

На правах рукописи



ОКРОМЕЛИДЗЕ ГЕННАДИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛУШЕНИЯ
НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВЯЗКОУПРУГИХ СОСТАВОВ**

Специальность 25.00.15 – «Технология бурения и освоения скважин»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Уфа - 2016

Работа выполнена на кафедре «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и в отделе технологии строительства скважин филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть».

Научный руководитель

кандидат технических наук, доцент
Трушкин Олег Борисович

Официальные оппоненты:

Овчинников Василий Павлович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный
университет» / научно - исследовательский
сектор, главный научный сотрудник

Мардашов Дмитрий Владимирович
кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный
университет» / кафедра
разработки и эксплуатации нефтяных и
газовых месторождений, доцент.

Ведущая организация

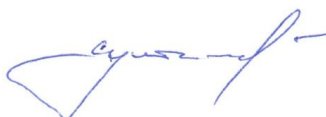
Институт "ТатНИПИнефть" ОАО "Татнефть"
им. В.Д. Шашина (г. Бугульма).

Защита состоится «15» сентября 2016 года в 16:00 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2016 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Султанов Шамиль Ханифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований

Продуктивность пластов в значительной мере зависит от степени загрязнения призабойной зоны технологическими жидкостями, применяемыми на различных этапах строительства и эксплуатации скважин. Максимальное снижение негативного влияния жидкостей глушения на коллекторские свойства является основной задачей при работе с продуктивным пластом.

Использование жидкостей глушения на водной и углеводородной основах в условиях высокопроницаемых коллекторов нарушают естественную проницаемость приствольной и удаленной зоны пластов. По данным анализа результатов глушения скважин в Пермском крае коэффициент продуктивности после проведения ремонтных работ существенно снижается. В некоторых случаях, после воздействия на пласт жидкостью глушения коэффициент продуктивности снижается до нуля.

Наиболее перспективными направлениями являются технологии глушения скважин с использованием сложных технических устройств типа пакер-отсекателей или с закачкой в интервалы продуктивных пластов вязкоупругих составов (ВУС). Данные способы исключают возможность проникновения жидкостей глушения в коллекторы, обеспечивая их естественную проницаемость. Но какими бы совершенными не были технические средства глушения скважин, они создают риски возникновения аварийных ситуаций. Поэтому, для снижения отрицательного воздействия жидкости глушения на проницаемость приствольной зоны пласта (ПЗП), перспективно применение технологии глушения скважин с использованием в качестве блокирующего материала ВУС.

Задача решается за счет подбора полимерных реагентов и состава дисперсионной среды, а также реагентов для придания упругих свойств системе. ВУС обладают высокими показателями структурно-механических свойств, ограничивающими проникновение жидкости глушения в ПЗП, тем самым максимально сохраняя ее проницаемость. Использование ВУС существенно снижает количество

жидкости глушения, сокращает время выхода скважин на рабочий режим после запуска глубинно-насосного оборудования.

Несмотря на высокую эффективность применяемой на территории Пермского края технологии глушения скважин с применением ВУС, существуют и недостатки, которые выражаются в неоднородности состава, преждевременном структурообразовании ВУС, возможности загрязнения продуктивных пластов остатками ВУС. Кроме того, при освоении после глушения скважины отмечается повышенный пусковой момент на электродвигателе ЭЦН, а на ряде скважин были отмечены отказы скважинного насосного оборудования по причине его загрязнения остатками ВУС, что было подтверждено данными спектрофотометрического анализа. В связи с этим разработка нового состава ВУС и технологии управления показателями структурно-механических свойств, обеспечивающей своевременное структурообразование ВУС и его диспергирование является актуальной.

Цель работы

Разработка вязкоупругого состава для временной изоляции продуктивного пласта (глушения скважин) с регулируемыми структурно-механическими характеристиками и временем его деструкции (диспергирования) по окончании выполнения комплекса ремонтных работ.

В диссертации решались следующие **задачи**:

1 Обзор и анализ исследований в области технологий глушения скважин с применением вязкоупругих составов.

2 Обоснование выбора методов исследования свойств вязкоупругих составов.

3 Теоретическое и экспериментальное обоснование выбора композиции реагентов для регулирования реологических свойств вязкоупругого состава.

4 Разработка технологии получения и управления свойствами вязкоупругого состава с проведением экспериментальной оценки влияния разработанного вязкоупругого состава и комплексного деструктора на проницаемость продуктивного пласта.

5 Промысловые испытания и оценка эффективности разработанной технологии глушения скважин с использованием вязкоупругого состава на месторождениях Пермского края.

Научная новизна

Разработана технология глушения нефтегазовых скважин с применением вязкоупругого состава на основе глицерина-2%, оксиэтилцеллюлозы-1%, медного купороса-0,4%, включающая этапы пассивной и активной фаз деструкции ВУС. Пассивная фаза, обеспечивает монодисперсность разрушения ВУС за счет применения на стадии его приготовления капсулированного пероксигидрата. Активная фаза деструкции вязкоупругого состава минимизирует время диспергирования ВУС закачкой лимонной кислоты или комплекса пероксигидрата и лимонной кислоты после завершения внутрискважинных работ.

Практическая ценность

1 Технология глушения скважин с применением нового вязкоупругого состава прошла промышленные испытания и принята к внедрению на месторождениях Пермского края.

2 Разработанная технология активно используется филиалом ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в городе Пермь при составлении проектно-сметной документации – групповых и индивидуальных рабочих проектов на строительство и реконструкцию скважин.

3 Разработан и утвержден в ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» «Временный технологический регламент по технологии глушения скважин с использованием вязкоупругого состава с регулируемыми сроками деструкции» (г. Пермь, 2015г.).

4 Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе по направлению «Нефтегазовое дело» при изучении дисциплин: «Закачивание скважин», «Капитальный ремонт скважин».

Методология и методы исследований

Методология исследований заключалась в изучении общетехнологических и специальных свойств вязкоупругого состава в условиях хлоркальциевой минерализации, характерной для месторождений Волго-Уральской нефтегазовой про-

винции, с применением современных приборов и устройств измерения показателей реологических и фильтрационных свойств сред. При решении поставленных задач использованы методы планирования эксперимента и статистической обработки результатов испытаний.

Положения, выносимые на защиту:

1 Технология глушения скважин и обоснование рецептур вязкоупругого состава с управляемыми механическими и реологическими свойствами.

2 Технология применения деструкторов и результаты экспериментальных исследований влияния их на реологические свойства ВУС.

3 Результаты экспериментальных исследований влияния разработанного вязкоупругого состава на восстановление проницаемости керна.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов работы обеспечивалась путем применения широко апробированных, а также оригинальных методов и методик экспериментальных исследований, осуществленных на оборудовании, прошедшем государственную поверку. Перед построением графических зависимостей все экспериментальные данные обрабатывались с использованием подходов теории ошибок эксперимента и математической статистики.

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на: XII-ой научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Применение температуростойких вязкоупругих составов на основе полисахаридов при глушении скважин в условиях Западной Сибири» (г. Тюмень, 2002 г.); научно-практической конференции ООО «ЛУКОЙЛ-Бурение-Пермь» «Основные направления в развитии технологий крепления скважин и результаты внедрения» (г.Пермь, 23-26 ноября 2004 г.); III-ой научно-технической конференции, посвященной 15-летию "КогалымНИПИнефть" «Проблемы нефтегазового комплекса Западной Сибири и пути повышения его эффективности» «Опыт проектирования и строительства многоствольных скважин» (г.Тюмень, 2011 г.); Российской нефтегазовой конференции SPE по разведке и добыче «Технология глушения скважин с использованием вязкоупругих составов с регулируемым сроком деструк-

ции» (г. Москва, 2014 г.). Результаты исследований и промышленного внедрения разработки также неоднократно докладывались на Ученом совете Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми, научно-техническом совете ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» (Пермь, 2013-2015 гг.).

Публикации

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 11 научных трудах, в том числе в 4 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, получено 5 патентов РФ на изобретения.

Объем и структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, включающего 119 наименований, содержит 212 страницы машинописного текста, 49 рисунков, 55 таблиц.

Автор выражает благодарность за помощь научному руководителю к.т.н., доценту Трушкину О.Б., д.т.н., профессору Конесеву Г.В., д.т.н., профессору Исмакову Р.А., к.х.н., доценту Тептеревой Г.А., к.т.н., доценту Трушкину Б.Н. и др. научным работникам УГНТУ, к.т.н., доценту Гаришиной О.В., к.т.н. Некрасовой И.Л., Чугаевой О.А. и др. специалистам отдела технологии строительства скважин Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи, научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе выполнен обзор научно-технической и патентной литературы, анализ геолого-технических условий и технологий глушения скважин в Пермском крае, физико-химических свойств применяемых рецептур жидкостей глушения, обоснован выбор типа вязкоупругих составов и способов их деструкции, направленных на сохранение коллекторских свойств продуктивных пластов.

Вопросам сохранения коллекторских свойств в процессе заканчивания скважин посвящены исследования многих ученых: В.А. Амияна, О.К. Ангелопу-

ло, А.И. Булатова, В.Д. Городнова, К.Ф. Жигача, С.Ю. Жуховицкого, Г.П. Зозули, Н.М. Касьянова, Э.Г. Кистера, Е.А. Коновалова, Ф.И. Котяхова, Ю.С. Кузнецова, Н.И. Крысина, М.И. Липкеса, М.Р. Мавлютова, А.М. Нацепинской, О.В. Гаршиной, В.П. Овчинникова, К.Ф. Пауса, В.М. Подгорнова, С.А. Рябоконея, А.У. Шарипова, К. Элвин, Dr. Zillur Rahim, Dr. Hamoud A. и других исследователей.

На основе выполненного анализа исследований показано, что приоритетным направлением является технология глушения скважин с использованием ВУС. От традиционно применяемых технологий значительным отличием являются существенно меньшие объемы материалов, используемых для проведения данного вида операций и снижение негативного влияния на коллектор. Согласно модели Максвелла, вязкоупругие составы обнаруживают при деформации промежуточное поведение между гуковскими (твердые тела) и ньютоновскими (вязкими жидкостями) телами.

Вязкоупругие составы, образующиеся в результате поликонденсации исходных продуктов, обладают промежуточными свойствами между растворами полимеров и резиноподобными телами. Благодаря сетке, образованной химическими связями, для них характерны конечные упругие деформации, обуславливающие целый комплекс вязкоупругих аномалий.

«Время жизни» вязкоупругих составов, применяемых для глушения скважин, непосредственно влияющее на надежность и качество проводимых работ, в десятки раз превышает «время жизни» гелей, традиционно используемых в технологиях гидроразрыва пласта (ГРП).

В работе определены требования, которые предъявляются не только к ВУС и их деструкторам, но также и к конечным продуктам, образующимся в результате деструкции ВУС в стволе скважины, порах и трещинах ПЗП. Согласно проведенному анализу в качестве реагентов, обладающих деструктурирующим действием в отношении ВУС, наиболее перспективными являются деструкторы окислительного, кислотного и комплексного типов.

Вторая глава посвящена обоснованию методологии исследования технологических свойств вязкоупругих составов на этапе их формирования и последующего применения.

С целью выбора и обоснования методологических подходов, учитывающих технологические особенности процесса глушения скважин, полный цикл процесса разделен на три этапа: а) глушение скважины, б) производство работ внутри заглушенной скважины, в) вызов притока (рисунок 1). Для каждого этапа проведено обоснование обще-технологических и специальных методов исследования в зависимости от требований, предъявляемых к составам для глушения на каждом этапе производственного процесса.

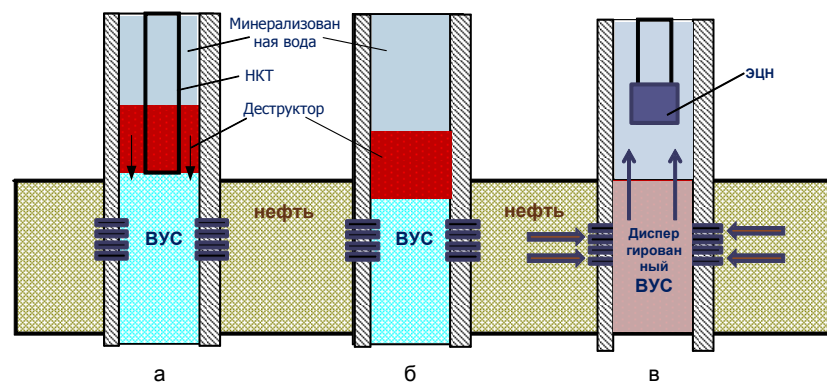


Рисунок 1 – Цикл процесса глушения скважин с использованием ВУС

Для изучения реологических свойств ВУС обосновано применение следующих основных приборов и устройств: для измерения реологических показателей – вискозиметр Брукфильда (Brookfield LVDV-II+Pro), для измерения структурно-механических показателей – широметрическая трубка (ISO 10414-1:2008 ®).

Для разработки состава с пониженной коррозионной активностью использовался метод определения скорости коррозии стали Ст3. (ГОСТ Р 9.905-2007).

Для оценки ингибирующих свойств ВУС определялась степень набухания глинистых пород в среде исследуемых составов с использованием тестера линейного набухания глинистых пород в динамических условиях фирмы OFITE.

Обоснована методика проведения фильтрационных исследований на природном керновом материале с применением установки AFS 300. Данная методика

позволяет, помимо обязательного расчета коэффициента восстановления проницаемости, учесть характеристики динамики фильтрации состава, определить глубину проникновения фильтрата состава и степень заполнения им порового пространства керновой модели, установить степень восстановления проницаемости модели после диспергирования составов под воздействием деструктурирующих составов. С целью обеспечения возможности исследования фильтрационных свойств «сшитых» составов проведена модернизация кернодержателя установки.

Разработана комплексная методика изучения процесса разрушения вязкоупругих составов под воздействием различных факторов. В основу методики положено определение следующих показателей: изменение рН и окислительно-восстановительного потенциала смеси «ВУС-деструктурирующий состав»; количества неразрушенного ВУС; динамической вязкости продукта диспергирования ВУС.

В третьей главе приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований, направленных на обоснование выбора компонентного состава ВУС с регулируемыми сроками деструкции (РСД), методы и способы его разрушения. Блокирование пластов ВУС с РСД является, на наш взгляд, наиболее перспективной технологией, позволяющей обеспечивать безопасное проведение внутрискважинных работ с одновременным сохранением коллекторских свойств продуктивных пластов после окончания работ.

Основной задачей исследования является разработка состава ВУС и технологии диспергирования в заданное время методом воздействия на ВУС деструкторами различной природы действия (окислители, кислоты, ферменты и их смеси).

В качестве базовой рецептуры ВУС выбран состав на основе реагента из класса полисахаридов – оксиэтилированной целлюлозы, комплексообразователя CuSO_4 , регулятора рН, неорганических солей для утяжеления состава.

Структурно-механические свойства ВУС обеспечиваются образованием поперечных связей – «мостиков» между макромолекулами полимера. В результате исследований нами выявлено, что конечные структурно-механические связи ВУС определяются следующими факторами:

- концентрацией полимерного реагента и, как следствие, вязкостью исходных растворов;
- концентрацией сшивающего агента, обеспечивающего образование достаточного количества мест «сшивки» полимера;
- созданием щелочной среды, удовлетворяющей благоприятным условиям прохождения реакции поликонденсации (рН не менее 13);

Реакция поликонденсации при изменении рН системы с кислой или нейтральной на щелочную проходит практически мгновенно, способствуя получению ВУС с высокими структурно-механическими свойствами. В результате реакции выделяется вода, что приводит к уменьшению объема ВУС вследствие сжатия макромолекул полимера. Появление на границе «ВУС-стенка скважины» прослойки воды нарушает адгезионный контакт состава с колонной и/или со стенкой скважины.

В связи с этим, возникает необходимость подбора реагентов–ингибиторов реакции поликонденсации, способствующих снижению скорости реакции и «удержанию» в системе избытка выделяющихся в процессе реакции молекул воды.

Перспективными, в указанном направлении, представляются реагенты, гидрофобизирующие поверхность частиц гидроксиэтилцеллюлозы, а также реагенты, способные образовывать с молекулами воды водородные связи, «удерживая» молекулы воды внутри состава. Данная группа реагентов была условно названа нами ингибиторами реакции поликонденсации («сшивки») ВУС. В качестве потенциальных ингибиторов базовой рецептуры ВУС были исследованы: смесь углеводов различных классов; смесь диоксановых спиртов; смесь триглицеридов жирных спиртов, эмульгаторов и присадок; этиленгликоль; диэтиленгликоль; глицерин.

Наибольшую эффективность в качестве реагента–ингибитора реакции поликонденсации при приготовлении ВУС, показали трехатомные спирты (глицерин) при концентрации 20 кг/м³. Реагенты данной группы обеспечивают возможность регулирования структурно-механических свойств ВУС на этапе «сшивки» и исключают водоотделение. К тому же, эти реагенты способствуют повышению

вязкости и, как следствие, позволяют снизить концентрацию полимера. По нашему мнению, данные эффекты обусловлены следующим. Глицерин (пропан-1,2,3-триол) – многоатомный спирт с тремя гидроксильными группами, который при взаимодействии с солями поливалентных металлов (в том числе с ионами Cu^{2+}) образует соединения хелатного типа, растворимые в воде. Элементарное звено цепи гидроксиэтилцеллюлозы, по своему строению, является остатком гликоля, т.е. также проявляет свойства, присущие многоатомным спиртам и способен образовывать хелатные комплексы с ионами поливалентных металлов за счет чего и происходит поперечная «сшивка» ВУС. Введение в композицию ВУС глицерина, приводит к изменению скорости «сшивки» ВУС. Полагаем, что глицерин, имея низкую молекулярную массу, за счет стереоэффектов, вступает в реакцию с ионами Cu^{2+} быстрее, чем схожие по строению привитые группы ГЭЦ. Экранируя ионы меди, глицерин позволяет комплексным ионам равномерно распределиться во всем объеме состава, однако не создает значительных препятствий к «сшивке» полимерных цепочек ГЭЦ между собой. Таким образом, достигается равномерная «сшивка» ВУС.

Лабораторными исследованиями установлено, что глицерин, в количестве 20кг/м^3 , снижает показатель водоотделения ВУС до нулевых значений. По нашему мнению, «освободившийся» от ионов меди глицерин, ввиду стерических затруднений, остается между сшитыми цепочками ГЭЦ и создает благоприятные условия для иммобилизации внутри ВУС молекул воды, тем самым улучшая его водоудерживающие свойства.

Результаты исследований показали, что свойства ВУС при показателе прочности на сдвиг 500 Па и выше удовлетворяют горно-геологическим условиям Пермского края. Концентрации компонентов ВУС при этом находятся в следующих пределах: глицерин $20\text{-}50\text{ кг/м}^3$; гидроксиэтилцеллюлоза $5,0\text{-}10,0\text{ кг/м}^3$; неорганическая соль переходных металлов (сульфат меди) $0,15\text{-}0,30\text{ кг/м}^3$; гидроксид щелочного металла (гидроксид натрия) $0,30\text{-}0,50\text{ кг/м}^3$; техническая вода и/или водные растворы солей неорганических металлов (хлориды калия, натрия, кальция и др.) – остальное.

Предложенный состав ВУС обладает рядом преимуществ перед ранее используемыми составами:

- отсутствием комкообразования при вводе полимера в минерализованный раствор;
- высокой водоудерживающей способностью получаемого ВУС и, как следствие, отсутствием водоотделения;
- замедлением процесса гелеобразования и, как следствие, более ровным образованием «сшитых» связей в структуре полимера.

Дальнейшие исследования посвящены доработке состава ВУС с точки зрения влияния различных деструктурирующих составов на его структурно-механические свойства, кинетику реакции, монодисперсность продуктов реакции и конечную вязкость диспергированного состава.

В процессе гидролиза реагентов-деструкторов окислительного типа происходит выделение различных форм «активного» кислорода, в том числе и кислорода гидроксильных групп, имеющего очень высокий окислительный потенциал (1600 mV). За счет этого, реагенты данной группы способны окислять молекулы органических соединений, в том числе макромолекулы гидроксиэтилцеллюлозы, составляющие основу ВУС.

В работе обоснован выбор деструкторов окислительного и кислотного типов, а также активаторов их действия. Энзимные деструкторы глубоко не исследовались ввиду недостаточной эффективности их действия в щелочной среде ($\text{pH ВУС} > 10$). Однако, выполненные нами исследования показали перспективность применения в качестве деструкторов ВУС ароматической и углеводной частей нейтрально–сульфитных щелоков, являющихся побочным продуктом целлюлозного производства.

На данный момент, по нашему мнению, наиболее перспективным является повышение кинетики диспергирования ВУС за счет использования в качестве деструкторов пероксигидрата и лимонной кислоты. При выборе химического деструктора дополнительно внимание уделялось стоимости и наличию производства в России. Методикой испытаний предусматривалось: измерение массы остатка не-

разрушенного ВУС, который в идеальном случае должен быть равен нулю и определение динамической вязкости диспергированного ВУС, значение которой не должно превышать показателя динамической вязкости пластовой нефти при скорости сдвига 100 с^{-1} .

Исследования показали, что для обеспечения высокой скорости диспергирования ВУС значение окислительно-восстановительного потенциала системы должно составлять не менее $+243 \text{ mV}$, значение рН – не выше 2,1. В качестве наиболее перспективных выделены следующие реагенты: персульфат калия; персульфат аммония; пероксигидрат мочевины.

В процессе диспергирования ВУС реагентами окислительного типа образующиеся в результате реакции продукты деструкции имеют достаточно низкую вязкость ($6,5 - 24,0 \text{ мПа}\cdot\text{с}$), что соответствует вязкости пластовой нефти. Это свидетельствует о том, что в результате окисления макромолекул полимера образуются продукты с короткой длиной цепи.

Другой группой реагентов, способных диспергировать ВУС, являются кислоты, действие их направлено на понижение рН среды и разрушение связей, образованных ионами переходных металлов. В рамках работы в качестве деструкторов кислотного типа были исследованы следующие минеральные и органические кислоты: соляная кислота; серная кислота; уксусная кислота; сульфаминовая кислота; щавелевая кислота; лимонная кислота.

В ходе исследования установлено, что в процессе диспергирования ВУС реагентами-деструкторами кислотного типа образующиеся в результате реакции продукты деструкции имеют достаточно высокую вязкость ($102-260 \text{ мПа}\cdot\text{с}$), что соответствует вязкости растворов полимерных реагентов. На основании исследований нами сделано предположение о том, что в результате действия на макромолекулы полимера кислот длина цепи макромолекулы полимера практически не изменяется, происходит только разрушение координационных связей «ион меди – гидроксильная группа гликозидных звеньев полимера». Органические кислоты лимонная и сульфаминовая, являются наиболее предпочтительными, так как дан-

ные кислоты относятся к группе нетоксичных, коммерчески доступных на отечественном рынке и имеющих низкую рыночную стоимость.

По результатам исследований деструкторов окислительного действия и кислот сделано предположение, что совместное использование различного типа химических разрушителей должно повысить скорость диспергирования системы вязкоупругого состава за счет их разнонаправленного действия. С целью оценки степени повышения диспергирующей активности реагентов-окислителей в присутствии кислотных реагентов проведены исследования по влиянию разрушителей комплексного действия (кислота + окислитель) на скорость разрушения ВУС.

Для обоснования компонентного состава деструктора в зависимости от требуемого «времени жизни» ВУС необходимы сведения по кинетике и динамике процесса разрушения «сшитых» систем под воздействием деструкторов различного типа. С этой целью были проведены лабораторные исследования по оценке процесса разрушения ВУС деструктурирующими составами с различной концентрацией действующих веществ. Исследования проведены на примере комплексного деструктурирующего состава на основе органического пероксигидрата и органической кислоты.

По результатам исследований наиболее активное действие в отношении деструкции ВУС в условиях невысоких пластовых температур показывают деструктурирующие составы комплексного действия, сочетающие в себе окислительный брейкер из класса персульфатов или органических пергидратов и кислотный деструктор из класса органических кислот.

Результаты изучения процесса разрушения ВУС во времени под воздействием деструктурирующих составов, выраженные в процентном отношении от исходного объема ВУС, приведены в таблице 1.

Скорость разрушения вязкоупругого состава находится в прямой зависимости от концентрации в деструктурирующем растворе действующих веществ: чем выше концентрация деструкторов, тем выше скорость реакции. Таким образом, скорость деструкции ВУС ограничивается максимальной растворимостью в минерализованной среде комплексного деструктора (для исследованной пары окис-

литель-кислота максимальная растворимость составляет 20%). Минимальное время разрушения ВУС при максимальной концентрации комплексного деструктора составляет 3 часа.

Таблица 1 - Степень разрушения ВУС в зависимости от концентрации деструкторов

Состав деструктурирующего Раствора	Остаток неразрушенного ВУС, %, через время воздействия деструктора, час								
	1	2	3	4	24	48	72	96	120
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,15% окислительный деструктор, 0,15% кислотный деструктор	100	100	96,5	95	89,5	79,7	69,9	56,9	48,4
0,25% окислительный деструктор, 0,25% кислотный деструктор	100	96,7	93,8	92,1	86,4	73	59,9	46,7	41,4
0,5% окислительный деструктор, 0,5% кислотный деструктор	98,4	95	91,7	90,0	80,2	64,5	49,0	36,4	31,7
1% окислительный деструктор, 1% кислотный деструктор	96,7	86,7	80,0	80,4	64,2	45,0	32,1	15,3	0
2% окислительный деструктор, 2% кислотный деструктор	90,0	85,1	81,7	78,4	53,4	35,6	17,8	0	0
4% окислительный деструктор, 4% кислотный деструктор	75,0	71,7	69,2	66,7	40,4	0	0	0	0
6% окислительный деструктор, 6% кислотный деструктор	71,7	40,0	30,2	25,4	0	0	0	0	0
8% окислительный деструктор, 8% кислотный деструктор	70,1	38,4	20,1	18,4	0	0	0	0	0
10% окислительный деструктор, 10% кислотный деструктор	50,1	20,3	0	0	0	0	0	0	0

Реакция разрушения полимерной системы, «сшитой» солями переходных металлов, комплексным деструктурирующим составом представляет собой окислительно-восстановительную реакцию, протекающую в условиях изменения pH системы. Исходный ВУС имеет щелочную реакцию среды (pH = 10,7), pH раствора деструкторов зависит от концентрации в растворе кислоты (в данной серии эксперимента pH исходных деструктурирующих составов варьировало от 0,61 до 1,42).

Для оценки влияния кислоты в системе окислительного деструктора были проведены дополнительные исследования по деструкции ВУС окислителем, кислотным реагентом и их комплексом с контролем динамики изменения pH и Eh системы (таблица 2).

Результаты лабораторных испытаний позволили обосновать использование окислительного деструктора на этапе приготовления ВУС на основе капсулированного пероксида водорода. Дополнительная обработка ВУС комплексным

деструктором (пероксигидрат мочевины + лимонная кислота) за счет синергетического эффекта обеспечила увеличение скорости разрушения и монодисперсность ВУС с низкой динамической вязкостью продукта реакции.

Таблица 2 – Параметры разрушения ВУС деструкторами различного состава

Состав деструктора	3 часа контакта		24 часа контакта		48 часов контакта	
	Остаток ВУС, %	pH/Eh, д.ед/mV	Остаток ВУС, %	pH/Eh, д.ед/mV	Остаток ВУС, %	pH/Eh, д.ед/mV
1	2	3	4	5	6	7
10% органический пероксигидрат	78,5	10,21/ - 203,3	54,0	10,55/ -221,0	28,9	10,44/ -226,4
10% органическая кислота	62,9	1,07/ +301,4	53,1	1,14/ +299,6	27,6	1,22/ +283,9
5% органический пероксигидрат + 5% органическая кислота	75,3	1,56/ +283,4	28,2	1,98/ +254,6	0	2,08/ +240,1
10% органический пероксигидрат + 10% органическая кислота	0	0,83/ +316,5	0	0,84/ +316,5	0	0,84/ +316,5

Представленные в таблице 2 результаты опытов, подтверждают синергетический эффект совместного воздействия деструкторов состава пероксидрата-лимонная кислота на скорость разрушения ВУС. В отсутствие кислоты, раствор органического пероксидрата проявляет восстановительные свойства (Eh системы имеет отрицательное значение). В таких условиях скорость разрушения ВУС носит замедленный характер. Введение в систему кислоты значительно повышает окислительные свойства пероксидрата ($Eh > +200$ mV), что положительно сказывается на повышении его эффективности в плане деструкции ВУС.

Для обоснования состава комплексного деструктора, содержащего окислитель и кислоту, был выполнен планированный эксперимент. Обработка результатов методом математической статистики позволила уточнить соотношение действующих веществ, оценить скорость разрушения ВУС, а также изменение в ходе реакции таких параметров как показатель pH и окислительно-восстановительный потенциал Eh. Планирование эксперимента осуществлено по плану 3^2 , то есть 2-х факторный эксперимент при 3-х уровнях варьирования. В качестве факторов выбраны суммарная концентрация комплексного деструктора и соотношение дест-

руктора кислотного и окислительного типов. Выходными параметрами являлись: остаток ВУС через 3 ч, %; водородный показатель рН и окислительный потенциал Eh, мV.

Обработка данных проведена с использованием программы Statistica 10.

Уравнение регрессии, описывающее остаток неразрушенного ВУС, имеет следующий вид:

$$Y = 68,458 + 1,739A - 0,2125 A * A - 4,4566B + 1,84917B * B, \quad (1)$$

где A – концентрация комплексного деструктора, масс. %;

B – соотношение деструктора кислотного типа к окислительному;

Y – остаток неразрушенного ВУС, % от исходного объема.

Коэффициент детерминации составляет $R^2_{adj} = 0,964$.

Предпочтительным соотношением кислота/окислитель является отношение 1:1.

Уточненные концентрации компонентов ВУС находятся в следующих пределах: глицерин 20-50 кг/м³; гидроксиэтилцеллюлоза 5,0-10,0 кг/м³; неорганическая соль переходных металлов (сульфат меди) 0,15-0,30 кг/м³; гидроксид щелочного металла (гидроксид натрия) 0,30-0,50 кг/м³; пероксигидрат 100 кг/м³; лимонная кислота 100 кг/м³; техническая вода и/или водные раствор нитрата кальция – остальное.

Необходимо отметить, что все деструкторы окислительного и кислотного типа вызывают коррозию металлов, разница состоит лишь в степени их коррозионной активности. Дополнительные исследования в области коррозионного воздействия показали, что коррозию вызывают растворенный кислород и кислая среда растворов. Следует отметить, что в минерализованных средах коррозия усиливается, при этом, как показывают результаты исследований, принципиальную роль играет тип минерализации. В среде хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов окислитель действует на металл особенно агрессивно с сильно выраженным проявлением питтинговой формы коррозии и осадкообразованием.

По результатам исследований также установлено, что выбранные деструктурирующие составы имеют наименьшую коррозионную активность. Глубинный

показатель скорости коррозии, определенный согласно РД 153-39-023-97 не превышает 0,12мм/год.

Проведенные исследования влияния продуктов реакции на набухание глинистых пород с помощью тестера линейного набухания в динамических условиях фирмы OFITE показали, что породы под воздействием диспергированного состава имеют значение линейного набухания до 2%, что сопоставимо с воздействием высокоингибированных буровых растворов.

Дополнительные тесты по адаптированной нами методике в соответствии со стандартом ISO 10414-1:2008 подтвердили, что при взаимодействии диспергированного ВУС и пластовой нефти не происходит образования эмульсий.

Впервые был проведен комплекс исследований по оценке влияния разработанного ВУС с РСД на фильтрационно-емкостные свойства продуктивного пласта бобриковских терригенных отложений Уньвинского месторождения. Исследования проведены на 3-х составных керновых моделях пласта с применением фильтрационной установки AFS-300 (США).

По результатам исследований установлено, что при последовательном воздействии на керновую модель ВУС и деструктурирующего состава коэффициент восстановления проницаемости составил – 0,837. Полученные результаты свидетельствуют об эффективной работе деструктурирующего состава в отношении диспергирования ВУС и сохранения коллекторских свойств продуктивных пластов.

В целом, по результатам выполненных исследований разработана технология глушения скважин с использованием ВУС с РСД при обосновании и выборе типа и концентрации реагентов в деструктурирующем составе в зависимости от необходимого времени стабильности ВУС (требуемое время «жизни» ВУС определяется расчетным временем от операции глушения до запуска глубинно-насосного оборудования).

В четвертой главе приведены результаты испытаний технологии глушения скважин с использованием ВУС с РСД (приготовление, закачка и разрушение ВУС в промысловых условиях).

Основными задачами при испытании технологии глушения скважин с применением ВУС с регулируемыми параметрами упругих и реологических свойств являлись:

- приготовление однородного по составу (гомогенного) ВУС с заданными свойствами;
- обеспечение надежного глушения скважины;
- создание условий к своевременному разрушению ВУС с целью снижения пусковых нагрузок глубинного насоса и предупреждения преждевременной его остановки.

Методика оценки результатов испытаний основана на следующих критериях:

- ✓ Эффективность глушения скважины (наличие/отсутствие избыточного давления, количество циклов глушения).
- ✓ Наличие/отсутствие проблем с запуском и работой скважинного насосного оборудования после окончания работ по глушению скважины, сравнительные данные по значениям токовых нагрузок при запуске ГНО при использовании ВУС с РСД и ВУС по базовой технологии.
- ✓ Степень снижения коэффициента продуктивности - в начальный период эксплуатации в скважине, в которой использовался ВУС с РСД, должна быть меньше, чем в скважинах, в которых проводилось глушение по базовой технологии ВУС.

Впервые в Пермском крае глушение скважины с использованием разработанного нами нового состава ВУС с РСД было проведено в 2015 году на вновь пробуренных скважинах месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

По результатам испытаний установлено, что разработанный способ глушения скважин с использованием ВУС является технологичным.

В процессе промысловых испытаний было обеспечено надежное глушение скважин, отсутствовали проблемы при приготовлении и закачке ВУС в скважину.

Время разрушения состава не превышало 2-3 часов, о чем свидетельствовал свободный запуск и работа глубинного насосного оборудования.

Пусковой ток на скважинах, где использовался ВУС с РСД не превышал номинального значения 26 А и в среднем на 27% ниже, чем на скважинах, где использовалась стандартная рецептура ВУС. Это свидетельствует о низкой вязкости диспергированного ВУС.

Согласно данным освоения скважин, прошедших глушение с использованием усовершенствованной технологии с применением ВУС с РСД установлено, что снижения продуктивности нет. Все скважины достигли плановых дебитов.

По результатам проведенных исследований и промысловых испытаний с участием автора разработан регламент на технологию глушения скважин с использованием ВУС на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

Экономический эффект от применения новой технологии составил 427603руб. в расчете на скважину.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1 Проведен обзор исследований в области технологий глушения скважин с применением вязкоупругих составов. Установлено, что существующие технологии необходимо совершенствовать в области регулирования структурно-механических свойств, степени однородности структуры ВУС, времени формирования ВУС с требуемыми показателями прочности, необходимости снижения водоотделения.

2 Проведено обоснование выбора методов исследования свойств вязкоупругих составов. Разработаны следующие методики исследований: оценка химического диспергирования ВУС во времени, степени восстановления проницаемости керна после воздействия ВУС с использованием фильтрационной установки AFS-300. Изменена конструкция кернодержателя установки AFS-300 и способ доставки ВУС к образцу кернового материала.

3 Установлено, что использование деструктора одного типа не дает необходимого результата и целесообразно использование комплексного деструктора на основе пероксигидрата и лимонной кислоты в соотношении 1:1.

Ввод капсулированного пероксигидрата на стадии приготовления ВУС обеспечивает монодисперсность диспергирования ВУС.

4 Усовершенствована технология получения и управления свойствами вязкоупругого состава, позволяющая регулировать время диспергирования с получением монодисперсного продукта реакции вязкостью до 2 сПз. Состав коррозионно малоактивен, не образует эмульсий с нефтью, способствует восстановлению проницаемости продуктивных пластов.

5 Проведены успешные промысловые испытания и оценка эффективности разработанной технологии глушения скважин с использованием вязкоупругого состава на месторождениях Пермского края. Улучшенная технология глушения позволяет снизить пусковые токи глубинного насосного оборудования в среднем на 27%. Разработанная технология глушения скважин с применением ВУС принята к промышленному внедрению на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». Экономический эффект от применения новой технологии составил 427603руб.в расчете на скважину.

Основные положения и результаты работы опубликованы следующих научных трудах:

в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, выпускаемых в РФ, в соответствии с требованиями ВАК Минобразования и науки РФ:

1 Окроелидзе Г.В. Разработка, опыт применения и перспективы повторного использования инвертно-эмульсионных буровых растворов / О.В. Гаршина, П.А. Хвоцин, Г.В. Окроелидзе [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2011. - №10. – с.56-59.

Окроелидзе Г.В. Технология утилизации отработанных инвертно-эмульсионных буровых растворов / И.Л. Некрасова, П.А. Хвоцин, О.В. Гаршина, Г.В. Окроелидзе // журнал «Территория НЕФТЕГАЗ". – 2013. - №6. – с.108-110.

2 Окроелидзе Г.В. Технология подготовки ствола скважины к освоению после вскрытия продуктивных пластов на инвертно-эмульсионных буровых растворах / И.Л. Некрасова, О.В. Гаршина, П.А. Хвоцин, Г.В. Окроелидзе [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2015. - №03. – с.59-63.

3 Окроелидзе, Г.В. Изучение процесса диспергирования вязкоупругих составов под влиянием реагентов деструкторов различной химической природы / Г.В. Окроелидзе, И.Л. Некрасова, О.В. Гаршина [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2016. - №02. – с. 32-40.

4 Тептерева, Г.А. Условия пробоподготовки сульфитных щелоков для обнаружения гемицеллюлоз методом тонкослойной хроматографии / Г.А. Тептерева, О.Ф. Булатова, В.Г. Конесев, Г.В. Окроелидзе [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2016. - №02. – с.47-55.

в других изданиях:

1 Пат. 2386665 РФ, С 09К 8/584, Е 21В 43/22. Термостойкий вязкоупругий состав для заканчивания и ремонта скважин / Феефлов Ю.В., Гаршина О.В., Шарова Н.В., Окроелидзе Г.В.; заявитель и патентообладатель ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» – №2008144854; заявл. 13.11.2008; опубл. 2010, БИ № 11.

2 Пат. 2494228 РФ, Е 21В 33/138 С09К 8/50. Способ приготовления состава для изоляции зон поглощений в скважине / Сухих Ю.М., Окроелидзе Г.В., Гаршина О.В., Хвоцин П.А.; заявитель и патентообладатель ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» – №2012109020; заявл. 11.03.2012; опубл. 2013, БИ № 27.

3 Пат. 2575384 РФ, С 09К 8/42, Е21В 43/22. Способ глушения скважин и вязкоупругий состав для его осуществления / Окроелидзе Г.В., Некрасова И.Л., Гаршина О.В. Хвоцин П.А и др.; заявитель и патентообладатель ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» – № 2014154574/03; заявл. 31.12.2014; опубл. 2016, БИ № 5.

4 Пат 2540742 РФ, Гидрофобный кислотно-мицелярный состав для глушения, освоения и вторичного вскрытия продуктивных пластов, пробуренных с использованием буровых растворов / Ильясов С.Е., Окроелидзе Г.В., Гаршина О.В., Хвоцин П.А. и др.; заявитель ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» – №2014100553; заявл. 09.01.2014.

5 Пат. 2563856 РФ, Способ бурения скважин, осложненных поглощающими горизонтами / Нацепинская А.М., Гребнева Ф.Н., Ильясов С.Е., Окроелидзе Г.В. и др.; заявитель ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» – №2014105452; заявл. 13.02.2014.

6 Окроелидзе Г.В. Технология глушения скважин с использованием вязкоупругих составов с регулируемыми сроками деструкции / Ильясов С.Е., Гаршина О.В., Некрасова И.Л. // Статья SPE 171302 опубликована в международной библиотеке OnePetro на русском и английском языках – 11с.