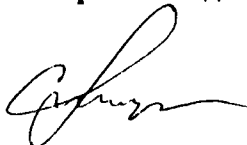


0-792997

На правах рукописи

ВОРОБЬЕВ Сергей Владимирович



**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ
ГИДРОМОНИТОРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СТИМУЛЯЦИИ
СКВАЖИН В ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ**

*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
2012

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования Самарском государственном техническом университете.

Научный руководитель –

кандидат технических наук, доцент

Живаева Вера Викторовна

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, доцент

Петухов Александр Витальевич,

кандидат технических наук

Сопронюк Нина Борисовна

Ведущая организация – ОАО «Гипростокнефть».

Защита диссертации состоится 28 февраля 2012 г. в 14 ч на заседании диссертационного совета Д 212.224.10 при Санкт-Петербургском государственном горном университете по адресу: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2, ауд. 1160.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного горного университета.

Автореферат разослан 27 января 20

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000665111

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета
доктор технических наук,
доцент

А.К.НИКОЛАЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность темы. Основной задачей нефтедобывающего производства является повышение эффективности выработки залежей углеводородного сырья. Данное обстоятельство обуславливает необходимость все более широкого использования технологий восстановления фильтрационных характеристик призабойной зоны и стимуляции скважин.

Большая часть разрабатываемых в настоящее время месторождений Урало - Поволжья характеризуется высокой степенью неоднородности, сложным геологическим строением, высокой средней обводненностью продукции, низким значением коэффициента продуктивности и невысокой эффективностью применяемых методов увеличения производительности скважин, связанной со сложностью решения задачи и несоответствием выбора скважины и технологической схемы проведения работ к геолого-физическим условиям объекта. Поэтому необходимо обоснованное применение существующих и разработка новых технологий воздействия на призабойную зону скважины (ПЗС), что позволит повысить эффективность выработки запасов за счет улучшения гидродинамической связи скважина – пласт путем увеличения темпа отбора и снижения темпа падения давления в залежи.

К настоящему времени установлены факторы, приводящие к снижению продуктивности скважин, исследованы и смоделированы процессы физико-химического воздействия, протекающие в ПЗС, разработаны технологии по восстановлению и увеличению дебита скважин. Однако, из-за несовершенства методологических подходов к изучению процессов и многообразия геолого-промысловых условий применение результатов исследований затруднено и часто неэффективно. Повышение успешности проведения геолого-технических мероприятий (ГТМ) связано с комплексным подходом, основанным на проведении более глубоких лабораторных исследований, обобщении опыта применения технологий в различных геолого-промысловых условиях, планировании, математическом моделировании и совмещении физических и химических методов воздействия на пласт.

Актуальность темы диссертации подтверждается тем, что основные направления и результаты исследований были

использованы при выполнении хоздоговорных научно-исследовательских работ № 2Ж/05, № 117В по темам «Разработка и исследование новых составов для стимуляции скважин» и «Разработка и экономическое обоснование новых методов стимуляции скважин и повышение нефтеотдачи пластов для геолого-физических условия разработки Пеняченского месторождения», а также по госбюджетной теме 506101 «Совершенствование технологии и техники эксплуатации месторождений на поздней стадии их разработки».

Таким образом, разработка комплексной технологии стимуляции скважин является актуальной.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности эксплуатации терригенных коллекторов путем комплексного использования физико-химических методов стимуляции скважин за счет регулирования свойств технологических жидкостей и совмещения воздействия растворами химических реагентов с гидромониторным устройством.

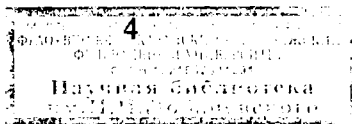
Идея работы заключается в селективности проникновения кислотных составов, подобранных на основе минералогического состава породы, в нефтенасыщенную часть пласта за счет осаждения твердой мелкодисперсной фазы, образующейся при взаимодействии реагента РДН-У с ионами Са в водонасыщенном интервале и использовании, установленного в заданный интервал, скважинного гидромониторного устройства.

Задачи исследований:

1. Выявить критерии эффективного применения глино - кислотных обработок добывающих скважин нефтяных месторождений республики Татарстан, оценив влияние геолого-физических параметров пластов, физических свойств насыщающих их флюидов и технико-технологических параметров работы скважины и технологию проведения работ.

2. Разработать рецептуру кислотной композиции и провести исследование физико-химических и фильтрационных свойств, направленных на предотвращение осадкообразований при контакте с породообразующими минералами, нефтью, пластовой водой.

3. Разработать скважинное гидромониторное устройство для совмещения физического и химического воздействия на пласт.



4. Разработать технологию селективного воздействия на продуктивный коллектор.

5. Выполнить опытно-промышленные испытания комплексной гидромониторной технологии на скважинах.

Методы научных исследований включали в себя комплекс лабораторных и промысловых экспериментов, физическое и математическое моделирование, статистический анализ и оценку достоверности результатов исследований.

Научная новизна работы заключается в получении зависимостей кинетики растворения породообразующих минералов и нейтрализации кислотного состава, модифицированного полифосфатом - реагентом "Плав солей" (пиро-гекса-метофосфат натрия), а также установлении закономерностей количественного содержания и размера мелкодисперсной фазы в зависимости от концентраций реагентов РДН-У и раствора $CaCl_2$ при их взаимодействии.

Защищаемые научные положения:

1. Разработанные кислотные составы, модифицированные поверхностно-активным веществом неонол Аф 9-12 и полифосфатом – реагентом "Плав солей" (пиро-гекса-метофосфат натрия), обладают интенсифицирующим эффектом, позволяющим глубоко проникать активному раствору кислотной композиции в пласт и предотвращать выпадение неорганических солей из нейтрализованных растворов.

2. Селективное воздействие кислотных составов на продуктивный коллектор достигается путем осаждения твердой мелкодисперсной фазы, образующейся при взаимодействии реагента РДН-У с раствором $CaCl_2$ в водонасыщенном интервале и совмещения кислотной обработки с гидромониторным устройством, установленным в заданном интервале продуктивного пласта.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается достаточной воспроизводимостью полученных результатов экспериментальных исследований, выполненных с использованием современного оборудования и вычислительной техники, а также сходимостью результатов лабораторных и опытно-промышленных экспериментов.

Практическая значимость работы:

1. Разработан кислотный поверхностно-активный состав для стимуляции добычи нефти (патент на изобретение РФ 2307149).

2. Разработано гидромониторное устройство для работы в скважине, позволяющее селективно воздействовать на интервалы перфорированной мощности высоконапорными струями кислотных растворов (патент на полезную модель №63714).

3. Установлено, что:

- значимыми факторами, влияющими на прирост дебита скважины при проведении технологии глино-кислотных обработок (ГКО) являются: величина дебита скважины по нефти и жидкости до обработки, удельный объем закачки кислотной композиции, начальное давление нагнетания реагентов в пласт, время выдержки кислотного состава в ПЗС, глубина пласта и нефтенасыщенность;

- выход скважины на постоянный режим после проведения ГКО осуществляется в течение 1 - 2 месяцев с учетом отбора жидкости более 150 м³;

- наиболее эффективной областью применения ГКО является скважины с обводненностью не более 30%;

- результаты проведения технологии ГКО в период с октября по март имеют эффективность на 20-30 % выше, чем в период с апрель по сентябрь.

4. Разработан программный продукт, позволяющий на основании статистических обработки промысловых данных обосновывать выбор скважин и технологию проведения работ (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007611697).

5. Разработана технология селективного воздействия на пласт, осуществляющаяся путем осаждения твердой мелкодисперсной фазы, образующейся при взаимодействии реагента РДН-У с раствором $CaCl_2$ в водонасыщенном интервале и совмещения кислотной обработки с гидромониторным устройством, установленным в заданный интервал продуктивного пласта.

6. Разработанная комплексная гидромониторная технология реализована на скважинах № 263, 270, 295 Южно - Золоторевского месторождения ОАО «Самаринвестнефть». Дополнительная добыча нефти в результате проведения геолого-технических мероприятий составила 1150 тонн.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на 3 Всероссийской научной конференции ученых и студентов (Самара, 2005 г.); 9 Международном симпозиуме студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2005 г.); Международной научно-практической конференции «Ашировские чтения» (Самара, 2006, 2009, 2011 г.); Международной научной конференции «Актуальные проблемы и инновации в экономике, технике, образовании, информационных технологиях» (Ставрополь-Кисловодск, 2011 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 3 работы изданы в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, 2 патента РФ, официально зарегистрированная программа для ЭВМ и 1 тезисы доклада конференции.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка используемой литературы, приложения и содержит 134 страницы машинописного текста, 50 рисунка, 36 таблиц, 177 библиографических ссылок, 4 приложения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируется цель, определяются задачи исследований, научная новизна и практическая значимость, приводятся основные защищаемые положения, сведения об апробации и внедрении результатов работы.

В первой главе рассмотрены работы отечественных и зарубежных авторов по исследованию в области стимуляции скважин. Этому посвящены труды: К.Б. Аширова, Г.А. Бабаляна, Ю.П. Борисова, М.К. Гиматудинова, Р.М. Дияшева, Ю.В. Желтова, Ф.И. Котяхова, В.И. Кудинова, Б.Г. Логинова, Л.В. Лютина, М.М. Максимова, И.Т. Мищенко, Р.Х. Муслимова, М.К. Рогачева, Б.Ф. Сазонова, М.Л. Сургучева, А.Г. Телина, М.А. Токарева, D.R. Davies, G. Paccaloni, H. Perthuis, E. Touboul, R.L. Thomas и ряда других исследователей. Проанализированы основные причины ухудшения фильтрационных характеристик ПЗС, особенности изменения параметров ПЗС при стимуляции скважин, предложены

перспективные направления по развитию исследований в области улучшения фильтрационных характеристик ПЗС.

Из проведенного анализа результатов исследований видно, что эффективность эксплуатации скважин во многом зависит от состояния ПЗС, которая является важнейшим звеном в единой гидродинамической системе «пласт - ПЗС - скважина». В околоскважинной зоне наиболее активно протекают физико-химические процессы естественного и техногенного характера, приводящие к ухудшению фильтрационных характеристик горных пород и, как следствие, снижению продуктивности скважин. К естественным процессам можно отнести: изменение термобарических условий, увеличение обводненности продукции, снижение проницаемости в процессе эксплуатации вследствие высокого содержания твердых взвешенных частиц (ТВЧ). Процессами техногенного характера являются проникновение бурового раствора и других технологических жидкостей в пласт, образование органических и неорганических осадков и эмульсии, увеличение неоднородности разреза скважины.

Наиболее широко применяемым методом воздействия на терригенные коллектора остаются кислотные обработки. В силу разнообразия минералогического состава терригенных коллекторов и сложностью протекания химических реакций кислот с минералами, в целях предотвращения выпадения осадков, необходимо обоснованно подходить к выбору технологической схемы проведения кислотной обработки. На первом этапе необходимо удалить всю карбонатную составляющую терригенного коллектора (для предотвращения образования фторидов кальция CaF_2). На втором этапе идет обработка глинистых минералов смесью соляной и плавиковой кислот (для предотвращения выпадения гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ и фторида алюминия AlF_3). На третьем этапе необходимо поддерживать кислую среду добавкой соляной кислоты (для предотвращения выпадения гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ и фторида алюминия AlF_3). Для предотвращения образования осадков при контакте кислотных составов с пластовыми водами необходимо перед проведением кислотной обработки оттеснить пластовые воды буферными растворами.

Неоднородность продуктивных горизонтов влияет на выбор технологии обработки скважины. С ее увеличением необходимо применение селективных методов воздействия на пласт.

Анализ работ по физическому воздействию на продуктивный коллектор показал перспективность дальнейших исследований по совмещению физических и химических методов. При совмещении гидромониторного и химического воздействия происходит синергетический эффект, за счет чего и увеличивается эффективность применяемых технологических решений.

Во второй главе с целью определения основных факторов, влияющих на средний прирост дебита скважины по нефти после проведении ГКО, проведен анализ проведения данной технологии на месторождениях республики Татарстан. Основой послужили результаты 120 обработок терригенного разреза продуктивных пластов, проводимых в течение трех лет на Ромашкинском, Ново-Елховском, Бавлинском, Ямашкинском, Архангельском, Ерсубайкинском, Бахчисарайском, Бондюжском месторождениях. Анализ проводился с использованием пакета статистических программ «STADIA». В качестве влияющих факторов рассматривались:

- геологические факторы: температура, глубина, нефтенасыщенность, пористость, проницаемость, коэффициент песчаности, коэффициент расчлененности, плотность и вязкость;
- технико-технологические факторы работы скважины: дебиты скважины по нефти и жидкости до обработки, обводненность продукции, перфорированная мощность;
- технологические факторы проведения обработки: удельный объем закачки, давление нагнетания, изменение давления в процессе проведения технологии, время выдержки кислотного состава.

Результатом описательной статистики стали следующие усредненные показатели: фонд скважин малодобитный от со средним дебитом по жидкости $2,47 \text{ м}^3/\text{сут.}$, диапазон изменения параметра от 0 до $7,4 \text{ м}^3/\text{сут.}$ по нефти $1,68 \text{ т/сут.}$ диапазон от 0 до $5,9 \text{ т/сут.}$ и невысокой обводненностью, среднее значение которой составляет 22 %, пласты высокопроницаемы со средним значением проницаемости $0,5 \text{ мкм}^2$, низкотемпературные (28°C) и достаточно сильно расчлененные средний коэффициент расчлененности

составляет 2,081. Прирост дебита скважины от ГКО изменяется в пределах от 0 до 5,16 т/сут, среднее значение составляет 0,699 т/сут, что позволяет говорить о недостаточной эффективности применяемых составов и низкой эффективности технологий воздействия.

Оценка снижения дебита по жидкости после проведения обработки 30 % числа скважин свидетельствует о возможных отложениях, несовместимости и закупорки ПЗС продуктами реакции кислотных составов и породообразующих минералов. Данное обстоятельство указывает на необходимость проведения лабораторных исследований для подбора кислотной композиции под геолого-физические условия каждой из скважин.

Группирование результатов обработок на периоды с октября по март и с апреля по сентябрь показало большую эффективность проведения технологий в "холодный" период, средний прирост на 15% выше аналогичного показателя и составляет 2,58 т/сут. Данное обстоятельство, учитывая, что обрабатываются низкотемпературные пласты, позволяет говорить о значительном влиянии на показатель эффективности температуры закачиваемых в пласт растворов.

Для определения корреляционной зависимости между параметром эффективности и рассматриваемыми факторами использован метод непараметрической корреляции с определением коэффициентов Спирмена (r) и Кендела (t). Для условий терригенных коллекторов месторождений республики Татарстан показано, что значимыми факторами, влияющими на прирост по нефти после проведения ГТМ, являются: нефтенасыщенность пласта, дебит скважины по нефти и по жидкости до обработки, глубина продуктивного горизонта, время выдержки кислотного состава, начальное давление закачки. Невысокие значения коэффициентов при ранжировании говорят о том, что существуют такие участки изменения информативных признаков, где тенденция корреляционной зависимости информативных признаков нарушается, либо не имеет явно выраженного характера. Поэтому ни один из рассмотренных факторов не может претендовать на роль универсального критерия информативности при подборе скважины при проведении ГТМ.

При выборе скважин для проведения ГТМ необходимо сделать предварительную оценку эффективности воздействия на количественном уровне. Взаимосвязь между выходным параметром и независимыми переменными может быть описана линейным уравнением множественной регрессии:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_iX_i, \quad (1)$$

где Y – показатель эффективности, X_i – факторы, характеризующие параметры объекта воздействия и технологии, b_i – оценки коэффициентов уравнения множественной линейной регрессии.

По рассматриваемым выше факторам построены модели: базовая модель (по всему рассматриваемому объему информации), модель с учетом значимых факторов, выделенных непараметрической корреляцией и модели, построенные после группировки результатов на периоды с октября по март и с апреля по сентябрь. Высокие коэффициенты корреляции говорят об адекватности полученных моделей. Полученные модели позволяют решать задачи по выбору объекта и планированию на нем технологической эффективности. На основании проведенных исследований разработан комплексный подход к проведению ГТМ, включающий диагностику объекта воздействия, оценку причин ухудшения фильтрационных характеристик ПЗС, анализ применяемых методов стимуляции скважин, планирование и контроль над проведением технологии, реализованный в официально зарегистрированной программе для ЭВМ №2007611697 «Совершенствование физико-химических методов интенсификации добычи нефти (на примере малодебитных скважин месторождений РТ)», и позволяющий повысить эффективность принимаемых технологических решений.

В третьей главе изложена методика и результаты экспериментальных исследований. Определялись физические параметры кислотных композиций: плотность, вязкость, поверхностное натяжение, коррозионная активность, совместимость компонентов кислотного состава, совместимость кислотных композиций с нефтью и пластовой водой. Были исследованы образцы породообразующих минералов методом рентгеновской дифрактометрии на приборе ДРОН – 3.0. Исследования растворения образцов породы в статических условиях проводились на приборе

Кларка. Исследования в динамических условиях на керне терригенного разреза осуществлялись с использованием стандартного оборудования УИПК с использованием методики согласно ОСТ 39-195-86. Образцы керна до и после кислотной обработки исследовались на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6390. Микроскопические исследования по определению параметров образованной твердой мелкодисперсной фазы проводились с использованием микроскопа «Термопан».

Для предотвращения возможного выпадения неорганических солей из отработанных кислотных растворов был исследован и подобран состав на основе полифосфатов натрия – "плав солей" (пиро-гекса-метофосфат). Результаты исследований, представленные на рисунке 1, аппроксимируются прямыми линиями, выходящими из начала координат.

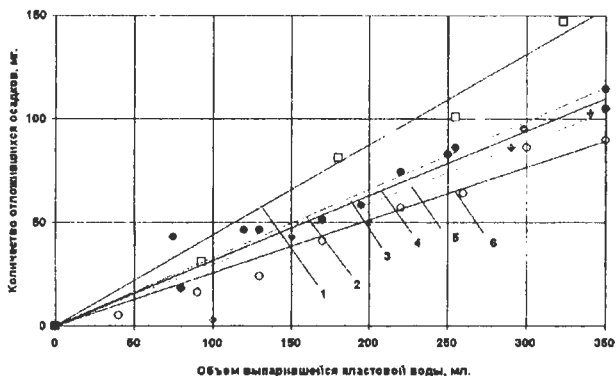


Рис. 1 График изменения массы осадка при упаривании пробы воды с концентрацией ингибиторов 20 г/м³

1 – пластовая вода; 2 – гексаметафосфат натрия (ГМФН); 3 – смесь неактивных кислот (СНК); 4 – натритриметилфосфоновой кислоты (НТФ); 5 – оксиэтилдифасфоновая кислота (ОЭДФ); 6. – плав солей

Коэффициенты уравнения прямой и достоверность аппроксимации для рассматриваемых реагентов составляют: воды – 0,438, $R^2 = 0,989$; ГМФН - 0,33, $R^2 = 0,951$; СНК - 0,32, $R^2 = 0,981$; НТФ - 0,314, $R^2 = 0,981$; ОЭДФ - 0,295, $R^2 = 0,95$; "плав солей" - 0,255, $R^2 = 0,971$. Проведенные исследования показали высокую эффективность реагента "плав солей", которая составляет более 30%, при добавке реагента количестве 20 г/м³.

В качестве исследуемых кислотных композиций были выбраны базовые составы, на основе соляной, фтористоводородной и уксусной кислот, модифицированные поверхностно-активным веществом Неонол Аф 9-12 и реагентом "плав солей".

Результаты изучения физических свойств, разрабатываемых кислотных растворов показали, что все исследуемые компоненты композиций хорошо совместимы, физические свойства композиций меняются слабо как по составу входящих в композицию реагентов, так и при увеличении температуры, при эмульгировании происходит полное расслоение смешиваемых составов и нефти. На рисунках 2, 3 представлены скорость растворения карбонатной составляющей терригенного разреза и нейтрализация кислотных составов.

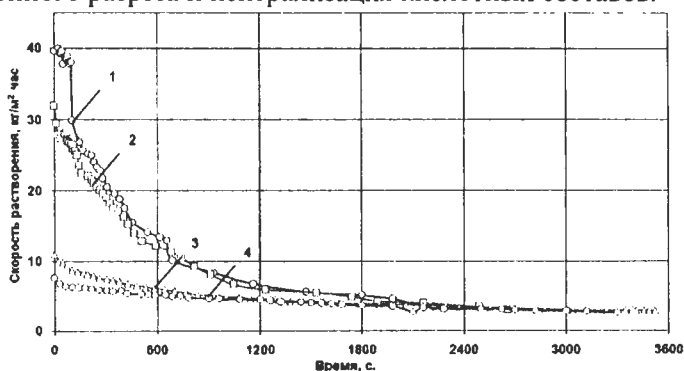


Рис.2 Скорость растворения карбонатной составляющей терригенного разреза в нормальных условиях

1 - 12%HCl; 2 - 12%HCl + 2%HF+ 3%CH₃COOH; 3 - 12%HCl + 2%HF + 0,5% АФ₉₋₁₂+ Плав солей; 4 - 12%HCl + 2%HF+ 3%CH₃COOH + 0,5% АФ₉₋₁₂+ Плав солей

По результатам проведенных исследований в статических условиях можно сделать следующие выводы:

- применение кислотных композиций без добавок замедлителей нецелесообразно, так как базовые составы (1,2) имеют высокие скорости растворения и нейтрализуются в течение 30 минут;
- составы с добавлением замедлителей реакции нейтрализуются медленнее и по истечению 60 минут их остаточная кислотность составляет более 40% от начальной;
- добавка реагентов "плав солей" и ПАВ приводят к снижению скорости растворения образцов;

- исследования кислотных составов на коррозионную активность показали высокую эффективность разработанных составов.

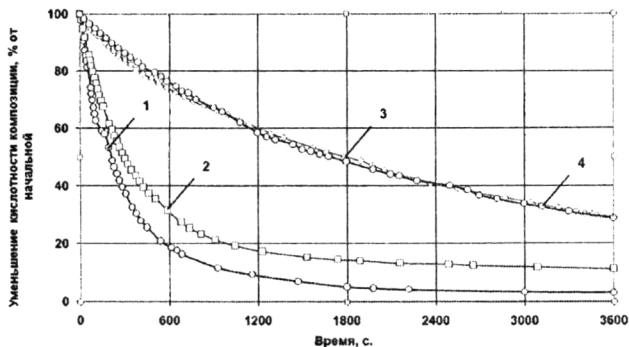


Рис.3 Нейтрализация кислотных составов во времени по отношению к первоначальной концентрации в нормальных условиях

1 - 12% HCl ; 2 - 12% HCl + 2% HF + 3% CH_3COOH ; 3 - 12% HCl + 2% HF + 0,5% AF_{9-12} + Плав солей; 4 - 12% HCl + 2% HF + 3% CH_3COOH + 0,5% AF_{9-12} + Плав солей

Исследования кислотной обработки в динамических условиях проводилось на образцах керна Южно-Золоторевского месторождения. Результаты исследований микроструктуры поверхности керна материала представлены на рисунках 4, 5.

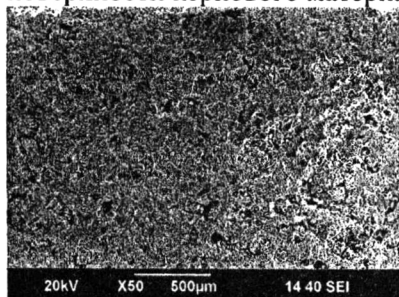


Рис.4 Поверхность керна материала до кислотной обработки

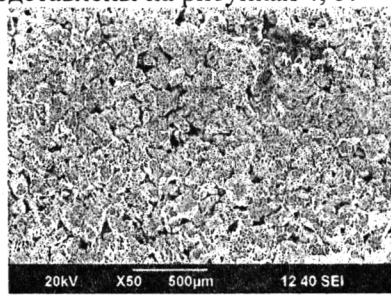


Рис.5 Поверхность керна материала после кислотной обработки

В представленных образцах пределы изменения пористости составляют 2 - 25%. Преобладают капиллярные поры размером 2-9 мкм. Изменение пористости в сторону ее увеличения после обработки кислотными растворами составляет 40-90 % от начальной, что сильно отражается на степени фильтрации. Проведенные фильтрационные исследования показывают эффективность разработанных составов, среднее значение коэффициента

проницаемости увеличилось с 0,86 мкм² до 1,648 мкм². Об этом же свидетельствуют результаты энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа, представленные на рисунках 6, 7, показывающие удаление глинистой и карбонатной составляющей в образцах породы после кислотной обработки. В типичных спектрах рентгеновского излучения образцов керна после обработки отсутствуют элементы *Al*, *Mg*, *K*, *Fe*. На разработанные составы получен патент на изобретение №2307149.

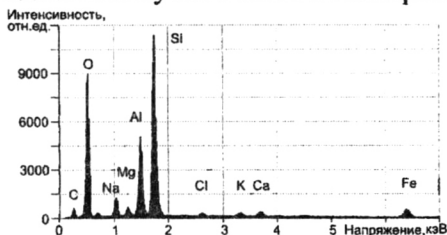


Рис. 6 Типичный спектр рентгеновского излучения керна до кислотной обработки

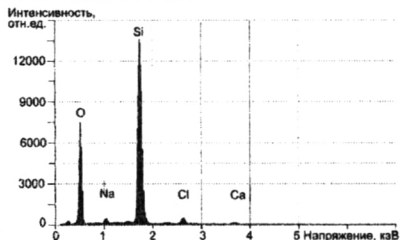
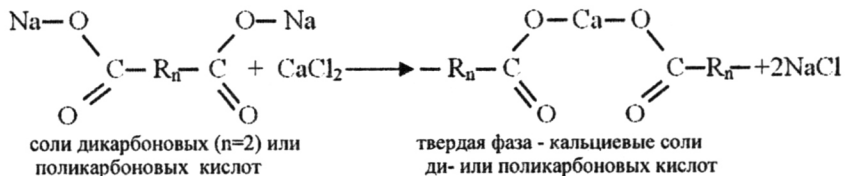
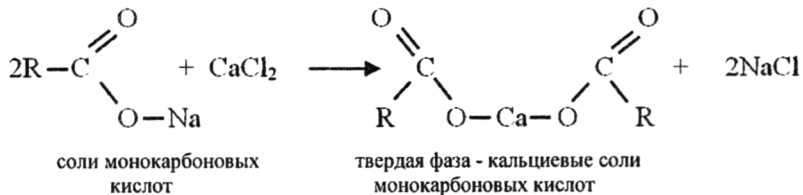


Рис. 7 Типичный спектр рентгеновского излучения керна после кислотной обработки

С целью увеличения эффективности применяемых составов в неоднородных, обводненных коллекторах была разработана технология селективного воздействия на нефтенасыщенную часть пласта, основанная на взаимодействии реагента РДН-У с солями жесткости пластовых вод или раствором $CaCl_2$. При этом взаимодействии происходит образование твердой фазы по следующим уравнениям:



R - остаток адипиновой кислоты - $HOOC(CH_2)_4$.

Технология селективной кислотной обработки сводится к последовательному проведению работ по ограничению приемистости обводненных интервалов пласта, а затем увеличению продуктивности нефтенасыщенных толщин. Снижение приемистости обводненных интервалов обеспечивается образованием мелкодисперсной твердой фазы в результате взаимодействия растворов реагента РДН-У и хлористого кальция (см. рис. 8).

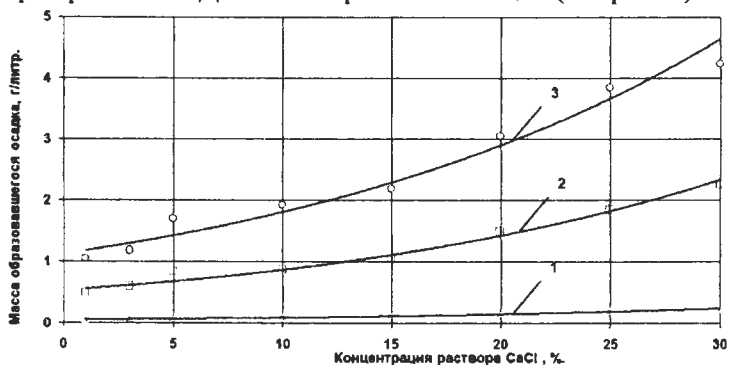


Рис. 8 Изменение массы образовавшегося осадка при взаимодействии раствора $CaCl_2$ и реагента РДН-У.

1- 1% масс. раствор РДН-У, 2- 5% масс. раствор РДН-У, 3- 10% масс. раствор РДН-У,

Исследование эффекта снижения проницаемости в результате образования твердой мелкодисперсной фазы проводилось на искусственных насыпных моделях с различными по проницаемости трубками тока. Проведенные исследования свидетельствуют о высокой эффективности данной технологии.

Одним из направлений по увеличению эффективности применяемых методов кислотного воздействия на ПЗС является совмещение физических и химических методов. Разработано скважинное гидромониторное устройство для воздействия на призабойную зону продуктивного пласта, работающее от потока, проходящего через него кислотного раствора и генерирующее колебание потока жидкости и периодические импульсы давления. Для реализации различных механизмов закручивания и турбулизации потоков, а также его пульсации используются две схемы вихревых камер (рис. 9). Первая схема использует механизм турбулизации потоков за счет тангенциально расположенных

входящих в вихревую камеру (поз.2), выполненную в виде полого цилиндра, каналов, что позволяет увеличивать завихрения линий тока жидкости. Вторая схема реализует резонатор, устройство вихревого канала которого (поз. 5), выполнено в виде двух цилиндрических изолированных полостей с острыми краями, входящих отверстий и соосно-расположенных выходящих отверстий (насадок) большего диаметра с поступлением жидкости по каналу, расположенному под углом к осевому отверстию. Жидкость поступает в ассиметричную полость через входное отверстие и покидает ее через выходное отверстие с острыми кромками. В полости развивается турбулентный пограничный слой вследствие того, что входное отверстие меньше диаметра рабочей полости вихревой камеры, что ведет к сильным сдвиговым смещениям на границе раздела между двумя потоками, в результате чего образуются вихревые кольца. Соударение упорядоченных ассиметричных возмущений с кромкой выходного отверстия насадки генерирует периодические импульсы давления.

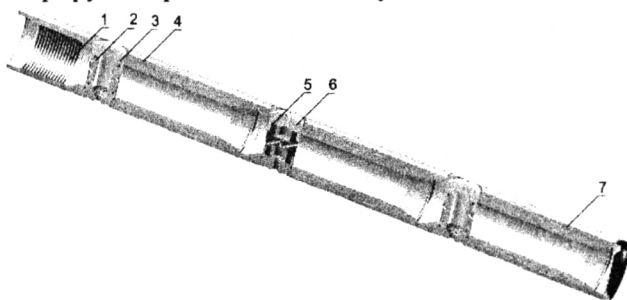


Рис. 9 Общий вид скважинного гидроакустического генератора
1 – присоединительная резьба, 2, 4 – вихревые камеры, 3,6 – насадки, 7-заглушка.

Совмещение физического и химического методов стимуляции скважин обеспечивает комплексный эффект направленный на увеличение глубины проникновения кислотного состава в пласт.

Расчеты основных конструкционных элементов, выполненных в программе «ANSIS», позволили установить наиболее напряженные участки деталей скважинного устройства: для камеры с тангенциальным вводом наиболее напряженными участками являются тангенциальные каналы, однако развиваемые напряжения не приводят к разрушению при использовании сталей низкой

прочности, например СТ 3, для насадок – критической является острая кромка, для данного элемента необходимо использовать легированные стали, примером может послужить марка 40X. По разработанному устройству получен патент на полезную модель №63714.

В четвертой главе представлены результаты промышленных испытаний разработанной технологии и составов.

Технология комплексной гидромониторной стимуляции скважин опробована на терригенном коллекторе добывающих скважин ОАО «Самараинвестнефть» по следующей схеме:

- установка гидромониторного устройства в заданный интервал перфорированной мощности;
- протравливание внутрискважинного оборудования (для предотвращения попадания ионов железа в кислотный раствор);
- закачка солянокислотного раствора (для удаления карбонатной составляющей терригенного пласта);
- закачка состава - осадкообразователя (для селективной обработки нефтенасыщенных участков пласта);
- закачка растворителя в качестве буферной жидкости (для предотвращения осадкообразования при контакте глинокислотного состава с пластовыми водами и продуктами реакции солянокислотного раствора);
- закачка основного глинокислотного состава (для растворения глинистых минералов и полевых шпатов);
- закачка низко концентрированной соляной кислоты (для поддержания кислотности отработанных растворов и предотвращения осадкообразования).

Результаты показателей работы скважины и дополнительная добыча нефти представлены в таблице

Таблица

Показатели эксплуатации скважин до и после проведения обработки

№ скв.	Месторождение	Показатели до ГТМ		Показатели после ГТМ		Продолжительность эффекта, мес.	Дополнительная добыча, тонн
		дебит, т/сут.	обв.%	дебит, т/сут.	обв.%		
270	Южно-Золоторевское	9,71	5,8	13,5	5	3 и более	390
263	Южно-Золоторевское	20,19	13,9	24,6	14	5 и более	730
295	Южно-Золоторевское	3,7	9,6	5,2	12	1 и более	30

Результаты опытно-промышленных исследований разработанных составов и технологий говорят о высокой эффективности разработок, которая достигается за счет глубокого проникновения кислотного состава в ПЗС, предупреждения выпадения осадков из растворов, а также селективности воздействия на нефтенасыщенный коллектор.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем.

1. Разработана технология комплексной гидромониторной стимуляции скважин, включающая селективную обработку продуктивного коллектора кислотными составами достигающаяся путем осаждения твердой мелкодисперсной фазы, образующейся при взаимодействии реагента РДН-У с раствором $CaCl_2$ в водонасыщенном интервале и установкой разработанного устройства в заданный интервал продуктивного пласта направленного на совмещение кислотной обработки с гидромониторным эффектом.

Исследованы важнейшие технологические свойства осадкообразующих композиций на основе реагентов РДН-У и хлористого кальция для проектирования технологии стимуляции скважин.

2. Разработаны и исследованы новые кислотные составы, направленные на снижение возможности вторичного выпадения осадков при проведении кислотных обработок (Патент РФ №2307149).

3. Установлено, что значимыми факторами, влияющими на эффективность проведения ГКО в терригенных коллекторах месторождений республики Татарстан, являются: дебит скважины по нефти и жидкости до обработки, нефтенасыщенность, глубина продуктивного горизонта, время выдержки кислотного состава, начальное давление закачки. Для данных объектов получены уравнения линейной регрессии прироста дебита скважины по нефти, учитывающие геолого-физические параметры пласта, технико-технологические параметры работы скважины и проведения обработки. Рекомендовано на стадии высокой обводненности

продукции скважин применение селективных обработок с использованием составов избирательно блокирующих водонасыщенные интервалы (Свидетельство об официальной регистрации программы ЭВМ №2007611697).

4. Разработано гидромониторное устройство для работы в скважине, позволяющее совмещать химическое и физико-механическое воздействие, основанное на возбуждении волновых пульсаций, создаваемых потоком жидкости (Патент РФ №63714).

5. Вариант разработанной технологии стимуляции скважин адаптирован к условиям скважин 270, 263, 295 Южно-Золоторевского месторождения ОАО «Самараинвестнефть». На 31.12.2011 года дополнительно добыто 1150 тонн нефти, эффект по всем скважинам продолжается.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Воробьев С.В. Исследование составов и разработка технологий для предупреждения образования неорганических осадков // Известия Самарского научного центра российской академии наук: Спец. выпуск «Проблемы нефти и газа» 2004. – Самарский научный центр Российской академии наук. Президиум СНЦ РАН, 2004. – с. 193 – 196.

2. Воробьев С.В. Исследование и разработка кислотных составов для увеличения эффективности обработок скважин в карбонатных коллекторах // Известия Самарского научного центра российской академии наук: Спец. выпуск «Проблемы нефти и газа» 2005. – Самарский научный центр Российской академии наук. Президиум СНЦ РАН, 2005. – с. 111 – 120.

3. Живаева В.В., Воробьев С.В., Ивонтьев К.Н., Кабо В.Я., Комзалов А.Г. Кислотный поверхностно-активный состав для обработки призабойной зоны пласта // Патент на изобретение №2307149 от 27.09.2007.

4. Воробьев С.В. Совершенствование физико-химических методов интенсификации добычи нефти (на примере малодобитных скважин месторождений РТ) // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007611697 от 23. 04.2007.

5. Воробьев С.В., Живаева В.В., Крайнов И.С. Патент на полезную модель №63714 от 10.06.2007. // Скважинный гидроакустический генератор.

РИЦ СПбГУ. 12.01.2012. 3.7 Т.100 экз.

199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2

102