

0-802782

На правах рукописи



ГАНЕЕВА ЗИЛЬФИРА МУНАВАРОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СИЛИКАТНЫХ
МИКРОГЕЛЕВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ
НЕФТЕИЗВЛЕЧЕНИЯ**

Специальность 25.00.17 – Разработка и эксплуатация
нефтяных и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бугульма – 2013

Работа выполнена в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти (ТатНИПИнефть) ОАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина

Научный руководитель: доктор технических наук
Мусабилов Мунавир Хадеевич

Официальные оппоненты: **Крупин Станислав Васильевич**
доктор технических наук, профессор,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет, профессор
кафедры физической и коллоидной химии

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КФУ



827790

Чепик Сергей Константинович
кандидат технических наук,
ООО «ИНТЕРЮНИС», начальник
направления стимуляции
эксплуатационных объектов

Ведущая организация: Открытое акционерное общество
**«Научно-исследовательский институт
нефтепромысловой химии»** (г. Казань)

Защита диссертации состоится 28.11.2013 г. в 15 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 222.018.01 в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти по адресу: 423236, Республика Татарстан, г.Бугульма, ул. М. Джалиля, 32.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института «ТатНИПИнефть» ОАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина.

Автореферат разослан: 10 октября 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

И.В. Львова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Потокоотклоняющие технологии наряду с гидродинамическими методами повышения эффективности нефтеизвлечения при разработке неоднородных по проницаемости продуктивных пластов вносят существенный вклад в решение задач по стабилизации и увеличению добычи нефти. Выравнивание фронта вытеснения нефти закачиваемой водой путем блокирования химическими реагентами или продуктами их реакции высокопроницаемых прослоев продуктивного пласта является одним из основных факторов, способствующих равномерной выработке запасов нефти.

Технологии увеличения нефтеизвлечения, основанные на использовании силикатных гелей, нашли широкое промышленное применение в нефтяной практике благодаря совокупности несомненных достоинств, таких как доступность на рынке химических реагентов исходных компонентов, их цена и экологическая чистота, а также стабильность силикатного геля в широких термобарических условиях.

Существенным недостатком этих технологий является отсутствие возможности контроля и регулирования процесса образования в пластовых условиях или на забое скважины силикатного геля при смешении водных растворов силиката натрия и соляной кислоты. Во-первых, это приводит к ухудшению блокирующих свойств оторочки силикатного геля и, во-вторых, радиальная зона блокирования может быть недостаточной для перераспределения фильтрационных потоков в продуктивном пласте.

В связи с вышеизложенным актуальным направлением для повышения эффективности разработки нефтяных месторождений является создание и применение технологий с использованием силикатного геля, регулируемые процессы получения и диспергирования которого, а также последующее смешение частиц силикатного геля с водой осуществляются в наземных условиях. Изменение содержания частиц силикатного геля и варьирование их размеров в закачиваемой дисперсной системе позволяет расширить область применения мето-

дов увеличения нефтеизвлечения, основанных на закачке силикатных гелей за счет более эффективного перераспределения фильтрационных потоков как по толщине, так и по простиранию продуктивного пласта.

Цель работы

Повышение нефтеизвлечения из неоднородных по проницаемости заводненных продуктивных пластов с применением силикатных микрогелевых систем и композиций на их основе.

Основные задачи исследований

1. Анализ существующих потокоотклоняющих технологий и обобщение результатов их применения.
2. Исследование физико-химических, реологических и фильтрационных свойств силикатных микрогелевых систем.
3. Обоснование применимости силикатных микрогелевых систем для увеличения нефтеизвлечения из заводненных продуктивных пластов.
4. Определение области эффективного применения силикатных микрогелевых систем.
5. Разработка технологий на основе силикатных микрогелевых систем для повышения нефтеизвлечения.

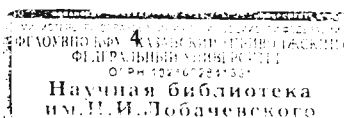
Методы решения поставленных задач

Решение поставленных задач основано на анализе материалов разработки и обобщении результатов промышленного применения технологий увеличения нефтеизвлечения, на статистической обработке экспериментальных данных и их анализе, а также на проведении промышленных испытаний технологических процессов с целью отработки оптимальных параметров их реализации.

Научная новизна

1. Установлены закономерности изменения вязкости силикатной микрогелевой системы в зависимости от содержания частиц силикатного геля и скорости сдвига:

- выявлено, что коэффициент динамической вязкости силикатной микрогелевой системы экспоненциально зависит от массовой концентрации частиц



силикатного геля – в диапазоне массовой концентрации от 5 до 25 % коэффициент динамической вязкости увеличивается от 2 до 10,2 мПа·с;

- выявлено, что эффективная вязкость силикатной микрогелевой системы зависит от скорости сдвига по убывающей степенной функции – с увеличением скорости сдвига от 16,6 до 129 с⁻¹ эффективная вязкость силикатных микрогелевых систем снижается не менее чем в шесть раз.

2. Установлено, что силикатная микрогелевая система с частицами силикатного геля размером от 2 до 27 мкм кратно снижает коэффициент проницаемости насыпных моделей пласта по воде.

3. Показано, что увеличение объёма закачки силикатной микрогелевой системы от 10 до 30 % от объёма пор насыпных моделей пласта приводит к линейной зависимости роста остаточного фактора сопротивлений, при этом темп прироста величины остаточного фактора сопротивлений в среднем в 1,4 раза меньше темпа увеличения объёма закачки силикатной микрогелевой системы.

Основные защищаемые положения

1. Использование силикатных микрогелевых систем для увеличения нефтеизвлечения путём повышения охвата пласта вытеснением.

2. Результаты экспериментальных исследований по получению силикатных микрогелевых систем со свойствами, оптимальными как при закачке их в скважину, так и для перераспределения фильтрационных потоков в продуктивном пласте.

3. Технологические процессы увеличения нефтеизвлечения на основе силикатных микрогелевых систем и результаты их внедрения на нефтяных месторождениях ОАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина.

Практическая значимость работы

1. Выявлены диапазоны оптимальных массовых концентраций силиката натрия и соляной кислоты в водных растворах, равные, соответственно, 17,8 - 35,4 % и 1,8-4,5 %, при смешении которых в объёмном соотношении 1:1 в течение двух минут образуется силикатный гель с максимальной сдвиговой прочностью, составляющей 780-790 Па.

2. Определены минимальная массовая концентрация силиката натрия в водном растворе, равная 6,1 %, и коэффициент пропорциональности, равный 6,5, связывающие линейной зависимостью массовые концентрации соляной кислоты и силиката натрия в водных растворах, для быстрого образования силикатного геля со свойствами, обеспечивающими получение частиц силикатного геля оптимальных размеров.

3. Разработаны технические решения по приготовлению и закачке в пласт силикатных микрогелевых систем.

4. Разработаны и внедрены в практику разработки нефтяных месторождений ОАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина две технологии увеличения нефтеизвлечения с использованием силикатных микрогелевых систем.

Внедрение технологий регламентируется РД 153-39.0-503-07 «Инструкция по технологии повышения выработки продуктивных пластов на поздней стадии разработки нефтяных месторождений с применением вязко-упругой коллоидной суспензии на основе жидкого стекла (технология ВУКСЖС)» и РД 153-39.0-738-11 «Инструкция по технологии повышения выработки нефтяных пластов с применением композиций на основе силикатного геля (технология ССГ)».

5. Технологии и технические средства для их промысловой реализации защищены патентами Российской Федерации на изобретение № 2321733 «Способ регулирования профиля приемистости нагнетательных скважин» и № 2483202 «Способ разработки нефтяного пласта», патентами Российской Федерации на полезные модели № 48202 «Установка для приготовления, дозирования и закачивания технологических растворов в скважину» и № 55027 «Струйный аппарат».

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались на:

- Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в геологии и разработке углеводородов» (г. Казань, 2009);

- Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию ОАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, «Инновации и технологии в разведке, добыче и переработке нефти и газа» (г. Казань, 2010);

- совещании специалистов ОАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина по вопросу «Проблемы и перспективы развития системы заводнения» (г. Альметьевск, 2010);

- VI Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 20-летию ЗАО «Химеко-ГАНГ» (г. Москва, 2011);

- Международной практической конференции, посвященной 75-летию с начала целенаправленных работ на нефть и газ в Республике Татарстан и 70-летию с начала промышленной разработки нефтяных месторождений Республики Татарстан, «Проблемы повышения эффективности разработки нефтяных месторождений на поздней стадии» (г. Казань, 2013).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе два патента РФ на изобретения и два патента РФ на полезные модели, 10 статей, две из которых опубликованы в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, содержащего основные результаты и выводы, и приложения. Работа изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 20 таблиц, 39 рисунков, список использованной литературы из 148 наименований, три приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность проблемы, цель работы, определены основные задачи исследований, научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрены наиболее распространенные способы решения задачи регулирования внутрислоистовых фильтрационных потоков и увеличения охвата пласта вытеснением.

Значительный вклад в развитие данного направления внесли: Л.К. Алтунина, А.Ш. Газизов, И.Ф. Глумов., А.Т. Горбунов, Р.Р. Ибатуллин, В.Я. Кабо, Р.Р. Кадыров, С.В. Крупин, Н.Н. Кубарева, Л.Е. Ленченкова, Е.В. Лозин, Р.Х. Муслимов, Ю.А. Поддубный, Г.Н. Позднышев, И.А. Сидоров, О.Б. Собанова, А.В. Старковский, М.Л. Сургучев, А.Г. Телин, В.Н. Хлебников, Р.С. Хисамов, Н.И. Хисамутдинов, И.А. Швецов, F. Edvard, T. Dralen, B. Burton, W. Leroу и многие другие.

Показано, что наиболее распространенными методами, обеспечивающими перераспределение фильтрационных потоков в продуктивном пласте, остаются технологии с использованием сшитых полимерных систем, способных образовывать в порах гель, а также полимердисперсных и осадкообразующих составов.

Однако все эти композиции содержат дорогостоящие составляющие, такие как полимерные или сшивающие агенты. Кроме того, некоторые реагенты имеют ограниченную область использования, а также вследствие токсичности могут ухудшить экологическую обстановку в районе применения.

В этих условиях методы увеличения нефтеизвлечения должны развиваться в направлении применения малозатратных и экологически чистых технологий, одними из которых являются технологии на основе силикатных гелей.

Среди них наиболее известны технологии, основанные на получении геля кремниевой кислоты при закачке растворов силиката натрия и реагента с низким значением водородного показателя (рН). Отличительным преимуществом таких технологий является использование недорогих и доступных реагентов, однако их существенным недостатком является невозможность управления процессом гелеобразования в пластовых условиях. Ввиду того, что в пористой среде сильно затруднено перемешивание растворов и невозможно обеспечить диапазон рН, оптимальный для получения силикатного геля, закачиваемые растворы силиката натрия и соляной кислоты не могут взаимодействовать полностью. В этом случае гелеобразование происходит в узком промежутке контакт-

ных зон реагирующих оторочек, а непрореагировавшие растворы могут представлять коррозионную опасность.

Преимущества применения силикатных гелей привели к необходимости совершенствования существующих технологий путем устранения указанных недостатков, что послужило основанием для постановки задач данной работы.

Во второй главе представлены результаты экспериментальных исследований физико-химических и реологических свойств силикатного геля и силикатных микрогелевых систем (далее по тексту – СМГС), совокупность которых легла в основу обоснования и разработки технологий, направленных на перераспределение фильтрационных потоков в неоднородных продуктивных пластах.

Силикатный гель представляет собой структурированную конденсационную систему, образующуюся в результате смешения водных растворов силиката натрия и соляной кислоты. Свойства силикатного геля определяются концентрациями и соотношениями основных компонентов и, как следствие, рН смеси, при этом скорость гелеобразования зависит от температуры окружающей среды.

Исследования условий получения и свойств силикатного геля проводились с целью определения минимального периода времени образования силикатного геля (далее по тексту – быстрое гелеобразование), оптимального для получения и закачки СМГС в скважину.

Под быстрым гелеобразованием силикатного геля подразумевается период времени в пределах двух минут, в течение которых за счет применения современных технических средств обеспечивается образование массы силикатного геля из водных растворов силиката натрия и соляной кислоты на устье скважины. Последующее диспергирование образовавшегося силикатного геля и смешение частиц силикатного геля с водой приводит к получению СМГС в едином непрерывном технологическом процессе в промысловых условиях.

По результатам лабораторных исследований установлено, что рН смеси водных растворов силиката натрия и соляной кислоты для быстрого гелеобразования находится в диапазоне от 6,5 до 9,0 ед. (рис. 1).

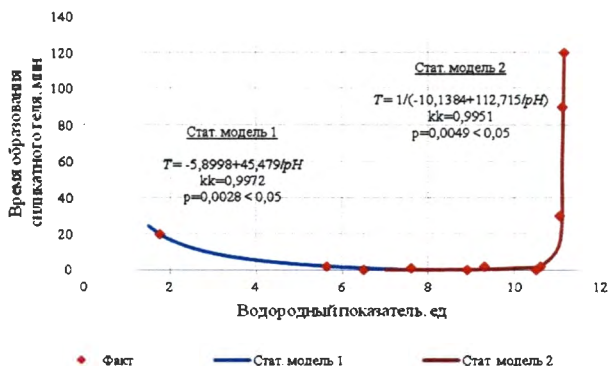


Рисунок 1 – Зависимость времени образования силикатного геля от pH среды

Изучено влияние плотности водного раствора силиката натрия и объёмного соотношения водных растворов силиката натрия и соляной кислоты на прочностные свойства силикатных гелей (рис. 2).

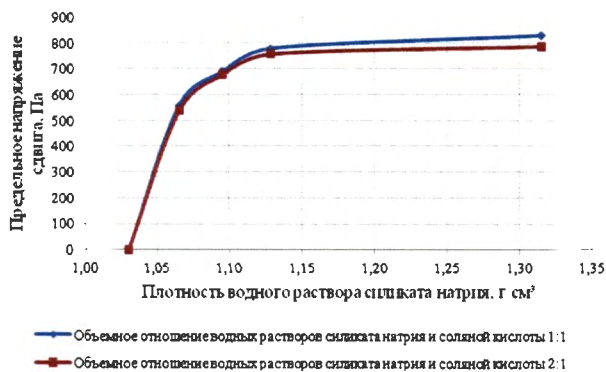


Рисунок 2 – Зависимость сдвиговой прочности силикатного геля от плотности водного раствора силиката натрия (скорость сдвига $0,167 \text{ с}^{-1}$)

Определено, что диапазон плотности растворов силиката натрия, обеспечивающий получение геля с оптимальными прочностными свойствами, находится в пределах от 1100 до 1130 кг/м^3 , и объёмное соотношение водных рас-

творов силиката натрия и соляной кислоты составляет 1:1. Установлено, что при плотности водного раствора силиката натрия, превышающей 1130 кг/м³, прочность геля стабилизируется. Объемное соотношение водных растворов силиката натрия и соляной кислоты в указанном диапазоне существенно не влияет на увеличение прочности силикатного геля, сдвиговая прочность силикатных гелей составляет 780-790 Па.

Значительное влияние на время быстрого образования силикатного геля оказывает температура окружающей среды – с ее понижением значительно увеличивается период времени гелеобразования. Определено, что приготовление силикатного геля необходимо проводить при температуре окружающей среды не ниже плюс 8 °С, при этом период времени гелеобразования составляет до 30 сек (рис. 3).

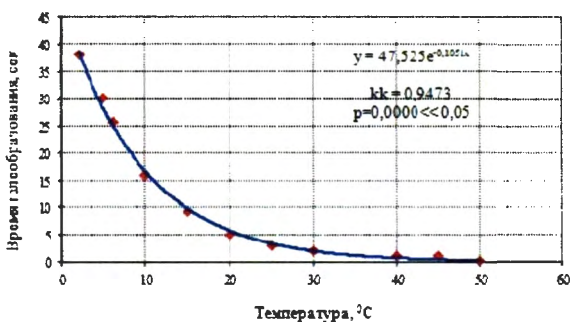


Рисунок 3 – Зависимость времени образования силикатного геля от температуры окружающей среды

На основе статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии линейного вида, статистически значимо связывающее концентрации соляной кислоты и силиката натрия в водных растворах для быстрого образования геля:

$$C_{\text{Na}_2\text{SiO}_3} = 6,1048 + 6,5031 \times C_{\text{HCl}},$$

где $C_{\text{Na}_2\text{SiO}_3}$ и C_{HCl} – соответственно концентрации силиката натрия и соляной кислоты в водных растворах.

СМГС должны обладать хорошей проникающей способностью в пористую среду, высокой устойчивостью в воде различной минерализации, причем для максимального глубокого проникновения в продуктивный пласт должны иметь минимальные размеры частиц силикатного геля.

Исследованиями на приборе «Multisizer MS» установлены размеры частиц силикатного геля, устойчиво находящегося во взвешенном состоянии в воде различной минерализации (рис. 4). В воде плотностью от 1000 до 1180 кг/м³ стабильную систему формируют частицы силикатного геля размером от 2 до 27 мкм.

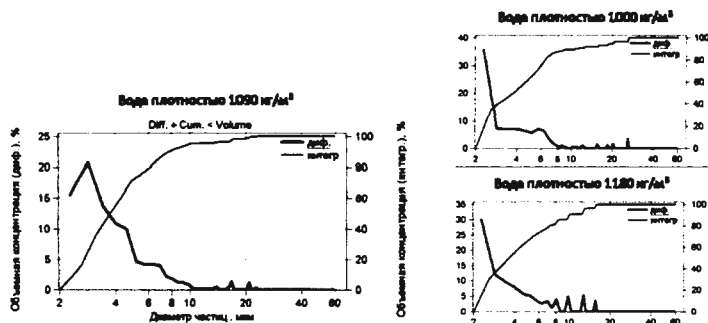


Рисунок 4 – Распределение размеров частиц силикатного геля в системе (дисперсионная среда – вода плотностью 1000 кг/м³, 1090 кг/м³ и 1180 кг/м³)

Изучены реологические свойства СМГС и получена зависимость коэффициента динамической вязкости СМГС от концентрации частиц силикатного геля (рис. 5).

Определены массовые концентрации частиц силикатного геля в системе, лежащие в пределах от 5 до 25 %, оптимально соответствующие всем требованиям промышленной реализации закачки СМГС в скважину.

Установлено, что СМГС обладают псевдопластичным характером течения, т.е. с увеличением скорости сдвига происходит резкое снижение эффективной вязкости систем (рис. 6).

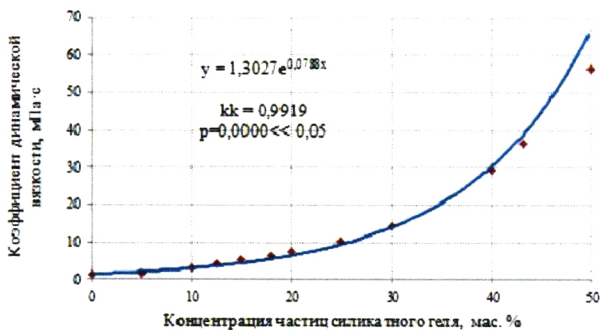


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента динамической вязкости силикатной микрогелевой системы от концентрации частиц силикатного геля

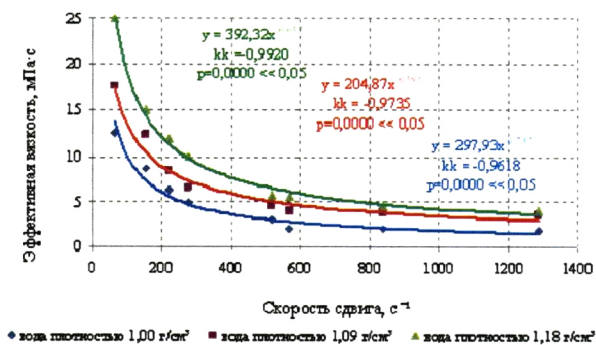


Рисунок 6 – Зависимость эффективной вязкости силикатной микрогелевой системы от скорости сдвига (массовая концентрация частиц силикатного геля – 10 %)

В результате проведенных лабораторных исследований сформулированы требования к процессу получения силикатного геля и СМГС с оптимальными физико-химическими и реологическими характеристиками, обеспечивающими высокую эффективность технологий на их основе (табл. 1).

Для расширения областей применения СМГС проведены лабораторные исследования по определению влияния поверхностно-активных веществ (ПАВ) и полимеров на эффективность их совместного использования с СМГС в двух технологических направлениях: для приготовления СМГС и путём использования в виде последовательных оторочек. При исследованиях использовались

«Неонол» АФ9-12, «Atren SA» и «Биксол», а также полимер – ПАА марки «DP 9-8177».

Таблица 1 – Требования к процессу получения силикатного геля и силикатных микрогелевых систем

Наименование показателя	Значение
Силикатный гель	
Плотность воды, кг/м ³	1000
Массовая концентрация силиката натрия в водном растворе, %	17,8–35,4
Массовая концентрация соляной кислоты в водном растворе, %	1,8–4,5
Объёмное соотношение водных растворов силиката натрия и соляной кислоты	1:1
Водородный показатель смеси (pH), ед.	6,5–9,0
Сдвиговая прочность, Па, при скорости сдвига 0,167 с ⁻¹	780–790
Время гелеобразования, сек	30
Силикатная микрогелевая система	
Плотность воды, кг/м ³	1000–1180
Размер частиц силикатного геля, мкм	2,0–27,0
Массовая концентрация частиц силикатного геля, %	5,0–25,0
Эффективная вязкость, мПа·сек, при скорости сдвига 129 с ⁻¹	2,0–10,2

В третьей главе представлены результаты физического моделирования влияния размещенной в пористой среде СМГС на изменение фильтрационных характеристик насыпных моделей пласта.

В ходе экспериментов использовались как однослойные, так и двухслойные насыпные модели пласта различной проницаемости, а СМГС готовились только из силикатного геля, полученного в результате смешения в объёмном соотношении 1:1 водных растворов силиката натрия и соляной кислоты с массовыми концентрациями 25 и 2,9 % соответственно.

Показано, что при сопоставимых по проницаемости условиях увеличение объёма закачки СМГС не приводит к пропорциональному росту остаточного фактора сопротивлений (ОФС) насыпных моделей: темп прироста величины ОФС в среднем в 1,4 раза меньше темпа увеличения объёма закачки СМГС (рис. 7).



Рисунок 7 – Динамика изменения величины остаточного фактора сопротивлений в зависимости от объема силикатной микрогелевой системы

Установлено, что при одном и том же объёме закачки СМГС рост величины ОФС практически прямо пропорционален увеличению массовой концентрации частиц силикатного геля в системе: при увеличении массовой концентрации частиц силикатного геля в системе от 5 до 25 % ОФС увеличивается в 4,3 раза (рис. 8).

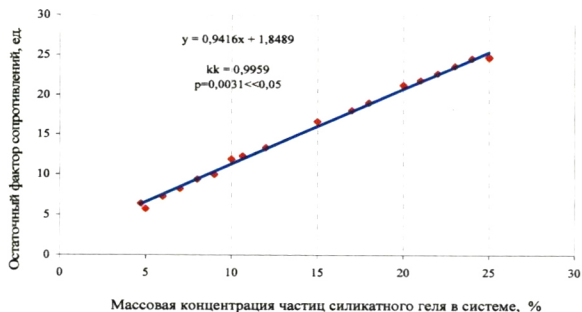


Рисунок 8 – Динамика изменения величины остаточного фактора сопротивлений в зависимости от концентрации частиц силикатного геля (объем СМГС – 30 % порового объема)

Получена статистически значимая экспоненциальная зависимость коэффициента проницаемости по воде после закачки СМГС от коэффициента про-

нищаемости по воде до закачки СМГС (рис. 9), которая свидетельствует о том, что с увеличением проницаемости моделей пласта эффект от закачки СМГС существенно снижается.

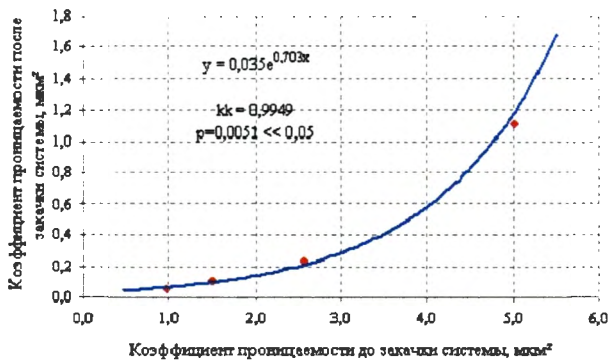


Рисунок 9 – Изменение проницаемости модели по воде после закачки силикатной микрогелевой системы (объем СМГС – 30 % порового объема)

Результаты экспериментов по фильтрации воды в двухслойных моделях пласта до и после закачки СМГС представлены в табл. 2. В качестве дисперсионной среды для приготовления СМГС использовались пресная и минерализованные воды плотностью 1090 и 1180 кг/м³. Массовая концентрация частиц силикатного геля в СМГС составляла 5 и 10 %.

Таблица 2 – Основные результаты экспериментов по фильтрации воды на двухслойных моделях пласта до и после закачки силикатных микрогелевых систем

Параметры	Массовая концентрация частиц силикатного геля, %					
	5,0			10,0		
	Плотность воды, кг/м ³					
	1000	1090	1180	1000	1090	1180
Распределение объема закачки воды до воздействия, %:						
- высокопроницаемая модель	83,8	81,3	74,7	80,8	87,3	86,3
- низкопроницаемая модель	16,2	18,7	25,3	19,2	12,7	13,7
Распределение объема закачки воды после воздействия, %:						
- высокопроницаемая модель	64,4	78,7	63,9	57,7	51,4	63,5
- низкопроницаемая модель	35,6	21,3	36,1	42,3	48,6	36,5

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что в условиях неоднородности пласта действие СМГС может привести к перераспределению фильтрационных потоков и частичному выравниванию профиля приемистости в слоисто-неоднородных пластах.

Результаты экспериментальных исследований физико-химических, реологических свойств и фильтрационных характеристик СМГС позволили обосновать возможность их применения в технологиях для увеличения нефтеизвлечения из неоднородных пластов.

В четвертой главе представлена техническая сущность технологий, заключающихся в получении на устье скважины силикатного геля, его диспергировании и смешении частиц силикатного геля с водой непосредственно перед закачкой в скважину с использованием мобильной установки УПСГ-1. Для промышленной реализации технологий обоснована и разработана технологическая схема закачки СМГС в скважину.

Проведен анализ и обобщены результаты промысловых испытаний, а также промышленного внедрения на месторождениях ОАО «Татнефть» им. В. Д. Шашина двух технологий увеличения нефтеизвлечения, основанных на применении СМГС, а именно:

- технологии повышения выработки продуктивных пластов на поздней стадии разработки нефтяных месторождений с применением вязко-упругой коллоидной суспензии на основе жидкого стекла (технология ВУКСЖС);
- технологии повышения выработки нефтяных пластов с применением композиций на основе силикатного геля (технология ССГ).

Приведены результаты технологической эффективности применения этих технологий. Всего по состоянию на 01.01.2013 объём внедрения технологий с применением установки УПСГ-1 составил 195 геолого-технических мероприятий, в том числе 170 мероприятий с применением технологии ВУКСЖС (период внедрения – 2007-2012 г.) и 25 мероприятий технологии ССГ (начало внедрения – 2012 г.).

Основные технико-экономические показатели промышленной реализации технологий ВУКСЖС и ССГ приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Технико-экономические показатели промышленной реализации технологий ВУКСЖС и ССГ

Наименование показателя	Технология	
	ВУКСЖС	ССГ
Период внедрения, годы	2007-2012	2012
Объем внедрения, ед.	170	25
Удельная дополнительная добыча нефти, т/скв.-операцию, не менее	3000	1800
Суточный прирост дебита нефти в среднем по участку, т/сут	5,3	5,9
Продолжительность эффекта, мес, не менее	24	15**
Затраты на промышленную реализацию, тыс. руб.	500,0	467,0
Экономический эффект на одно мероприятие, млн. руб.	7,2	5,6
Примечание - По технологии ССГ средняя продолжительность эффекта окончательно не определена из-за небольшого периода внедрения.		

Распределение объемов внедрения технологий ВУКСЖС и ССГ и их технологического эффекта по горизонтам представлены на рис. 10 и 11.

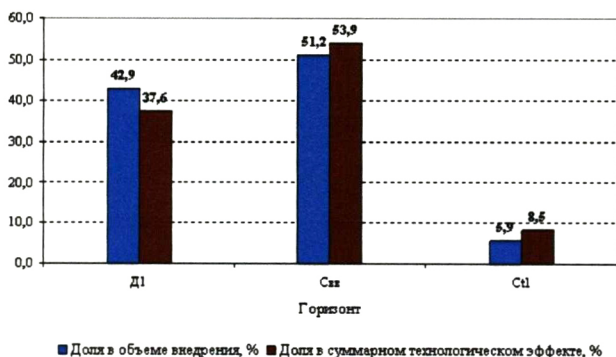


Рисунок 10 – Распределение объема внедрения технологии ВУКСЖС и технологического эффекта по горизонтам, %

Приведен пример промышленной реализации технологии ВУКСЖС на участке, расположенном на Азнакаевской площади Ромашкинского месторождения, представленном нагнетательной скважиной № 3019 и шестью добывающими скважинами. На рис. 12 приведена динамика текущих показателей разра-

ботки участка до и после реализации технологии ВУКСЖС. Параметры и результаты обработки по технологии ВУКСЖС обобщены в табл. 4.

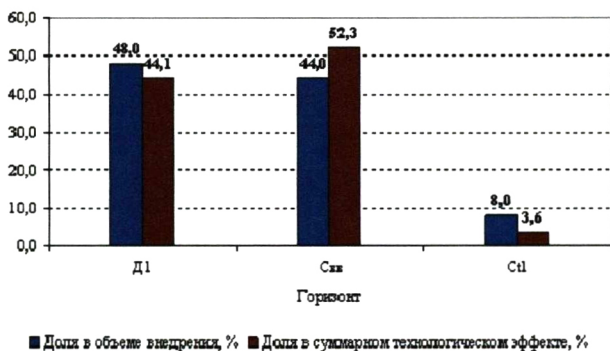


Рисунок 11 – Распределение объема внедрения технологии ССГ и технологического эффекта по горизонтам, %

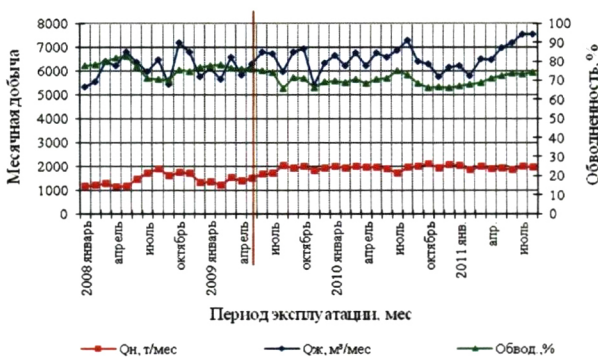


Рисунок 12 – Динамика показателей разработки участка нагнетательной скважины № 3019 до и после реализации технологии ВУКСЖС

Таблица 4 – Параметры и результаты обработки по технологии ВУКСЖС

Наименование показателя	Значение
Объём закачки, м ³	400
Массовая концентрация частиц силикатного геля в системе, %	5,0
Прирост суточного дебита нефти в среднем по участку, т/сут	2,7
Снижение обводненности добываемой продукции в среднем по участку, %	6,7
Дополнительная добыча нефти, т (на 01.01.2013)	6312
Продолжительность технологического эффекта, мес	27

Приведен пример промышленной реализации технологии ССГ на участке, расположенном на Ново-Елховском месторождении, представленном нагнетательной скважиной № 2697 и четырьмя добывающими скважинами. На рис. 13 приведена динамика текущих показателей разработки участка до и после реализации технологии ССГ. Параметры и результаты обработки по технологии ССГ обобщены в табл. 5.

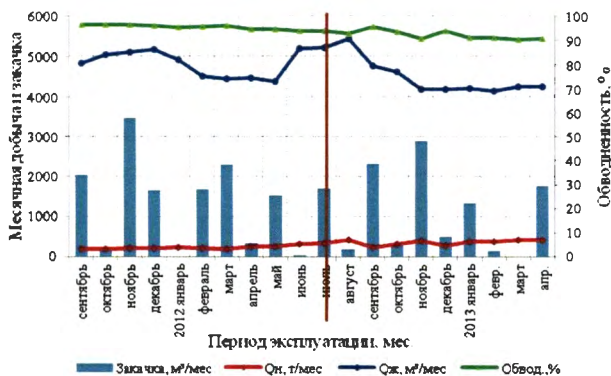


Рисунок 13 – Динамика показателей разработки участка нагнетательной скважины № 2697 до и после реализации технологии ССГ

Таблица 5 – Параметры и результаты обработки по технологии ССГ

Наименование показателя	Значение
Объем закачки, м ³	180 (120 м ³ ССГ и 60 м ³ ПАВ)
Массовая концентрация частиц силикатного геля в системе, %	10
Прирост суточного дебита нефти в среднем по участку, т/сут	1,7
Снижение обводненности добываемой продукции в среднем по участку, %	2,0
Дополнительная добыча нефти, т (на 01.05.2013)	2560
Продолжительность технологического эффекта, мес	10**
Примечание – Продолжительность эффекта окончательно не определена из-за небольшого периода эксплуатации участка после внедрения мероприятия.	

Таким образом, полученные результаты промышленного внедрения технологий ВУКСЖС и ССГ подтверждают применимость и эффективность закачки СМГС как метода увеличения нефтеизвлечения из неоднородных по проницаемости заводнённых продуктивных пластов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основе анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований определены направления работ по получению силикатного геля в наземных условиях и последующей его закачке в виде водной силикатной микрогелевой системы в продуктивный пласт.

2. Установлены диапазоны оптимальных массовых концентраций силиката натрия и соляной кислоты в водных растворах, равные, соответственно, 17,8-35,4 % и 1,8-4,5 %, при смешении которых в объёмном соотношении 1:1 в течение двух минут образуется силикатный гель с максимальной сдвиговой прочностью, составляющей 780-790 Па.

Определены минимальная массовая концентрация силиката натрия в водном растворе, равная 6,1 %, и коэффициент пропорциональности, равный 6,5, связывающие линейной зависимостью массовые концентрации соляной кислоты и силиката натрия в водных растворах для быстрого образования силикатного геля со свойствами, обеспечивающими получение частиц силикатного геля оптимальных размеров.

3. Установлены закономерности изменения вязкости силикатной микрогелевой системы от содержания частиц силикатного геля, скорости сдвига и плотности воды. Показано, что в диапазоне массовой концентрации от 5 до 25 % коэффициент динамической вязкости увеличивается от 2,0 до 10,2 мПа·с.

Экспериментально определено, что с увеличением скорости сдвига в диапазоне от 16,6 до 129 с⁻¹ (при плотности воды от 1000 до 1180 кг/м³) эффективная вязкость силикатных микрогелевых систем снижается в шесть раз.

4. При экспериментальных исследованиях на насыпных моделях пласта со слоисто-неоднородной пористой средой установлено, что водный раствор силикатного геля, предварительно диспергированного на частицы размером от 2 до 27 мкм, кратно снижает коэффициент проницаемости насыпных моделей пласта по воде. Показано, что увеличение объёма закачки силикатной микрогелевой системы приводит к росту остаточного фактора сопротивлений насыпных моделей пласта, при этом темп прироста величины остаточного фактора

сопротивлений в среднем в 1,4 раза меньше темпа увеличения объема закачки силикатной микрогелевой системы.

5. Выработаны критерии применимости силикатных микрогелевых систем и композиций на их основе для различных геолого-физических условий разработки месторождений Татарстана.

6. Разработан способ управляемой генерации силикатной микрогелевой системы с использованием специализированной установки, обеспечивающей реализацию технологического процесса в промышленных условиях (патенты РФ на полезные модели № 48202 и № 55027).

7. Обоснованы и промышленно внедрены технологии увеличения нефтеизвлечения, основанные на закачке силикатных микрогелевых систем:

- «Технология повышения выработки продуктивных пластов на поздней стадии разработки нефтяных месторождений с применением вязко-упругой коллоидной суспензии на основе жидкого стекла (технология ВУКСЖС)» РД 153-39.0-503-07 (патент РФ на изобретение № 2321733);

- «Технология повышения выработки нефтяных пластов с применением композиций на основе силикатного геля (технология ССГ)» РД 153-39.0-738-11 (патент РФ на изобретение № 2483202).

Экономический эффект от применения технологии ВУКСЖС составляет 7,2 млн. руб. на одно мероприятие, удельная технологическая эффективность – 3000 т нефти на одну скважино-обработку. Экономический эффект от применения технологии ССГ составляет 5,6 млн. руб. на одно мероприятие, удельная технологическая эффективность на одну скважино-обработку – 1800 т дополнительно добытой нефти при продолжающемся эффекте.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. Ганеева З.М., Елизарова Т.Ю., Ризванов Р.З., Михайлов А.В., Хисаметдинов М.Р. Увеличение нефтеотдачи пластов вытеснением с применением дисперсных систем на основе силиката натрия // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 7. – С. 33-36.

2. Ганеева З.М., Хисаметдинов М.Р., Ризванов Р.З., Мусабилов М.Х. Развитие технологий увеличения нефтеизвлечения, основанных на применении силикатного геля в ОАО «Татнефть» // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 8. – С. 82-84.

3. Установка для приготовления, дозирования и закачивания технологических растворов в скважину : пат. 48202 Рос. Федерация. № 2005115436/22 ; заявл. 20.05.05 ; опубл. 27.09.05, Бюл. № 27.

4. Струйный аппарат : пат. 55027 Рос. Федерация. № 2006103633/22 ; заявл. 07.02.06 ; опубл. 27.07.06, Бюл. № 21.

5. Способ регулирования профиля приемистости нагнетательных скважин : пат. 2321733 Рос. Федерация. № 2006130909/03 ; заявл. 28.08.06 ; опубл. 10.04.08, Бюл. № 10.

6. Способ разработки нефтяного пласта : пат. 2483202 Рос. Федерация. № 2011147673/03 ; заявл. 23.11.2011 ; опубл. 27.05.13, Бюл. № 15.

7. Ганеева З.М., Елизарова Т.Ю., Усманова М.С., Абросимова Н.Н. и др. Результаты промышленного применения технологий увеличения нефтеотдачи с использованием жидкого стекла на месторождениях ОАО «Татнефть» // Сб. науч. тр. «ТатНИПИнефть». – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». – 2008. – С. 223-228.

8. Ганеева З.М., Ризванов Р.З., Абросимова Н.Н., Коновалова Н.П., Хисаметдинов М.Р. Установка для приготовления, дозирования и закачивания технологических растворов в скважину // Сб. науч. тр. «ТатНИПИнефть». – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». – 2009. – С. 165-168.

9. Ганеева З.М., Ризванов Р.З., Абросимова Н.Н., Хисаметдинов М.Р. Установка для приготовления, дозирования и закачивания технологических растворов в скважину // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в геологии и разработке углеводородов» – Казань. – 2009. – С. 355-357.

10. Ганеева З.М., Хисаметдинов М.Р., Ризванов Р.З., Елизарова Т.Ю. Анализ эффективности закачки суспензии силикатного геля на месторождениях ОАО «Татнефть» // Материалы Международной научно-практической конфе-

ренции «Инновационные технологии в геологии и разработке углеводородов». Казань. – 2010. – С. 73-76.

11. Ганеева З.М., Михайлов А.В., Ризванов Р.З., Хисаметдинов М.Р. Фильтрационные исследования суспензий на основе силикатного геля и их применение для увеличения нефтеотдачи пластов // Сб. науч. тр. «ТатНИПИнефть». – Выпуск № LXXVIII – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». – 2010. – С. 178-182.

12. Ганеева З.М. Технология применения суспензии силикатного геля для увеличения нефтеизвлечения // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции «Нефтепромысловая химия», посвященной 20-летию ЗАО «Химеко-ГАНГ». Москва. – 2011. – С. 57-60.

13. Ганеева З.М., Хисаметдинов М.Р., Гаффаров Ш.К. Инновационные физико-химические технологии увеличения нефтеизвлечения ОАО «Татнефть // Нефть, газ, новации. – 2013. – № 8. – С. 20-22.

14. Ганеева З.М., Ризванов Р.З., Елизарова Т.Ю., Хисаметдинов М.Р. Применение технологии увеличения нефтеотдачи охвата пласта воздействием с использованием суспензии силикатного геля на месторождениях ОАО «Татнефть» // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности разработки нефтяных месторождений на поздней стадии» – Казань. – 2013. – С. 176-178.

102

Отпечатано в секторе оперативной полиграфии
института «ТатНИПИнефть» ОАО «Татнефть»
на Ricoh Aficio 3045, HP 6040
тел.: (85594) 78-656,78-565
Подписано в печать 01.10.13 г.
Заказ №01102013 Тираж 100 экз.