах от 3,5 до 4, что означает крайне высокую роль параметра пересыщения в процессах образования осадка из раствора.

Интенсивность осаждения карбоната кальция тем выше, чем больше показатель пересыщения и время контакта жидкого раствора с магнитным полем. Эффективность воздействия магнитным полем, принятая за величину доли выпавшего CaCO_3 относительно изменения времени контакта водного раствора с магнитным полем в интервале от 5 до 15 секунд составляет 24÷41 %. Эффективность увеличивается по мере увеличения параметра пересыщения раствора CaCO_3 .

Представленные на рисунке 4 результаты свидетельствуют о том, что влияние напряженности магнитного воздействия особенно велико при значимых пересыщениях, тогда как при умеренных пересыщениях сказывается много слабее. В данном случае эффективность воздействия при изменении напряженности магнитного поля от 30 до 120 кА/м составляет 16÷31%. Стоит отметить, что увеличение напряженности магнитного поля до 60 кА/м приводит к резкому повышению доли выпавшего осадка на 11÷22%, дальнейшее повышение напряженности слабо влияет на выпадение осадка.

Пескопроявления (дисперсная минеральная фаза)

Для проведения исследований воздействия магнитного поля на процесс диспергирования элементов горной породы при воздействии магнитного поля на систему были изготовлены образцы песчанистых пород следующего состава:

- минеральный компонент - безводная химически инертная модификация окиси алюминия - Al_2O_3 (корунд);
- коллоидная компонента - SiO_2 (кремнезоль);
- вода дистиллированная.

Корунд использовался как минеральная основа скелета породы, прочность которого создавалась за счет части коллоидной

фракции, которая связывала частицы минерального скелета между собой.

Приготовление образцов состояло в нескольких процедурах:

- изготовление сырого материала путем смешения компонентов в заданных пропорциях и формовании образцов;
- сушка образцов при температуре 150 - 200 °С и выше для удаления избыточной влаги и регулирования влагосодержания;
- определение свойств образцов: плотности, пористости и др.

Таким образом, были приготовлены образцы песчанистых пород состава: Al_2O_3 - 95 масс. %, SiO_2 - 5 масс. %.

Разрушение образцов песчаников происходило при давлениях 2 - 2,5 МПа, обломочные фрагменты высушивали и определяли размеры в оптическом цифровом микроскопе. На следующем этапе выполняли исследования по магнитному воздействию на водную суспензию с частицами - обломками с целью определения возможности диспергирования частиц. Концентрация фрагментов песчаника в воде составляла 3 масс. %. Параметры магнитного воздействия: интенсивность - 120 кА/м; продолжительность - 5 с.

Из сопоставления гистограмм распределения частиц песчаника по диаметру (рисунок 5) до и после магнитной обработки следует, что магнитная обработка способствует уменьшению среднего размера частиц от 1,93 до 0,95 мкм, что означает достижение существенного эффекта диспергирования частиц.

Эффективность принятая за величину относительного изменения среднечисленного диаметра частиц составляет 50,7 %. Одновременно достигается эффект снижения параметра дисперсии и гомогенизации совокупности частиц по размеру за счет разрушения крупных частиц - агломератов.

Отдельно следует указать на значимость такого параметра как длительность обработки (рисунок 6), что можно объяснить кинетическим механизмом процесса диспергирования агломератов. Эффективность, принятая за величину относительного изменения среднечисленного диаметра частиц составляет 11,5 %.

На рисунке 6 приведены результаты наших экспериментальных исследований в виде графической зависимости

среднечисленного диаметра песчаника d_n от длительности магнитного воздействия. При изменении длительности воздействия магнитным полем с 5 с. до 15 с. среднечисленный диаметр песчаника d_n уменьшается с 0,95 мм до 0,84 мм, что отражает присутствие эффекта диспергирования частиц.

Тем самым установлена возможность диспергирования обломочных агломератов крупных размеров, что имеет принципиальное значение с точки зрения технологии управления таким осложнением как пескопроявление.

На следующем этапе работ для исследования магнитного воздействия на систему с дисперсной фазой использовали более сложный объект – композицию из нефти Мамонтовского месторождения (скважина №5888) и обломочные фрагменты песчаника, описанного и применённого ранее.

Концентрация фрагментов песчаника в нефти составляла 3 масс. %.

Параметры магнитного воздействия: интенсивность - 120 кА/м; продолжительность - 5 с.

Результаты магнитного воздействия на композицию нефти с фрагментами песчаника приведены на рисунке 7.

Как следует из результатов наших экспериментальных исследований (рисунок 7), в случае композиции нефть с фрагментами песчаника эффект дробления минеральных частиц также имеет место быть, что подтверждается уменьшением среднего размера частиц от 1,93 до 1,22 мм, но выражен существенно слабее, чем в водных суспензиях. Это связано, вероятно, с существенно большей вязкостью нефти по сравнению с водой. Эффективность, принятая за величину относительного изменения среднечисленного диаметра частиц, составляет 36,7 %.

В четвёртой главе рассмотрены процессы формирования структурообразований в ОНФ-системах при воздействии магнитным полем.

В рамках выполненных экспериментальных исследований получены следующие результаты:

- в случае с пескопроявлением при воздействии магнитным полем наблюдается диспергирование минеральной фазы (агломератов) на более мелкие частиц;
- в случае с солеотложениями при воздействии магнитным полем интенсифицируется процесс образования соли.

Формирование структурообразований в случае воздействия магнитного поля на пескопроявления строится на следующих принципах. Физико - механическая природа песчаника выражается через взаимодействие глинистого цемента связующего с минеральной фазой и поровой жидкостью с следующими признаками:

- целостность песчаника обеспечиваемая исключительно глинистым цементом, сцепляющим минеральные частицы в пространственную структуру;
- характеристики прочности контакта на границе раздела минеральная фаза- глинистые соединения высоко вариативны;
- взаимодействие глинистого связующего цемента с поровой жидкостью приводит к растворению и вымыванию связки из узлов, что вызывает потерю целостности породы на микроуровне, а в последствии и на макроуровнях породы.

Возможно, что в результате магнитного воздействия на контактные области имеет место разрушение части компенсированных химических связей и образование активных ненасыщенных связей, способных к взаимодействию с магнитным полем, энергия которого затрачивается на полный разрыв контактных связей, что ведет к диспергированию породы.

В рамках задач настоящей работы представляется интерес разработки принципов формирования солеотложения при магнитном воздействии.

Процесс солеотложения характеризуется двумя основными стадиями:

- формирование зародышей кристаллизации;
- рост кристаллов и их конденсация.

Сам по себе этот результат оставляет пространство для интерпретаций:

- первая гипотеза- ускорение осаждения соли при магнитном воздействии может быть результатом роста числа зародышей, в этом случае интенсивность образования осадка лимитируется числом зародышей, и при малом числе зародышей массовая скорость образования конденсата мала;
- вторая гипотеза- ускорение осаждения соли при магнитном воздействии - следствие интенсификации процесса роста кристаллов при том же числе зародышей.

На рисунке 8 приведены схемы образования конденсированной фазы при солеотложении, соответствующие двум приведённым гипотезам.

Согласно схеме А магнитная обработка приводит к множественному образованию зародышей и конденсированная фаза состоит из кристаллов малого размера. В случае схемы Б число зародышей невелико, а магнитная энергия инициирует образование крупных кристаллов.

В изучаемых нами осложнениях присутствует разная природа взаимодействия с рабочими органами УЭЦН, которая обусловлена следующими факторами:

- в случае солеотложения из раствора пластовой жидкости формируются гидратированные комплексы малых размеров и высокой химической активности;
- в случае пескопроявления формируется дисперсная минеральная фаза, которая в большинстве случаев (за исключением коллоидной глинистой фракции) представлена малоактивными частицами.

Соответственно, для солеотложения значимы физико-химические взаимодействия, в то время как для дисперсной минеральной фазы – энергетические механизмы.

В случае воздействия магнитным полем на дисперсную минеральную фазу происходит диспергирование агломерированных комплексов. Очевидно, что при одной и той же скорости кинетическая энергия тонких частиц будет меньше, чем крупных агрегированных части. В данном случае происходит снижение абразивного износа и засорения подземного оборудования центробежного насоса.

В случае с солеотложениями, воздействие магнитного поля на систему интенсифицирует процесс образования соли в потоке системы, тем самым препятствуя ее образованию на поверхности рабочих органов электроцентробежного насоса. Стоит отметить, что образовавшийся осадок в потоке жидкости имеет химическую активность, которая способствует его осаждению-прилипанию на поверхность рабочих органов. Вне зависимости от построенных физико-механических принципов, будь то рост числа зародышей или рост конденсированной фазы в обоих случаях которые приводят к разным размерам кристаллов в осадке, данный осадок может осаждаться на поверхности рабочего органа центробежного насоса. Данный случай был бы возможен в неподвижной системе, а так как система в нашем случае имеет высокую скорость потока в полости центробежного насоса, то образовавшийся кристаллический осадок будет выноситься потоком перекачиваемой жидкости.

В пятой главе показаны новые технологические решения для отрасли, основывающиеся на результатах экспериментальных исследований.

Согласно полученным нами результатам экспериментальных исследований выявлено, что увеличение времени воздействия магнитным полем на ОНФ-системы уменьшает средний размер частиц, снижает интенсивность отложения солей на поверхности оборудования и уменьшает вязкость системы. Тем самым повышает эффективность режима работы УЭЦН.

По результатам проведённого технологического анализа с целью повышения эффективности воздействия магнитным полем на перекачиваемый флюид, нами разработано технологическое решение позволяющее осуществлять воздействие магнитным полем на флюид в полости УЭЦН. На данное техническое решение получен патент РФ №157504.

Предлагаемое техническое решение заключается в размещении магнитных элементов в конструкции рабочих органов центробежного насоса, что в свою очередь позволяет повысить время воздействия магнитного поля на перекачиваемый флюид, а такжекратно увеличить число воздействий. Данное техническое решение графически изображено на рисунке 9.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования сформированы основные выводы:

1. Проведён анализ методов управления эффективностью работы электроцентробежных насосов при эксплуатации в осложнённых условиях. Наиболее перспективными методами управления эффективностью работы электроцентробежных насосов при эксплуатации в осложнённых условиях представляются методы магнитного воздействия на флюиды.

2. Для проведения экспериментальных исследований по воздействию магнитного поля на ОНФ-системы была разработана лабораторная исследовательская установка с применением современных средств измерения, определения и регистрации наблюдаемых параметров.

3. Выявлена прямая зависимость интенсивности осаждения карбоната кальция от параметра пересыщения при воздействии магнитным полем. Воздействие магнитного поля в течении 15 секунд на водный раствор карбоната кальция увеличивает количество выпадающего осадка CaCO_3 на $24 \div 41\%$, эффект увеличивается от 24% до 41% по мере изменения параметра пересыщения от 0 до 1,2. Увеличение напряженности магнитного поля до 60 кА/м приводит к резкому повышению доли выпавшего осадка на $11 \div 22\%$, дальнейшее повышение напряженности слабо влияет на выпадение осадка.

4. Установлено, что с помощью магнитной обработки может быть достигнут устойчивый эффект диспергирования элементов горной породы в составе композиций с дисперсной минеральной фазой. Так при воздействии магнитным полем напряженностью 120 кА/м на композицию водной суспензии с частицами-обломками песчаника среднечисленный диаметр частиц уменьшается в 1,5 раза, при воздействии на композицию нефти с частицами-обломками песчаника среднечисленный диаметр частиц уменьшается в 1,36 раза.

5. Впервые экспериментально получен эффект диспергирования дисперсной минеральной фазы при воздействии магнитным полем, что позволяет рассматривать возможность

применения магнитной технологии для управления таким осложнением как пескопроявление с целью минимизации воздействия на рабочие органы электроцентробежного насоса.

6. Выполнены исследования принципов формирования структурообразования в ОНФ-системе, позволяющие рекомендовать магнитную технологию для использования с целью управления такими осложнениями как пескопроявления и солеотложения.

7. На основании результатов наших экспериментальных исследований и принципов структурообразования при воздействии магнитным полем на ОНФ-системы предложены следующие механизмы воздействия магнитного поля на осложнения:

- при пескопроявлении происходит диспергирование дисперсной минеральной фазы на более мелкие комплексы;
- при солеотложении происходит интенсификация образования солеотложений в потоке системы, а не на поверхности оборудования.

8. На основании проведенных лабораторных исследований и использования физико-механических принципов формирования структурообразования при воздействии магнитного поля на ОНФ-системы разработано техническое решение конструкционной компоновки УЭЦН (патент РФ №157504), включающей в себя электроцентробежный насос состоящий из рабочих органов с постоянными магнитами из редкоземельного сплава особой конструкции, обеспечивающей увеличение времени воздействия магнитного поля на добываемый флюид и требуемую напряженность магнитного поля.

9. Впервые предложен способ магнитного воздействия на перекачиваемый флюид в компоновке электроцентробежного насоса, рекомендуемый для использования на месторождениях с такими осложнениями как пескопроявления и солеотложения. Предлагаемые рекомендации позволяют повысить эффективность эксплуатации скважин электроцентробежными насосами. Применение возможно как для воздействия на осложнения проявляющиеся в единичном случае, так и в комплексе.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ушаков А.В. Перспективы применения магнитной обработки пластового флюида с целью управления эффективностью работы погружных электроцентробежных насосов при эксплуатации в осложненных условиях // Территория «НЕФТЕГАЗ», 2015. № 8. – С. 44-50.

2. Ушаков А.В. Анализ теоретических предпосылок и экспериментальных исследований магнитной обработки водных и нефтяных систем // Трубопроводный транспорт: теория и практика, 2015. №3 (49). – С. 29-32.

3. Ушаков А.В. Эффекты интенсификации процесса выпадения карбоната кальция и изменения реологических свойств нефти при воздействии магнитным полем на ОНФ - системы // Трубопроводный транспорт: теория и практика, 2015. №4 (50). – С. 28-33.

4. Ушаков А.В. Эффекты диспергирования дисперсной минеральной фазы при магнитном воздействии на ОНФ - системы // Территория «НЕФТЕГАЗ», 2015. № 10. – С. 49-55.

5. Ушаков А.В. Принципы моделирования процесса солеотложения при магнитном воздействии на систему // Трубопроводный транспорт: теория и практика, 2015. №5 (51). – С. 31-33.

6. Ушаков А.В. Принципы моделирования процессов генерации ДМФ (дисперсной минеральной фазы) при пескопроявлении в условиях воздействия магнитными полем // Территория «НЕФТЕГАЗ», 2015. № 12. – С. 102-108.

7. Ушаков А. В. Применение источника воздействия магнитных полей в нефтегазодобыче // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 2012. – С. 146-148.

8. Ушаков А. В. Разработка комплексной методики защиты электроцентробежных насосов при эксплуатации в осложнённых условиях // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 2013. – С. 779-802.

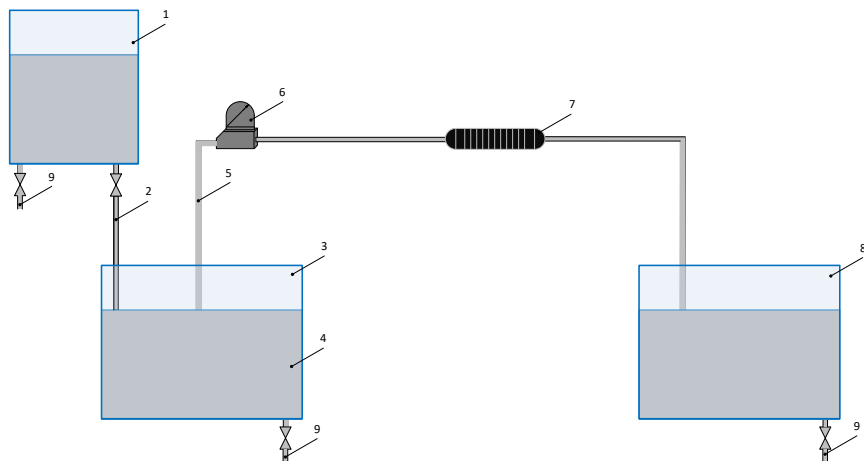


Рисунок 1 – Блок - схема установки для проведения испытаний магнитного воздействия на ОНФ- системы: 1 – сосуд для приготовления исследуемого образца; 2 – линия для подачи исследуемого образца в сосуд 3; 3 – сосуд для исследуемого образца; 4 – исследуемый образец; 5 – линия для транспортировки образца через магнитный элемент; 6 – насос; 7 – магнитный элемент; 8 – сосуд для обработанного образца; 9 – линия для отбора образца из сосуда

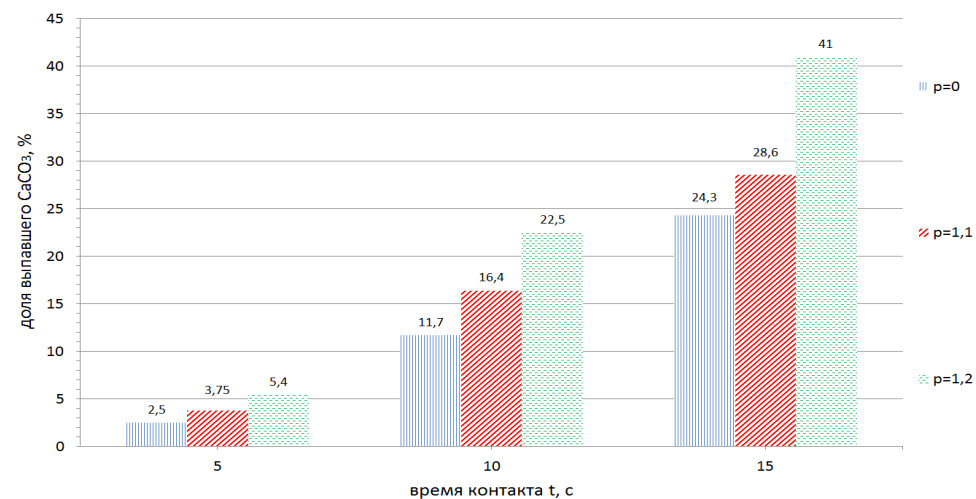


Рисунок 3 – Зависимость доли осажденного карбоната кальция от продолжительности контакта приготовленного водного раствора карбоната кальция с магнитным полем и параметра пересыщения

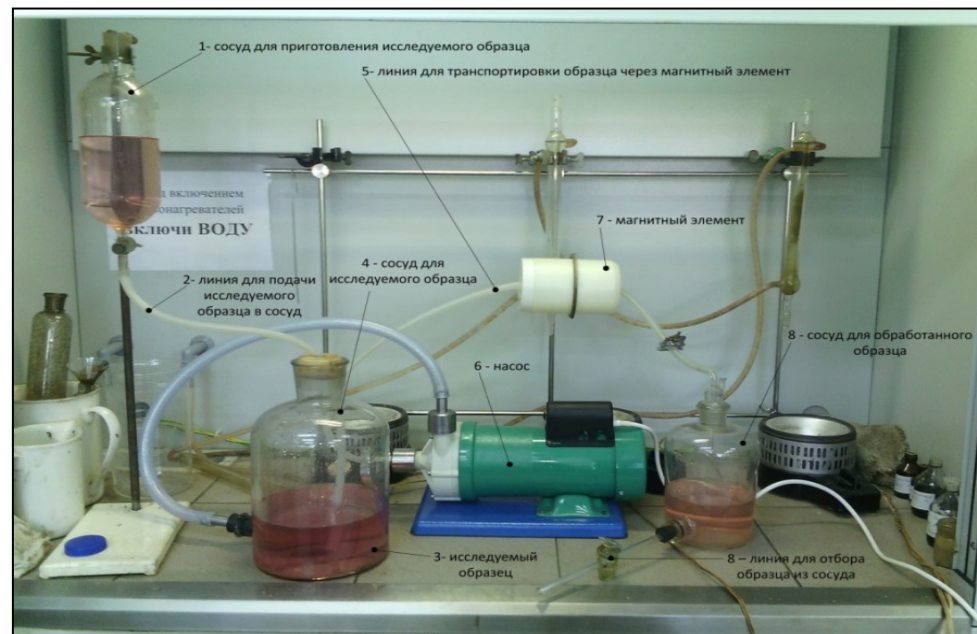


Рисунок 2 – Лабораторная установка для проведения испытаний магнитного воздействия на ОНФ – системы

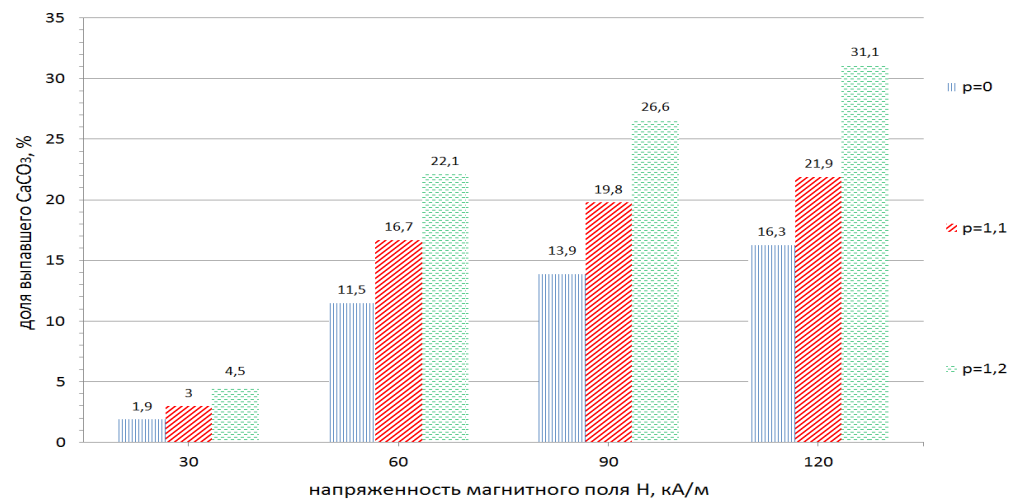


Рисунок 4 – Зависимость доли осажденного карбоната кальция приготовленного водного раствора карбоната кальция от напряженности магнитного воздействия при разных пересыщениях

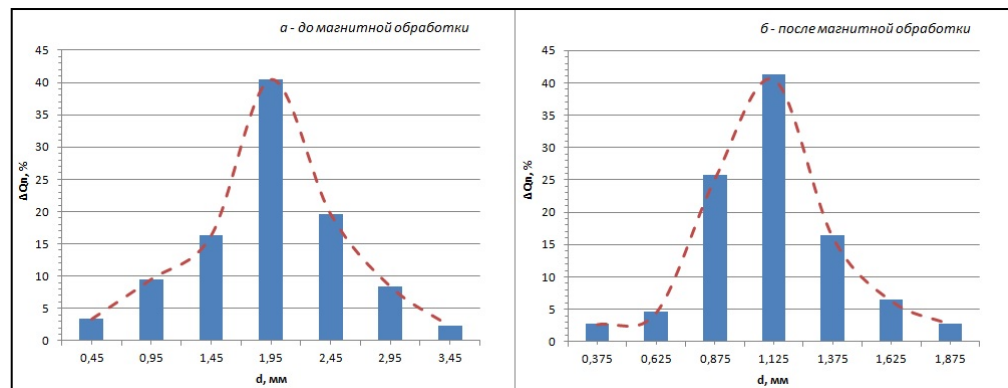


Рисунок 5 – Гистограммы распределения частиц песчаника по диаметру до и после магнитной обработки. Объект: водная суспензия с частицами- обломками песчаника

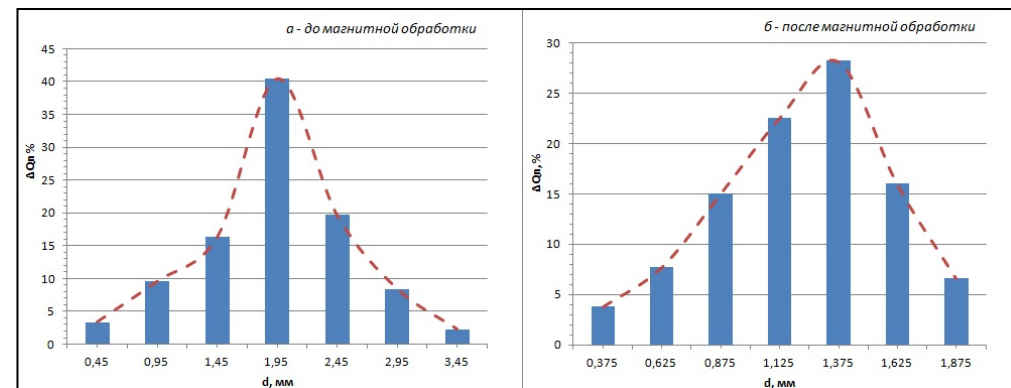


Рисунок 7 – Гистограммы распределения частиц песчаника по диаметру после магнитной обработки. Объект: композиция нефти с частицами- обломками песчаника

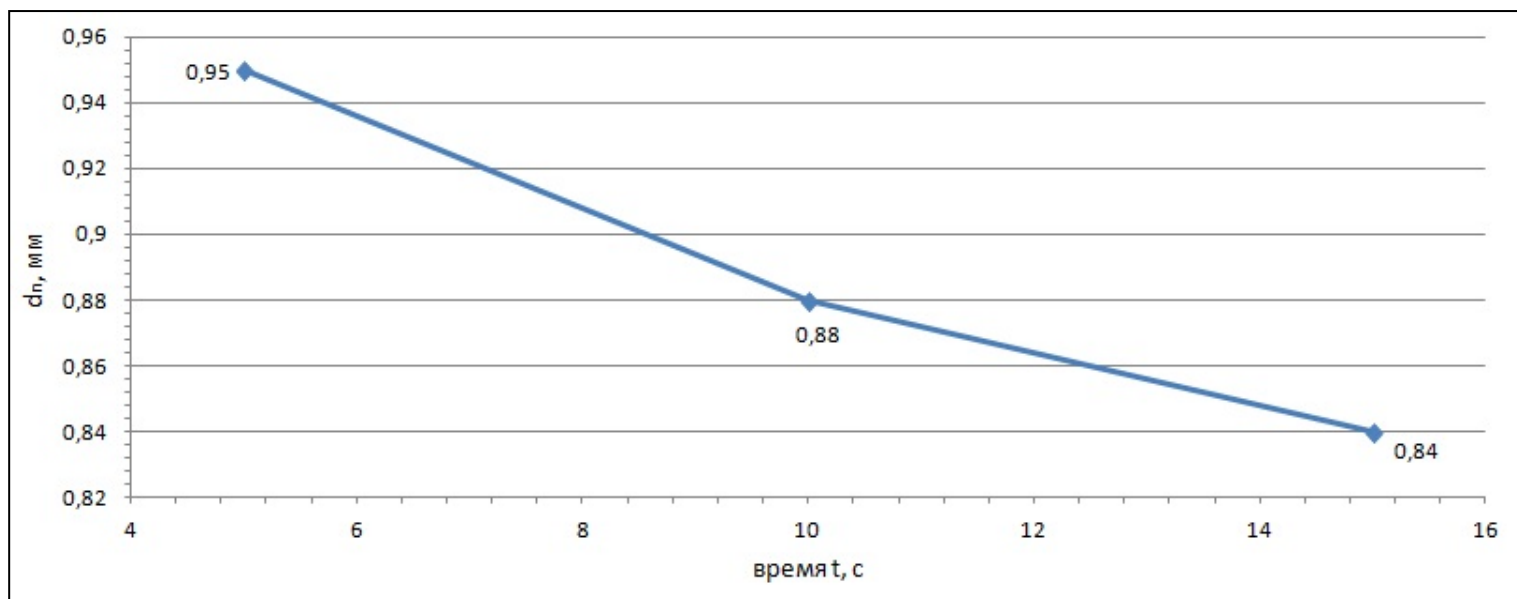


Рисунок 6 – Зависимость среднечисленного диаметра частиц от длительности магнитного воздействия

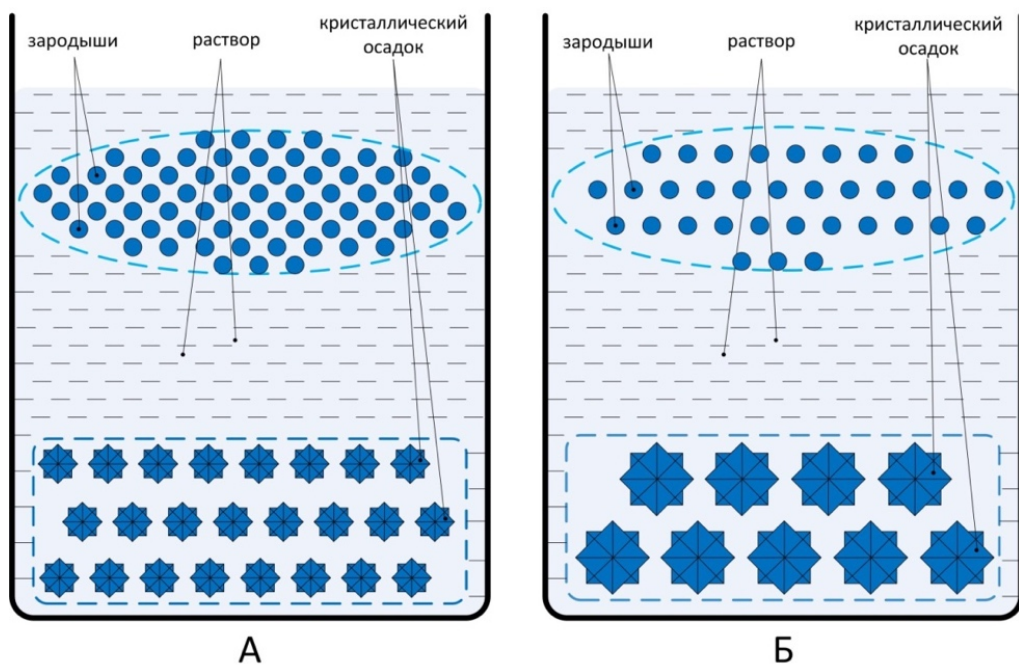


Рисунок 8 – Схема образования конденсированной фазы при солеотложении, соответствующая двум гипотезам: А- рост числа зародышей под воздействием магнитного поля; Б- рост конденсированной фазы под действием магнитного поля при малом числе зародышей



Рисунок 9 – Технические решения в конструкции электроцентробежного насоса для обработки добываемого флюида магнитным полем