

На правах рукописи

Купавых Артем Сергеевич



**ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НА
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ С ТРЕЩИННО-ПОРОВЫМИ
КОЛЛЕКТОРАМИ**

*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 – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Рогачев Михаил Константинович

Официальные оппоненты:

Андреев Вадим Евгеньевич

доктор технических наук, профессор, Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», лаборатория нефтегазовых исследований, руководитель

Поплыгин Владимир Валерьевич

кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра нефтегазовых технологий, доцент

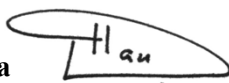
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа

Защита диссертации состоится 22 декабря 2020 г. в 14:00 ч на заседании диссертационного совета ГУ 2020.3 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 22 октября 2020 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ТАНАНИХИН
Дмитрий Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности

Перспективы развития нефтедобывающей промышленности Российской Федерации во многом определяются состоянием ресурсной базы ее углеводородных запасов. Большинство крупнейших месторождений, эксплуатируемых в России, в настоящее время уже перешли или переходят на завершающие этапы разработки, которые отличаются высокой степенью содержания воды в добываемой продукции и крайне низкими дебитами скважин. Степень выработки нефтяных залежей Волго-Уральской нефтегазоносной провинции в настоящее время превышает 70%.

В условиях крайней нестабильности мирового нефтяного рынка значительно возрастает необходимость поиска и разработки новых энергоэффективных методов и способов увеличения нефтеотдачи пластов, поскольку применение традиционных технологий воздействия на продуктивный пласт в условиях завершающих стадий разработки месторождений зачастую балансирует на грани рентабельности их применения.

Как показывает практика, комплексирование физико-химических и физических методов воздействия на продуктивный пласт способствует повышению эффективности эксплуатации месторождений, при этом за счет совместного использования воздействий достигается суммарный, синергетический эффект.

Отдельными вопросами повышения эффективности освоения и эксплуатации скважин занимались отечественные и зарубежные исследователи: Астрахан И.М., Ахметов И.М., Валеев М.Д., Вахитов Г.Г., Гуськова И.А., Дыбленко В.П., Желтов Ю.П., Зейгман Ю.В., Крысин Н.И., Кудинов В.И., Кузнецов О.Л., Мавлютов М.Р., Мирзаджанзаде А.Х., Мищенко И.Т., Молчанов А.А., Николаевский В.Н., Стрижнев К.В., Христианович С.А., Шипулин А.В., Щелкачев В.Н., Яремийчук Р.С., Matthews C.S., Horne R.N. и др.

Разработкой технологий и методов физико-химического воздействия на продуктивные пласты занимались отечественные и зарубежные исследователи: Алтунина Л.К., Андреев В.Е.,

Антониади Д.Г., Ахметов А.А., Бабалян Г.А., Газизов А.А., Газизов А.Ш., Девликамов В.В., Ленченкова Л.Е., Мусабилов М.Х., Муслимов Р.Х., Ребиндер П.А., Рогачев М.К., Силин М.А., Телин А.Г., Уметбаев В.Г., Фахретдинов Р.Н., Хавкин А.Я., Хисамов Р.С., Ali S., Kline W.E., Smith C. и др.

Сегодня все большую популярность приобретают виброволновые методы физического воздействия на продуктивные пласты в целом и призабойную зону пласта в частности. Технология ударно-волнового гидравлического воздействия, также называемая гидроимпульсным воздействием, представляет значительный интерес для повышения эффективности эксплуатации месторождений, находящихся на завершающих этапах разработки. Однако, в настоящее время недостаточно изучены особенности, механизм действия и эффективность ее применения для конкретных объектов.

В связи с этим, актуальными являются исследования, направленные на изучение влияния гидроимпульсного воздействия на фильтрационно-емкостные характеристики ПЗП, в целях разработки и обоснования новых энергоэффективных комплексных технологий интенсификации добычи в условиях трещинно-поровых коллекторов.

Целью работы является повышение эффективности эксплуатации нефтяных месторождений, сложенных трещинно-поровыми коллекторами и находящихся на завершающих этапах разработки, путем улучшения фильтрационных характеристик призабойной зоны добывающих и нагнетательных скважин.

Идея работы

Поставленная цель достигается комплексированием физического (гидроимпульсного) и физико-химического (обработка раствором ПАВ) воздействий на призабойную зону продуктивного пласта.

Задачи исследований

1. Анализ причин и факторов, влияющих на изменение фильтрационно-емкостных характеристик призабойной зоны пласта. Рассмотрение и анализ современных методов и технологий

воздействия на ПЗП и пластовую систему в целом, направленных на повышение нефтеотдачи, и перспектив их развития.

2. Определение фильтрационно-емкостных свойств коллектора – породы продуктивного пласта на образцах естественного кернового материала.

3. Исследование составов технологических жидкостей для осуществления комплексного воздействия с целью повышения эффективности фильтрации водонефтяной смеси в пласте.

4. Физическое моделирование и проведение стендовых исследований по изучению комплексного воздействия гидроимпульсной технологии и растворов неионогенных ПАВ на фильтрационные характеристики ПЗП в термобарических условиях.

5. Разработка технологической схемы проведения комплексного гидроимпульсного воздействия на ПЗП трещинно-поровых продуктивных коллекторов.

6. Опытно-производственная оценка предложенных технологических решений в условиях трещинно-поровых коллекторов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

Научная новизна заключается в экспериментальном установлении зависимостей изменения фильтрационных характеристик породы-коллектора и вмещающего флюида от количества приложенных импульсов воздействия при моделировании комплексного воздействия гидроимпульсной технологией и раствором неионогенного ПАВ на призабойную зону пласта трещинно-поровых коллекторов.

Теоретическая и практическая значимость

1. Выполнено обоснование совместного применения физического и физико-химического воздействия для повышения продуктивности месторождений, сложенных трещинно-поровыми коллекторами.

2. Разработан и прошел опытно-производственные испытания способ гидроимпульсной обработки призабойной зоны пласта, позволяющий улучшать ее фильтрационные характеристики, увеличивать подвижность флюида и управлять режимом работы скважины (Патент РФ №2630016).

3. Материалы диссертационной работы могут быть рекомендованы к применению в профильных высших учебных заведениях при проведении лекционных и лабораторных занятий по дисциплинам «Нефтегазопромысловое оборудование» и «Технология и техника методов повышения нефтеотдачи пластов» для студентов направления «Нефтегазовое дело».

Методология и методы исследований

Исследования носят экспериментально - теоретический характер и включают лабораторные исследования составов технологических жидкостей, научное обоснование и разработку комплексной технологии воздействия на призабойную зону пласта, физическое моделирование и проведение соответствующих многочисленных экспериментальных исследований на высокоточном, современном оборудовании, с моделированием пластовых условий. Обработка полученных данных проводилась с помощью передовых компьютерных технологий, признанных закономерностей подземной гидродинамики и установленных факторов.

Положения, выносимые на защиту

1. Улучшение фильтрационных характеристик нефтенасыщенных пород-коллекторов обеспечивается комплексированием гидроимпульсного и физико-химического воздействия на эти породы.

2. Разработанная комплексная технология интенсификации добычи нефти на месторождениях с трещинно-поровыми коллекторами, основанная на гидроимпульсном воздействии на призабойную зону нефтяного пласта после предварительной закачки в эту зону раствора неионогенного ПАВ, обеспечивает возможность увеличения продуктивности добывающих и приемистости нагнетательных скважин.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов определяется современным уровнем аналитических и достаточным объемом экспериментальных лабораторных исследований с использованием высокоточного современного оборудования, воспроизводимостью полученных

экспериментальных данных, а также опытно-производственными испытаниями разработанной технологии.

Основные положения работы и результаты исследований докладывались на: ежегодном Международном форум-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, Горный университет, апрель 2016), 57-й Международной научной конференции молодых ученых (Польша, Краков, декабрь 2016), II и III Международной научно-практической конференции «Бурение скважин в осложненных условиях» (Санкт-Петербург, Горный университет, октябрь 2017, ноябрь 2018), Научной конференции студентов и молодых ученых (Санкт-Петербург, Горный университет, март 2020).

Публикации

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 1 статье – в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Web of Science; получен 1 патент и 2 свидетельства программ для ЭВМ.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка. Материал диссертации содержит 131 страницу машинописного текста, 46 рисунков, 30 таблиц, список литературы из 124 наименований и 2 приложения на 3 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении описывается общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность и степень проработанности, определяются цель, идея работы, задачи исследований, освещаются научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследований, основные защищаемые положения.

В первой главе приводятся оценка состояния и перспективы развития нефтедобывающей отрасли Российской Федерации, анализируются причины изменения фильтрационно-емкостных характеристик призабойной зоны пласта и рассматриваются основные методы интенсификации работы скважин. Установлено, что снижение фильтрационных характеристик ПЗП влечет за собой ухудшение условий регулирования разработки месторождений и снижает темпы и полноту выработки залежей. Эксплуатация месторождений на завершающих стадиях разработки, характеризующаяся высокой обводненностью и значительными недренируемыми запасами заземленной в порах пласта нефти, подталкивает на поиски и разработку новых, прогрессивных, отвечающих современным тенденциям и реалиям, технологий интенсификации добычи. Отмечается перспективность применения комплексных технологий, основанных на совместном применении физических и физико-химических методов увеличения нефтеотдачи пластов, за счет достижения суммарного, синергетического эффекта от их применения.

Во второй главе производятся постановка задач и обоснование методики экспериментальных исследований.

Подготовка образцов керна к исследованиям осуществлена в соответствии с принятыми стандартами на специальном оборудовании: высверливание и шлифовка образцов - на станках MDP-405 и DTS-430 (Coretest Systems Corporation, США); экстрагирование - на аппарате проточной очистки образцов керна FTCC-100 (Vinci Technologies, Франция); насыщение моделью пластового флюида - в сатураторе MS-535 (Vinci Technologies, Франция). Определение плотности жидкостей, применяемых в исследованиях, проводилось на плотномере DE 40 (Mettler Toledo, Швейцария).

Для определения открытой пористости и абсолютной проницаемости по газу подготовленных образцов керна в лабораторных экспериментах применялся анализатор газопроницаемости и пористости ПИК-ПП (АО «Геологика», Россия).

Межфазное натяжение на границе «дистиллированная вода – керосин» измерялось при помощи прибора для определения краевого угла смачивания и поверхностного/межфазного натяжения EASYDROP (KRUSS GmbH, Германия).

Для изучения влияния технологии комплексного воздействия на фильтрационно-емкостные характеристики ПЗП разработан ряд фильтрационных экспериментов, позволяющих смоделировать воздействие на призабойную зону пласта добывающих и нагнетательных скважин в лабораторных условиях. Эксперименты проводились в режиме постоянного расхода жидкости с фиксацией изменяющихся перепадов давления закачки при моделировании пластовых термобарических условий на установке RPS-812 (Coretest Systems Corporation, США).

В третьей главе представлены результаты обоснования и экспериментальной оценки комплексного воздействия на ПЗП технологией гидроимпульсного воздействия с применением неионогенных ПАВ.

Исходя из того, что технология гидроимпульсного воздействия предполагает создание разнонаправленных импульсов давления на устье скважин, создавая в околоствольной зоне продуктивного пласта чередующиеся во времени интервалы нагружения и разгрузки породы продуктивного пласта, принято решение произвести измерения открытой пористости и абсолютной проницаемости образца при значениях бокового обжима образца в интервале от 10 до 20 МПа. Исследования проведены на пяти подготовленных образцах кернового материала одного интервала терригенного коллектора Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Результаты исследований изменения абсолютной проницаемости образцов представлены на рисунке 1.

Абсолютная проницаемость по азоту в представленных образцах на исследуемых изменениях давления обжима уменьшается на величину от 4,4 до 11,7% в зависимости от образца, при этом среднее уменьшение составляет 7,2 % от первоначальной величины.

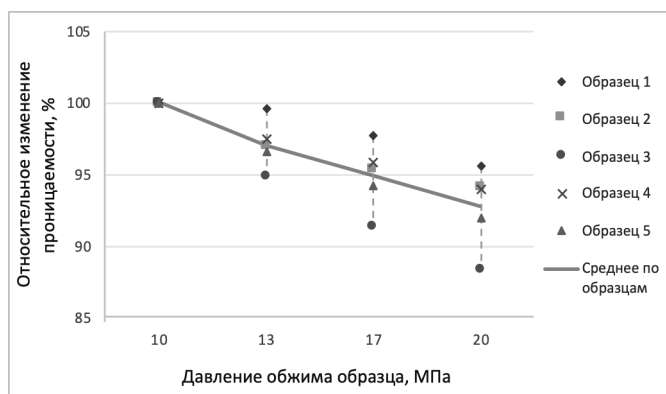


Рисунок 1 – Относительное изменение абсолютной проницаемости образцов по азоту от изменения давления обжима

Применение ПАВ в различных технологиях ПНП является наиболее предпочтительным с точки зрения сохранения и улучшения коллекторских свойств продуктивных пластов. Проведенные теоретические изыскания установили ряд условий и ограничений, предъявляемых к подбору ПАВ для применения в комплексной технологии воздействия на ПЗП добывающих и нагнетательных скважин. Наиболее полно им соответствуют неионогенные ПАВ, в частности реагент ОП-10. Результаты определения поверхностно-активных свойств исследуемого раствора НПАВ представлены на рисунке 2.

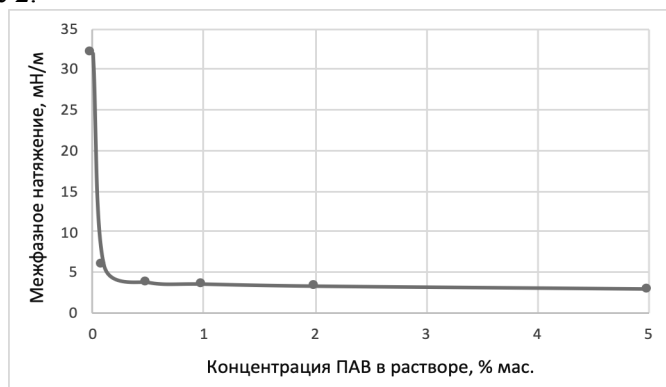


Рисунок 2 – Изотерма межфазного натяжения водных растворов ОП-10 на границе с керосином марки ТС-1

При массовой концентрации в диапазоне 0,1-0,5% НПАВ в водном растворе наблюдается практически 10-кратное снижение межфазного натяжения. При 0,5 %-ной концентрации реагента ОП-10 (ККМ) в водном растворе значение межфазного натяжения равно 3,7 мН/м и с увеличением концентрации практически не изменяется.

На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что циклическое знакопеременное воздействие на ПЗП с повышением и понижением эффективного давления вкупе со снижением межфазного натяжения на границе раздела фаз увеличивает коэффициент подвижности флюида в пластовых условиях. Если говорить о высокообводненном фонде скважин, где в пласте присутствует значительное количество «защемленной» в порах остаточной нефтяной фазы, комплексирование гидроимпульсного и физико-химического воздействий позволит повысить степень извлечения этой «защемленной» фазы.

Технология гидроимпульсного воздействия на ПЗП скважины предполагает создание в околоствольной зоне продуктивного пласта практически мгновенного, многократно чередующегося репрессивно-депресссионного возмущения породы коллектора и вмещающего его флюида. Данные возмущения формируются и передаются от устья к ПЗП скважины посредством рабочей жидкости, заключенной в лифте НКТ, спущенных в скважину.

На основе технических возможностей фильтрационной установки RPS-812 разработан целый ряд экспериментов, позволяющих смоделировать предлагаемую технологию комплексного воздействия на ПЗП добывающих и нагнетательных скважин в лабораторных условиях.

Исследования проводились на образцах породы естественного кернового материала трещинно-порового коллектора Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. В качестве вытесняющих флюидов применялись керосин марки ТС-1 и модель пластовой воды. Эксперименты проводились в режиме постоянного расхода жидкости с фиксацией изменяющихся перепадов давления закачки в термобарических условиях, максимально приближенных к пластовым.

Результаты фильтрационных экспериментов позволили установить зависимости изменения фильтрационных характеристик флюидонасыщенной породы от количества приложенных к образцу импульсов воздействия при моделировании комплексного воздействия гидроимпульсной технологией и раствором 0,5 % мас. неионогенного ПАВ ОП-10 на призабойную зону пласта добывающих (рисунок 3) и нагнетательных (рисунок 4) скважин.

При моделировании комплексного воздействия на ПЗП добывающих скважин во флюидонасыщенных образцах удалось добиться роста подвижности вытесняющего флюида в 1,36-1,65 раз. При этом фактор остаточного сопротивления снизился на 26-39%, а прирост коэффициента вытеснения модели пластовой нефти составил 1,25-3,5%.

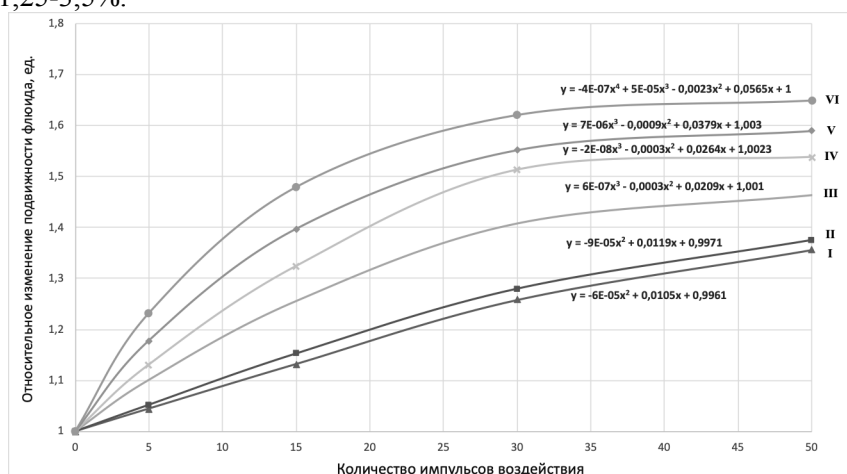


Рисунок 3 – Относительное изменение подвижности флюида при моделировании воздействия на ПЗП добывающих скважин

При моделировании комплексного воздействия на ПЗП нагнетательных скважин во флюидонасыщенных образцах удалось добиться роста подвижности вытесняющего флюида в 1,16-1,39 раз. При этом фактор остаточного сопротивления снизился на 14-28%, а восстановление фильтрационных характеристик образца составило 45,5-92%.

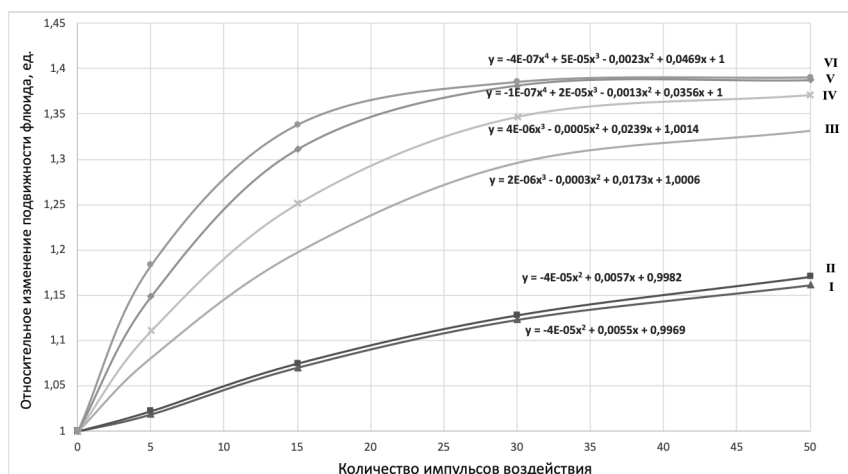


Рисунок 4 – Относительное изменение подвижности флюида при моделировании воздействия на ПЗП нагнетательных скважин

Зависимости, изображенные на рисунках 3 и 4, показывают изменение фильтрационных характеристик флюидонасыщенной породы:

I – при применении в качестве рабочей жидкости гидроимпульсного воздействия модели пластовой воды;

II – при применении в качестве рабочей жидкости гидроимпульсного воздействия раствора модели пластовой воды и 0,5 % мас. НПАВ ОП-10;

III-VI – при применении в качестве рабочей жидкости гидроимпульсного воздействия модели пластовой воды с учетом предварительной обработки образца раствором модели пластовой воды и 0,5 % мас. НПАВ ОП-10 и различными интервалами времени реагирования раствора в образце (1 ч, 2 ч, 4 ч, 8 ч соответственно).

Результаты фильтрационных исследований показали, что во всех экспериментах происходит рост подвижности вытесняющего флюида и снижение фактора остаточного сопротивления, что свидетельствует о перераспределении фильтрационных потоков во флюидонасыщенных образцах. Кроме того, предварительная обработка образца раствором НПАВ позволила качественно повлиять на эти показатели, и в том числе сократить количество импульсов воздействия для достижения наилучших показателей фильтрации.

Проведенные фильтрационные исследования позволяют однозначно судить об улучшении фильтрационных характеристик флюидонасыщенного образца керна при моделировании комплексной технологии гидроимпульсного воздействия с применением неионогенных ПАВ на ПЗП добывающих и нагнетательных скважин.

Четвертая глава посвящена разработке и описанию комплексной технологии обработки ПЗП добывающих и нагнетательных скважин, применимой для месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, сложенных трещинно-поровыми коллекторами, основанной на запатентованном способе гидроимпульсного воздействия на призабойную зону после предварительной обработки ее раствором НПАВ.

Отличительной особенностью данного способа является измененная обвязка устья скважины во время проведения обработки. Вместо того, чтобы нагнетать давление для создания импульса на устье скважины при закрытом быстродействующем клапане (задвижка ЗМС с пневмоприводом), насосный агрегат прокачивает жидкость по кольцевому контуру, в результате чего импульс воздействия создается при закрытии клапана. Такой способ позволяет обеспечить передачу энергии жидкости, движущейся по кольцевой траектории, столбу скважинной жидкости для придания ему необходимого ускорения и применить на устье скважины гидроудар для осуществления гидроимпульсного воздействия на ПЗП скважины.

Способ реализуется следующим образом. Выходной патрубок насосного агрегата соединяется с приемным устройством насосного агрегата через быстродействующий клапан, выходной патрубок насосного агрегата также соединяется с устьем скважины. Перед созданием гидроудара на устье скважины открывают быстродействующий клапан и включают насосный агрегат. Масса жидкости, находящаяся в насосном агрегате, быстродействующем клапане и соединительных рукавах, движется по созданному контуру с увеличивающейся скоростью. Одновременно скважина заполняется жидкостью, создавая гидростатическое равновесие столба скважинной жидкости, находящейся в НКТ. По достижении массы

движущейся жидкости установленных параметров быстродействующий клапан закрывается, движение жидкости по контуру резко прерывается и жидкость направляется в скважину. Поскольку плунжеры насосного агрегата движутся с высокой скоростью и жидкость имеет высокую скорость движения, на устье скважины создается гидроудар, распространяющийся до ПЗП.

При достижении зумпфа скважины волна движения жидкости создает повышенное давление на забое, что приводит к импульсному репресссионному воздействию на продуктивную толщу пласта. После открытия быстродействующего клапана в призабойной зоне возникает депрессионное воздействие. Знакопеременное импульсное воздействие на призабойную зону способствует ее промывке, отрыву адсорбционных отложений от стенок поровых каналов и трещин, а также повышению подвижности «защемленной» в порах остаточной нефтяной фазы. Все это ведет к перераспределению фильтрационных потоков в околоскважинной зоне пласта и увеличению ее гидропроводности.

В 2016 г. на действующей нагнетательной скважине № 1157 Туймазинского месторождения, эксплуатирующей терригенный пласт бобриковско-радаевского горизонта, было проведено опытно-производственное испытание разработанного способа гидроимпульсного воздействия на ПЗП. После выхода скважины на установившийся режим проведены гидродинамические исследования скважины методом записи кривой падения давления. Результаты этих исследований показали рост приемистости скважины до $75 \text{ м}^3/\text{сут}$ (в 3 раза по отношению к предыдущим исследованиям), рост коэффициента приемистости до $26,2 \text{ м}^3/(\text{сут} \cdot \text{МПа})$ (в 5 раз по отношению к предыдущим исследованиям).

В 2020 г. описанным способом была проведена обработка шести нагнетательных скважин кыновского и пашийского горизонтов Ромашкинского месторождения. Согласно предварительному акту опытно-промышленных испытаний, в результате проведения ОПЗ на нагнетательных скважинах технология позволила увеличить приемистость скважин до $130\text{--}400 \text{ м}^3/\text{сут}$, что значительно выше их паспортной приемистости. После периода высоких значений приемистость скважин снижается,

поскольку пласт перенасыщается и количество закачиваемой жидкости зависит только от режима работы КНС.

Результаты опытно-производственного применения разработанного и запатентованного способа гидроимпульсного воздействия на продуктивные пласты нефтяных месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции подтвердили ее эффективность. После воздействия отмечается увеличение приемистости нагнетательных скважин, что особенно важно для условий месторождений, находящихся на поздней стадии разработки.

Экспериментальные исследования, проведенные в лаборатории «Повышения нефтеотдачи пластов» кафедры РНГМ Горного университета, показали перспективность комплексного применения растворов неионогенных ПАВ и гидроимпульсного воздействия на ПЗП в условиях месторождений, сложенных трещинно-поровыми коллекторами. На их основании разработана технология комплексного воздействия на ПЗП добывающих и нагнетательных скважин.

Алгоритм разработанного комплексного воздействия на ПЗП обрабатываемой скважины:

- 1) обоснование выбора ПАВ и концентрации его раствора по результатам проведенных лабораторных исследований;
- 2) расчет объема раствора НПАВ, необходимого для проведения обработки;
- 3) определение времени реагирования водного раствора НПАВ в призабойной зоне скважины;
- 4) установление амплитуды импульса гидродинамического воздействия и их количества.

Обработка ПЗП добывающих скважин комплексной технологией гидроимпульсного воздействия и водными растворами НПАВ возможна двумя способами:

- без подъема ГНО, через затрубное пространство;
- с подъемом ГНО, через лифт технологических НКТ.

При реализации комплексной обработки с подъемом ГНО эффективность передачи импульса на забой возрастает, а, следовательно, возрастает и эффективность работ в целом. Однако при этом значительно увеличивается время нахождения скважины в

простое за счет необходимости постановки бригады ПКРС и проведения неоднократных спуско-подъемных операций.

Обработка нагнетательных скважин осуществляется без постановки бригады ПКРС, через лифт уже спущенных и запакерowanych в скважине НКТ.

Время проведения комплексной обработки, от остановки скважины до запуска ее в работу, составляет 8-12 ч, включая закачку и выдержку на реагирование раствора НПАВ в ПЗП, монтаж и демонтаж технологического оборудования на устье скважины, и непосредственно воздействие гидравлическими импульсами.

По завершении комплексной обработки скважина запускается в работу с последующей оценкой эффективности проведенных мероприятий, которая опирается на сравнительный анализ дебитов и обводненности добываемой продукции, статических и динамических уровней в затрубном пространстве, давления на устье и приемистости нагнетательных скважин, а также рассчитанных на их основе коэффициентов продуктивности и приемистости скважин, выполняемых до и после ОПЗ.

Таким образом, на основе проведенных исследований предложена технология комплексного воздействия на ПЗП добывающих и нагнетательных скважин гидроимпульсным методом и водными растворами НПАВ, установлены последовательность и особенности проведения технологических операций, а также предложены методы оценки эффективности применения комплексной технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты проведенного анализа теоретических, экспериментальных и опытно-производственных исследований позволили разработать комплексную технологию интенсификации добычи в условиях трещинно-поровых продуктивных коллекторов нефтяных месторождений, находящихся на завершающих этапах разработки, основанную на совместном применении растворов неионогенных ПАВ и гидроимпульсного воздействия для обработки ПЗП добывающих и нагнетательных скважин.

2. Лабораторные исследования выявили зависимость изменения абсолютной проницаемости образцов породы по азоту от

изменения давления объемного сжатия образца. При изменении давления в пределах от 10 до 20 МПа во всех испытуемых образцах абсолютная проницаемость по азоту уменьшается на величину от 4,4 до 11,7%.

3. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать вывод, что циклическое знакопеременное воздействие на ПЗП с повышением и понижением эффективного давления вместе со снижением межфазного натяжения на границе раздела фаз увеличивает коэффициент подвижности флюида в пластовых условиях. Если говорить о высокообводненном фонде скважин, где в пласте присутствует значительное количество «защемленной» в порах остаточной нефтяной фазы, комплексирование гидроимпульсного и физико-химического воздействий позволит повысить степень извлечения этой «защемленной» фазы.

4. Результаты фильтрационных исследований по моделированию комплексной технологии воздействия на ПЗП добывающих и нагнетательных скважин, выполненные на образцах естественного керна, показали:

- способность данной технологии оказывать влияние на остаточную нефтенасыщенность обводненных пластов путем создания знакопеременного репрессионно-депрессионного воздействия и вовлечения в дренирование «защемленной» в порах коллектора неподвижной ранее нефтяной фазы;

- гидроимпульсное воздействие значительно изменяет гидропроводность образца, способствуя при этом перераспределению фильтрационных потоков в ПЗП добывающих и нагнетательных скважин, а также в продуктивном пласте в целом;

- предварительная обработка образца 0,5 %-ным водным раствором неионогенных ПАВ значительно увеличивает эффективность применения гидроимпульсного воздействия за счет гидрофилизации породы коллектора и снижения межфазного натяжения на границах «нефть-вода» и «нефть-порода».

5. Результаты опытно-промышленных испытаний разработанного и запатентованного способа гидроимпульсного воздействия на трещинно-поровые продуктивные пласты нефтяных

месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции подтвердили ее эффективность, обусловленную увеличением приемистости нагнетательных скважин.

6. Разработанная комплексная технология воздействия на ПЗП может быть рекомендована как метод оперативного, высокоэффективного регулирования режима работы скважины, поскольку для ее применения не требуется привлечения бригад ПКРС, большого количества спецтехники. Технология выгодно отличается минимальными трудозатратами, необходимыми для проведения ОПЗ, что особенно важно в условиях эксплуатации нефтяных месторождений на завершающих этапах разработки.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Петраков, Д. Г. Графоаналитические исследования эффективности гидроимпульсного воздействия на призабойную зону пласта / Д.Г. Петраков, К.С. Купавых, **А.С. Купавых** // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2018. – № 5. – С. 42-47.

2. Петраков, Д. Г. Экспериментальное исследование упруго-пластичных свойств пород нефтяного пласта с учетом насыщенности / Д.Г. Петраков, К.С. Купавых, **А.С. Купавых**. – DOI: 10.33285/0130-3872-2020-3(327)-33-38 // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2020. – № 3(327). – С. 33-38.

Публикация в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Web of Science:

3. Kupavykh, K. S. Analysis of implementation effectiveness of two working fluids characterized by different viscoelastic characteristics at hydrodynamic impact on the borehole bottom zone / K.S. Kupavykh, **A.S. Kupavykh**, V.A. Morenov. – DOI:10.21122/2227-1031-2019-18-2-164-170 // Science&Technique.–2019. – №18(2). – P.164-170.

Публикации в прочих изданиях:

4. Шипулин, А. В. Повышение энергоэффективности насосного агрегата при формировании трещин импульсного гидроразрыва / А.В. Шипулин, К.С. Купавых, **А.С. Купавых**. – DOI: 10.5862/JEST.254.5 // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2016. – № 4. – С. 39-44.

5. Шипулин, А. В. Опыт применения технологии избирательного баровоздействия / А.В. Шипулин, **А.С. Купавых** // Нефть.Газ.Новации. – 2016. – №12 (195). – С. 71-74.

6. Рогачев, М. К. Технология направленного гидроударного воздействия на призабойную зону пласта с регулируемой длительностью импульса : тезисы докладов II Международной научно-практической конференции «Бурение скважин в осложненных условиях», Санкт-Петербург, 30 октября-1 ноября 2017 г / М.К. Рогачев, Д.Г. Петраков, К.С. Купавых, **А.С. Купавых** // Санкт-Петербургский горный университет, 2017. – С. 51-52.

7. Петраков, Д. Г. Аналитические исследования эффективности гидроимпульсного воздействия на призабойную зону пласта при освоении и ремонте скважин : тезисы докладов III Международно-практической конференции «Бурение скважин в осложненных условиях», Санкт-Петербург, 8-9 ноября 2018 г. / Д.Г. Петраков, К.С. Купавых, **А.С. Купавых** // Санкт-Петербургский горный университет, 2018. – С. 104-106.

Патент и свидетельства программ для ЭВМ:

8. Патент №2630016 Российская Федерация, МПК E21B 43/26 (2006.01), E21B 28/00 (2006.01). Способ осуществления импульсного гидроразрыва : заявлен 04.05.2016 : опубликован 05.09.2017/ А.В. Шипулин, **А.С. Купавых**. – 6 с. : ил. – Текст : непосредственный.

9. Программа для ЭВМ №2019613855 Российская Федерация / Программа для определения влияния реологических свойств скважинных жидкостей на эффективность гидродинамического воздействия на пласт / разработчики: К.С. Купавых, **А.С. Купавых**, К.Т Ибадуллаев. – СПб, 25.03.2019. – 1 CD-ROM. – Электронная программа.

10. Программа для ЭВМ №2020613774 Российская Федерация / Программа для определения влияния прикладываемых импульсов давления на эффективность гидродинамического воздействия на пласт / разработчики: М.В Двойников, К.С. Купавых, **А.С. Купавых**. – СПб, 23.03.2020. – 1 CD-ROM. – Электронная программа.