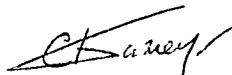


На правах рукописи



**БАЖЕНОВ**  
**СЕРГЕЙ ЛЬВОВИЧ** - -



003055 14 1

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА  
НА УГЛЕВОДОРОДНОЙ ОСНОВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЖЕЛЕЗНЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СОЛЕЙ  
ОРТОФОСФОРНЫХ ЭФИРОВ**

Специальность 02 00 11 –  
«Коллоидная химия и физико-химическая механика»

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2007

Работа выполнена в Российском Государственном Университете Нефти и Газа имени И М Губкина на кафедре технологии химических веществ для нефтяной и газовой промышленности

**Научный руководитель:**

- кандидат технических наук  
Магадова Любовь Абдулаевна

**Официальные оппоненты:**

- доктор технических наук, профессор  
Крупин Станислав Васильевич  
- доктор технических наук  
Хлебников Вадим Николаевич

**Ведущая организация:**


НП ОАО «Синтез-ПАВ»

Защита состоится «24» апреля 2007 г в 10<sup>00</sup> часов в ауд 541 на заседании диссертационного совета Д 212 200 04 при Российском государственном университете нефти и газа им И М Губкина по адресу 119991, Москва, Ленинский проспект, дом 65

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного университета нефти и газа имени И М Губкина

Автореферат разослан «22» марта 2007 г

Ученый секретарь  
Диссертационного Совета,  
доктор технических наук, проф

 Р З Сафиева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является одной из наиболее эффективных технологий интенсификации работы как добывающих, так и нагнетательных скважин. ГРП позволяет не только увеличить выработку запасов, находящихся в зоне дренирования скважины, но и существенно приобщить к выработке слабодренируемые зоны и прослой, и, следовательно, достичь более высокой конечной нефтеотдачи.

В настоящее время в большинстве случаев в качестве жидкостей разрыва при проведении ГРП используются гелеобразные системы как на водной, так и на углеводородной основах.

Несмотря на то, что наибольшее применение находят гели на водной основе, примерно 10-15% ГРП проводится с использованием гелеобразных жидкостей на углеводородной основе. Применение углеводородных гелей связано в первую очередь с проведением ГРП в высокочувствительных к воде терригенных коллекторах, а также в пластах с повышенной температурой, т.к. углеводородные гели отличаются более высокой термостабильностью. В ряде случаев применение систем на водной основе может привести к образованию стойких водонефтяных эмульсий, коагулирующих пласт после обработки, поэтому целесообразнее работать с гелями на углеводородной основе. Кроме того, в арктических условиях или в зимнее время работа с незамерзающими углеводородными системами предпочтительнее.

Применение углеводородных гелей ограничено с одной стороны, слишком низкой температурой пласта, поскольку деструкция углеводородного геля в присутствии известных деструкторов активно происходит при температурах выше 70-80°C. С другой стороны, слишком высокой температурой пласта, поскольку при температурах свыше 70-80°C происходит резкое снижение вязкости геля и возрастает фильтрация гелей.

Одной из важных проблем, в настоящее время, является проведение гидравлического разрыва в пластах с наличием близко расположенных водонасыщенных пропластков, при этом в процессе образования трещины может нару-

шиться целостность экрана, разделяющего продуктивный пласт от водонасыщенного и за счет более высокой подвижности воды произойти образование конуса обводненности, приводящего к обводнению продукции скважины

Для предотвращения увеличения обводненности скважин в процессе ГРП применяются специальные водонезащищающие составы, в качестве которых используются цементные растворы и составы, образующие гели при закачке в пласт. Однако эти составы не являются селективными и ограничивают приток не только воды, но углеводородов

Поэтому разработка новых составов жидкостей разрыва на углеводородной основе для низко- и высокотемпературных коллекторов, а также водонезащищающего состава с селективными свойствами для технологии гидравлического разрыва пласта в сочетании с изоляцией водопритоков в добывающих скважинах является актуальной научной, практической задачей совершенствования технологий для гидравлического разрыва пласта

### **Цель работы**

Совершенствование технологии гидравлического разрыва пласта на основе разработки углеводородных гелеобразных жидкостей разрыва для низких и высоких пластовых температур

Исследование водонезащищающих свойств углеводородного геля на основе алюминиевых солей органических ортофосфорных эфиров и разработка рецептуры водонезащищающего состава для технологии ГРП в сочетании с изоляцией водопритоков

### **Основные задачи исследований**

1 Обоснование и выбор методик для проведения лабораторных исследований гелеобразных жидкостей для ГРП на углеводородной основе

2 Экспериментальные исследования с целью разработки углеводородных гелеобразных жидкостей разрыва на основе железных солей ортофосфорных эфиров для пластовых температур ниже 70-80°C, и методик их приготовления и применения в промысловых условиях

3 Экспериментальные исследования с целью разработки углеводородных гелеобразных жидкостей разрыва на основе алюминиевых солей ортофосфор-

ных эфиров для повышенных пластовых температур (выше 100°С) и методик их приготовления и применения в промышленных условиях

4 Экспериментальные исследования с целью разработки водоизолирующего состава для технологии ГРП в сочетании с изоляцией водопритоков и методики его приготовления и применения в промышленных условиях

5 Промысловые испытания процессов ГРП с использованием разработанных гелеобразных жидкостей разрыва и водоизолирующих составов на углеводородной основе, анализ полученных результатов

### **Научная новизна**

Установлено, что введение модификатора - уксусной кислоты, в состав комплекса на основе железных солей органических ортофосфорных эфиров приводит к уменьшению времени гелирования углеводов, образованию комплексов с меньшей термостабильностью, способствующей ускорению процесса деструкции геля, что позволяет использовать полученный углеводородный гель в пластах с пониженной пластовой температурой

Показано, что углеводородные гели на основе алюминиевых солей органических ортофосфорных эфиров обладают водоизолирующими свойствами и могут быть использованы в технологии ГРП в сочетании с изоляцией водопритоков

### **Практическая значимость**

Разработан состав и методика приготовления и применения в промышленных условиях структурированной углеводородной гелеобразной композиции на основе железных солей органических ортофосфорных эфиров для низких пластовых температур (30-40°С), которые внедрены в технологии ГРП в Лениногорском УПНП и КРС на месторождениях ОАО «Татнефть»

Разработан состав и методика приготовления и применения в промышленных условиях структурированной углеводородной термостабильной гелеобразной композиции на основе алюминиевых солей органических ортофосфорных эфиров для пластовых температур 100-140°С

Разработан состав структурированной углеводородной гелеобразной композиции на основе алюминиевых солей органических ортофосфорных эфи-

ров и методика его приготовления и применения в промышленных условиях в технологии ГРП в сочетании с изоляцией водопритоков, которая внедрена на месторождении Каламкас (Республика Казахстан)

#### **Апробация работы**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на

- 56-й Межвузовской студенческой научной конференции (РГУ нефти и газа имени И М Губкина, г Москва, 2002г),

- 5-й Научно-технической конференции «Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России» (РГУ нефти и газа имени И М Губкина, г Москва, 2003г),

- XI конференции «Поверхностно-активные вещества - наука и производство» (г Белгород, 2003г),

- II Всероссийской научно-практической конференции «Разработка, производство и применение химических реагентов в нефтяной и газовой промышленности» (РГУ нефти и газа имени И М Губкина, г Москва, 2004г)

- 7-й Научно-технической конференции «Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России» (РГУ нефти и газа имени И М Губкина, г Москва, 2007г),

#### **Публикации**

Основное содержание диссертации опубликовано в 1 научной статье, 6 тезисах докладов на российских научных конференциях, в 1 патенте РФ и 1 заявке на изобретение

#### **Структура и объем работы**

Диссертация изложена на 167 страницах машинописного текста, содержит 9 таблиц и 24 рисунка. Диссертация состоит из введения, 5-ти глав, включающих обзор литературы, характеристику исходных веществ и методики экспериментов, обсуждение результатов, выводов, заключения, списка использованной литературы (89 наименований) и Приложений

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первой главе приведены современные представления о гидравлическом разрыве пласта (ГРП), классификация жидкостей разрыва, требования, предъявляемые к жидкостям разрыва и закрепляющему материалу – проппанту, способы проведения процесса ГРП, приведены реагенты для получения гелеобразных жидкостей на углеводородной основе, а также области их применения

В мировой практике операции по гидроразрыву пласта начали осуществляться с 1947 года, а с 1952 они получили распространение и в нашей стране на промыслах Татарии, Башкирии, Азербайджана, Краснодарского края и Куйбышевской области. Затем интерес к ГРП несколько снизился и новое возрождение применения ГРП в нефтяной промышленности России началось в конце 80-х годов, появились импортная техника и технологии

Технология ГРП характеризуется созданием системы трещин определенной длины в пласте, позволяющих восстанавливать не только дебит или проницаемость скважин, но и при необходимости увеличивать их

В образованные трещины с помощью специальных жидкостей - песконосителей - транспортируется расклинивающий материал - проппант, который закрепляет трещины в раскрытом состоянии после снятия избыточного давления

Важнейшим фактором успешности процедуры ГРП является качество жидкости разрыва и проппанта. Главное назначение жидкости разрыва - передача с поверхности на забой скважины энергии, необходимой для образования и раскрытия трещины, и транспортировка проппанта вдоль всей трещины с последующей деструкцией и восстановлением проницаемости трещины. Основными характеристиками системы «жидкость разрыва – проппант» являются

- реологические свойства чистой жидкости и жидкости, содержащей проппант,
- инфильтрационные свойства жидкости, определяющие ее утечки в пласт в ходе гидроразрыва и при переносе проппанта вдоль трещины,
- способность жидкости обеспечить перенос проппанта к концам трещины во взвешенном состоянии без его преждевременного осаждения,
- обладать плавной и полной деструкцией,

- возможность легкого и быстрого выноса жидкости разрыва для обеспечения минимального загрязнения упаковки проппанта и окружающего пласта,
- совместимость жидкости разрыва с различными добавками, предусмотренными технологией, возможными применениями и пластовыми жидкостями,
- физические свойства проппанта

Технологии ГРП различаются, прежде всего, по объемам закачки технологических жидкостей и проппантов и, соответственно, по размерам трещин. При локальном ГРП длина образуемых трещин 10-20 м, при ГРП с образованием протяженных трещин оптимальная длина закрепленной трещины обычно составляет 40–60 м, при глубокопроникающем гидроразрыве – 80-120 м, а при массивированном ГРП – 1000 м и более.

Одним из наиболее важных химических свойств жидкости ГРП является ее совместимость с пластовой водой, а также с жидкостями и породами, с которыми она контактирует в пласте. При использовании жидкостей ГРП на нефтяной основе влияние их на поведение глинистых пород в пласте или образование эмульсий незначительно. Однако при этом возможно ее влияние на выпадение парафинов и асфальтенов. Наилучшей углеводородной основой жидкости ГРП является непосредственно добываемая нефть. Вместе с тем, когда, например, плотность сырой нефти превышает  $0,85 \text{ г/см}^3$ , ее нежелательно использовать для приготовления геля из-за присутствия в ней соединений с высокой молекулярной массой.

Жидкость ГРП должна обладать не только требуемыми химическими свойствами, но и соответствующими гидродинамическими характеристиками. Главными общими свойствами жидкости являются низкая фильтруемость, малые гидравлические потери на трение и высокая термостабильность. Фильтруемость непосредственно определяет эффективность жидкости ГРП. Если большая часть ее будет уходить в процессе ГРП в окружающие трещину породы, а гидравлические потери будут велики, то распространение трещины прекратится. Фильтрационные свойства жидкостей ГРП на нефтяной основе контролируются добавками к ней, которые временно закупоривают поверхности трещины.

Количество и свойства добавок зависят от свойств базовой жидкости. Перед ГРП необходимо проводить лабораторное изучение свойств жидкостей ГРП различных композиций, это особенно важно для жидкостей на нефтяной основе.

Загущенные углеводороды используются преимущественно в пластах, чувствительных к воде, поскольку использование систем на водной основе в таких пластах может ухудшить коллекторские свойства.

В настоящее время в качестве загустителей углеводородов широко используются алюминиевые и железные соли органических ортофосфорных эфиров. Преимуществом таких солей является их применение в пластах с температурой от 80°C и выше.

Во второй главе представлены методики исследования в лабораторных условиях структурированных жидкостей разрыва на углеводородной основе для гидравлического разрыва пласта.

При разработке новых составов гелеобразных жидкостей на углеводородной основе использовались следующие методы: исследование реологии и определение гидравлических потерь давления на трение, исследование фильтрации и определение коэффициентов фильтрации, исследование пескоудерживающей способности, исследование деструкции.

Углеводородные гели являются неньютоновскими системами, их вязкость изменяется в зависимости от скорости сдвига (уменьшается с ростом скорости сдвига). Для определения структурно-механических параметров использовался вискозиметр ротационного типа «Rheotest-2» с измерительным инструментом цилиндр - цилиндр.

Фильтрационные исследования углеводородных гелей проводились через специальные бумажные фильтры на фильтр-прессе фирмы «Baroid» при температурах, равных пластовым и давлении 0,7 МПа.

Пескоудерживающая способность жидкости определялась величиной свободного падения частицы округлой формы (проппанта).

Необходимым качеством жидкости для ГРП является время ее деструкции в пласте после обработки. Деструкция жидкости для ГРП оценивалась временем (час), в течение которого вязкость жидкости уменьшалась на 80%

В третьей главе представлены результаты лабораторных исследований по разработке составов углеводородных гелей для различных пластовых условий

Для приготовления *гелеобразователя* в качестве органических ортофосфорных эфиров использовался алкилфосфат «Химекс» ТУ 400 МП «Х»-2075-227-001-93, который представляет собой поверхностно-активное вещество, состоящее из сложной смеси моно- и диэфиров алкилфосфорных кислот на основе первичных жирных, окса- и низкомолекулярных спиртов - подвижная жидкость от бесцветного до светло-коричневого цвета. Массовая доля основного вещества, не менее 95%

В качестве комплексообразователя для гелеобразователя использовались диметилэтаноламин ТУ 6-02-1086-91, диэтилэтаноламин ТУ 6-02-701-76, метилдиэтаноламин и этилдиэтаноламин, которые представляют собой вязкие жидкости со специфическим аминным запахом, обладающие свойствами аминов и спиртов

В качестве растворителя для гелеобразователя использовался керосин марки ТС - ГОСТ 10227-86, денормализат - ГОСТ 305-82 и дизельное топливо - ГОСТ 305-82

Для приготовления *активатора* использовался раствор сульфата железа, содержащий 12,0% масс  $Fe^{3+}$ , триэтаноламин - ТУ 6-02-916-79, катионоактивные ПАВ (нефтенол ГФ ТУ 2484-035-17197708-97, катамин АБ - ТУ 2482-012-13164401-94, арквад S-50 и арквад Т-50), этиленгликоль - ГОСТ 19710-83Е, уксусную кислоту - ГОСТ 19814-74, пресную воду

Для приготовления *деструктора* использовался оксид кальция или смесь карбоната (или бикарбоната) натрия и оксида кальция (ТУ 6-18-107-74)

В процессе исследований была разработана *рецептура углеводородного геля*, включающая

1 *Гелеобразователь*, при следующем соотношении компонентов, % об

органические ортофосфорные эфиры	55-65,
азотсодержащий комплексобразователь	15-35,
растворитель	остальное

2 *Активатор*, при следующем соотношении компонентов, % об

раствор сульфата железа, содержащий 12,0% масс $Fe^{3+}$	30,0-42,0,
триэтаноламин	0,5-8,0,
катионноактивные ПАВ (нефтенол ГФ или катамин АБ, или арквад S-50, или арквад Т-50)	8,0-20,0,
этиленгликоль	5,0-12,0,
уксусная кислота	10,0-18,0,
пресная вода	остальное

3 *Углеводородная жидкость* - газоконденсат или сырая нефть, или дизельное топливо

4 *Деструктор* - оксид кальция или смесь оксида кальция и карбоната (или бикарбоната) натрия при следующем их соотношении, % масс

оксид кальция	10,0-60,0,
карбонат (или бикарбонат) натрия	40,0-90,0

Нижний и верхний пределы концентраций органических ортофосфорных эфиров и комплексобразователя в составе гелеобразователя обусловлены необходимыми вязкостью и структурой получаемого углеводородного геля

Нижний и верхний пределы концентраций сульфата железа и триэтаноламина в составе активатора обусловлены значениями вязкости и структуры получаемого углеводородного геля, нижний и верхний пределы концентраций катионноактивных ПАВ и этиленгликоля обусловлены тем, что при меньшем их количестве активатор плохо растворяется в углеводородной жидкости в процессе приготовления геля, а при большем снижаются концентрации активных веществ (сульфата железа и триэтаноламина) ниже допустимого предела, а нижний и верхний пределы концентраций уксусной кислоты обусловлены тем, что при меньшем количестве приготовленный гель длительное время деструктурирует при температурах ниже 80°C (более 8 часов), а при большем количестве уксусной кислоты снижаются ниже допустимого предела концентрации активных веществ (сульфата железа и триэтаноламина) В отсутствие уксусной кислоты время деструкции геля превышает 24 часа

Получение и деструкция гелей исследовались при добавлении в состав активатора различных водорастворимых кислот. Однако наиболее эффективным модификатором явилась уксусная кислота, так как только она способствовала образованию в кислой среде малодиссоциирующей трехзамещенной соли железа, которая при взаимодействии с ортофосфорными эфирами образует трехзамещенные ортофосфаты железа, которые в свою очередь позволяют получать менее термостабильные гели, обладающие более высокой вязкостью.

Покомпонентный состав рецептуры углеводородного геля, %об

1 Гелеобразователь	0,3-10,0
2 Активатор	0,3-10,0
3 Углеводородная жидкость	остальное
4 Деструктор	0,5-10,0 кг

на м<sup>3</sup> углеводородного геля

По результатам экспериментальных исследований подана заявка на изобретение «Углеводородный гель на основе железных солей органических ортофосфорных эфиров» (№ 20055136330)

По разработанной рецептуре углеводородного геля было организовано производство комплекса гелирующего «Химеко-Н» модифицированного в ЗАО «Петрохим»

Для получения углеводородных гелей, деструктируемых в течение не более 8 часов при пластовых температурах ниже 80°C, использовался комплекс гелирующий «Химеко-Н» модифицированный на основе железных солей органических ортофосфорных эфиров. Для этого исследовались нефти месторождений Казахстана и Татарстана. В результате, пригодными для гелирования явились нефть Минибаевского месторождения Республики Татарстан, нефти Узеньского и Алатюбинского месторождений Республики Казахстан.

Первоначально были подобраны составы гелей, используемые при температурах пласта 30-40°C для условий месторождений Татарстана, далее составы гелей, используемые при температурах пласта 60 и 80°C для условий месторождений Казахстана. Составы и реологические параметры углеводородных гелей приведены в таблице 1.

Таблица 1

Составы и реологические параметры углеводородных гелей на основе комплекса «Химеко-Н» модифицированного, разработанных для пластовых температур (30-80°С)

№ состава	Состав базовой жидкости		Количество гелеобразователя, мл/100 мл жидкости	Количество активатора, мл/100 мл жидкости	Температура пласта, °С	Вязкость геля при 170 с <sup>-1</sup> и температуре пласта, сП	Реологические параметры геля при температуре приготовления		
	Нефть, мл	Дизельное топливо, мл					Показатель неьютоновского поведения, n	Коэффициент консистенции жидкости, к, Па с <sup>n</sup>	Потери давления на трение, Δр, МПа/100м
1	100	-	1,4	1,6	30	175,50	0,40	4,20	0,93
2	100	-	1,6	1,8	40	199,10	0,35	5,95	0,95
3	50	50	1,4	1,4	60	115,95	0,40	4,10	0,94
4	85	15	0,8	0,4	80	102,09	0,27	6,04	0,80

Как видно из таблицы 1 полученные составы обладают необходимыми реологическими свойствами для использования их в процессе гидравлического разрыва пласта (при температуре приготовления  $n \leq 0,4$ ,  $k \geq 4$  Па с<sup>n</sup>,  $\Delta p \leq 1,0$  МПа / 100м, при температуре пласта и скорости сдвига  $D\Gamma=170$  с<sup>-1</sup> вязкость геля  $\geq 80$  сП)

Результаты фильтрационных характеристик, деструкции и пескоудерживающей способности разработанных составов углеводородных гелей представлены в таблице 2. При этом разработанные составы обладают низкой фильтрацией (объем отфильтрованной жидкости за 30 мин  $\leq 50$  мл, коэффициент утечек с кольматацией  $\leq 0,001$  м/√мин, коэффициент мгновенных утечек  $\leq 0,01$  м), приемлемой пескоудерживающей способностью (скорость оседания пропанта  $\leq 5$  см/мин)

Гели данных составов (представленные в таблице 1) обладают эффективной деструкцией (время деструкции 5-6 часов при степени деструкции 80%) При том же составе, но в отсутствии уксусной кислоты в комплексе на основе железных солей органических ортофосфорных эфиров время деструкции 10-15 часов при степени деструкции 60%

Таблица 2

Фильтрационные характеристики, время деструкции и пескоудерживающая способность углеводородных гелей на основе комплекса «Химекс-Н» модифицированного, разработанных для пластовых температур (30-80°С)

№ состава *	Температура пласта, °С	Фильтрационные характеристики углеводородных гелей (сечение фильтра 31,16 см <sup>2</sup> )			Деструкция углеводородных гелей		Скорость оседания проппанта при 20°С, см/мин
		Объем отфильтрованной жидкости за 30 мин, мл	Коэффициент утечек с кольматацией, м/√мин	Коэффициент мгновенных утечек, м	Количество деструктора (СаО), г/100мл геля	Время деструкции углеводородного геля при степени деструкции 80%, ч	
1	30	4,8	0,000040	0,001070	0,30	5,5	3,5
2	40	6,2	0,000040	0,001519	0,30	5,0	2,8
3	60	21,8	0,000160	0,005306	0,40	6,0	2,6
4	80	12,2	0,000080	0,003038	0,50	5,0	4,0

\* Составы гелей как в таблице 1

Для получения термостабильных гелей на основе дизельного топлива использовался комплекс гелирующий «Химекс-Т» (ТУ 2481-077-17197708-2003)

В результате исследований, на основе комплекса гелирующего «Химекс-Т», содержащего алюминиевые соли органических ортофосфорных эфиров и дизельного топлива были подобраны составы гелей на углеводородной основе для ГРП, обладающие необходимыми реологическими свойствами, низкой фильтрацией (коэффициент утечек с кольматацией  $\leq 0,001$  м/√мин, коэффициент мгновенных утечек  $\leq 0,01$  м), приемлемой пескоудерживающей способностью (скорость оседания проппанта  $\leq 5$  см/мин), эффективной деструкцией (время деструкции 4-5 часов при степени деструкции 80%) и пригодные к использованию при повышенных пластовых температурах (100, 110, 120, 130 и 140°С)

Необходимо отметить, что для приготовления геля, разработанного для повышенных пластовых температур, использовались высокие концентрации реагентов, при этом вязкости получаемых составов слишком высоки, что вызывает высокие потери давления на трение при закачке геля в скважину. Чтобы избежать получения высоковязких систем на устье скважины, разработан способ получения геля «на потоке», при закачке его в скважину. При этом вязкость

геля возрастает по мере его продвижения по насосно-компрессорным трубам (НКТ), в то же время увеличивается его термостабильность и снижаются потери давления на трение. Составы и реологические параметры углеводородных гелей приведены в таблице 3

Таблица 3  
Составы и реологические параметры углеводородных гелей на основе комплекса «Химеко-Т» и дизельного топлива для использования при пластовых температурах (100-140°C)

№ состава	Количество гелеобразователя при раздельной подаче, мл/100 мл жидкости	Количество гелеобразователя (Г) и активатора (А) при совместной подаче, мл/100 мл жидкости		Количество гелеобразователя (Г) и активатора (А) при совместной подаче «на потоке», мл/100 мл жидкости		Температура пласта, °С	Вязкость геля при 170 с <sup>-1</sup> и температуре пласта, сП	Реологические параметры геля при температуре приготовления (35-40°C)		
		Г	А	Г	А			Показатель неньютоновского поведения, n	Коэффициент консистенции жидкости, k, Па с <sup>n</sup>	Потери давления на трение, Др, МПа/100м
1	0,8	0,2	0,2	0,6	0,6	140	101,35	0,16	13,11	0,64
2	0,8	0,2	0,2	0,4	0,4	130	111,61	0,14	18,71	0,60
3	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	120	88,16	0,24	6,90	0,85
4	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1	110	98,16	0,17	16,82	0,77
5	0,6	0,2	0,2	0,05	0,05	100	94,57	0,17	14,34	0,72

Как видно из таблицы 3 полученные составы обладают необходимыми реологическими свойствами для использования их в процессе гидравлического разрыва пласта (при температуре приготовления  $n \leq 0,4$ ,  $k \geq 4$  Па с<sup>n</sup>,  $\Delta r \leq 1,0$  МПа / 100м, при температуре пласта и скорости сдвига  $D\tau=170$  с<sup>-1</sup> вязкость геля  $\geq 80$  сП)

Результаты фильтрационных характеристик, деструкции и пескоудерживающей способности разработанных составов углеводородных гелей представлены в таблице 4

Таблица 4

Фильтрационные характеристики, время деструкции и пескоудерживающая способность углеводородных гелей на основе комплекса «Химеко-Т» и дизельного топлива для использования при пластовых температурах (100-140°С)

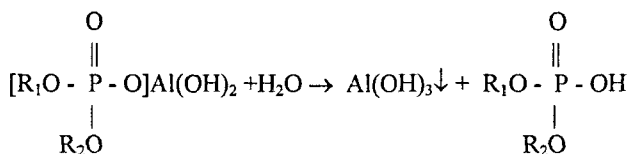
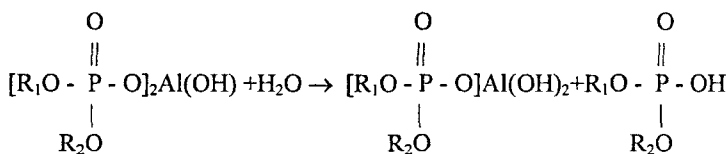
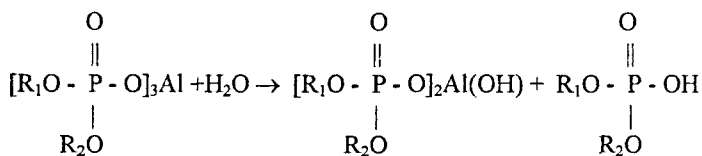
№ состава**	Температура пласта, °С	Фильтрационные характеристики углеводородных гелей (сечение фильтра 31,16 см <sup>2</sup> )			Деструкция углеводородных гелей		Скорость оседания проппанта при 20°С, см/мин
		Объем отфильтрованной жидкости за 30 мин, мл	Коэффициент утечек с кольматажей, $\frac{м}{\sqrt{мин}}$	Коэффициент мгновенных утечек, м	Количество деструктора (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), г/100мл геля	Время деструкции углеводородного геля при степени деструкции 80%, ч	
1	140	28,3	0,000650	0,002386	0,0025	4,0	1,9
2	130	30,2	0,000610	0,002974	0,005	4,5	2,6
3	120	32,0	0,000834	0,000021	0,01	5,0	1,8
4	110	25,0	0,000345	0,003723	0,02	5,0	2,2
5	100	20,0	0,000345	0,002760	0,03	4,0	2,1

\*\*Составы гелей как в таблице 3

В четвертой главе представлены результаты лабораторных исследований по разработке водоизолирующего состава углеводородного геля на основе комплекса гелирующего «Химеко-Т»

Проведенные исследования были направлены на создание углеводородного водоизолирующего состава, применяемого в процессе гидравлического разрыва пласта в сочетании с изоляцией водопритоков в добывающих скважинах. Полученный состав позволит проводить гидравлический разрыв пласта как в обводненных скважинах, так и в пластах, где после проведения процесса ГРП возможен прорыв воды.

В ходе исследований выявлено и использовано свойство углеводородных гелей на основе алюминиевых солей органических ортофосфорных эфиров (комплекс гелирующий «Химеко-Т») образовывать в отсутствие деструктора прочные соединения при контакте с водой, обладающие повышенной адгезией к поверхности стекла и металла.



Образующиеся в результате реакции между гелеобразователем и активатором алкилфосфаты алюминия в отсутствие деструктора вступают в реакцию с водой (гидролиз) с образованием в ней липкого осадка гидроксифосфатов алюминия, способствующих селективной изоляции водопритоков, т.к. получаемые соединения хорошо растворимы в углеводородах

### Состав углеводородного геля на основе

#### комплекса гелирующего «Химеко-Т» и дизельного топлива

Дизельное топливо

(плотность при 20 °С – 825 кг/м<sup>3</sup>)

100 мл

Гелеобразователь «Химеко-Т»

0,9 мл

Активатор «Химеко-Т»

0,3 мл

На рис. 1 приведены зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига при температурах 20, 40, 60 и 80 °С

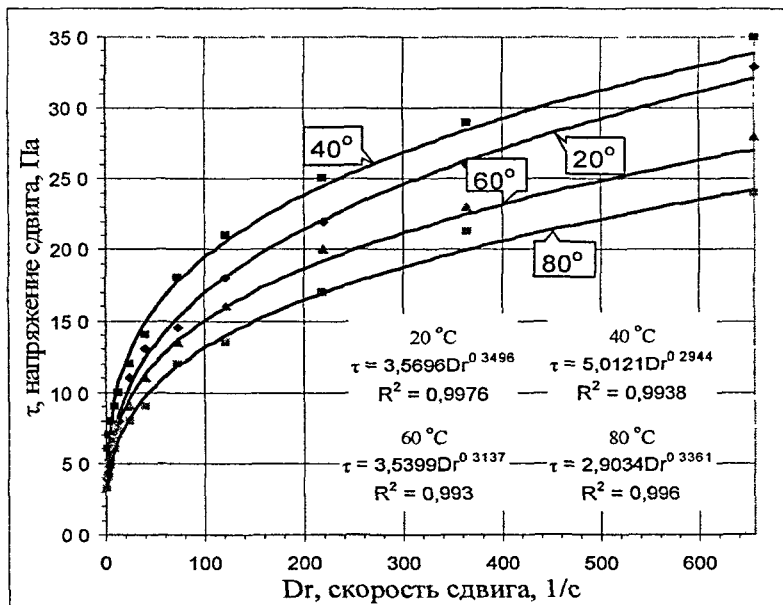


Рис 1 Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига и температуры для состава углеводородного геля на основе комплекса гелирующего «Химеко-Т» и дизельного топлива

Реологические параметры углеводородного геля показаны в таблице 5

Таблица 5

Реологические параметры углеводородного геля на основе комплекса гелирующего «Химеко-Т» и дизельного топлива (состав, приведенный на стр 15)

Температура, °С	Реологические параметры геля		
	Вязкость при 170 с <sup>-1</sup> , сП	Показатель неньютоновского поведения, n	Коэффициент консистенции, к, Па с <sup>n</sup>
20	119,33	0,32	4,50
40	133,85	0,29	5,01
60	104,18	0,31	3,54
80	96,25	0,33	2,95

Как следует из представленных данных (на рис 1 и табл 5), полученная система обладает необходимыми реологическими характеристиками для использования ее в качестве жидкости для гидравлического разрыва пласта (при

температуре закачки 20-40°C  $n \leq 0,4$ ,  $k \geq 4$  Па с<sup>n</sup>, при температуре пласта 40-80°C и скорости сдвига  $Dr=170$  с<sup>-1</sup> вязкость  $\geq 80$  сП), при этом ее вязкость при температуре 40°C растет, а при повышении температуры выше 60°C падает

В отсутствие деструктора гель сохраняет высокую вязкость в течение длительного времени

Для определения тампонирующих свойств исследуемого геля по отношению к воде применялась фильтрационная установка высокого давления НР-CFS

Многофункциональная фильтрационная установка высокого давления НР-CFS позволяет наряду с экспериментами на образцах кернов проводить исследования с использованием насыпных моделей пласта

В эксперименте использовалась водонасыщенная насыпная модель пласта с набивкой фракцией кварцевого песка

Длина модели составляла - 340 см

Площадь поперечного сечения - 2,99 см<sup>2</sup>

Температура экспериментов - 20°C

**Начальные параметры модели:**

Начальная проницаемость по воде при 20°C - 80,331 мкм<sup>2</sup>

Плотность воды при 20°C - 1,0 г/см<sup>3</sup>

Вязкость воды при 20°C - 1,0 мПа с

Пористость - 30%

Поровый объем - 305 см<sup>3</sup>

**Этапы эксперимента:**

Приготовленный состав, приведенный на стр 15 выдерживали в течение 90 минут при 20°C Далее проводили

1. Фильтрацию пресной воды и определение начальной проницаемости по ней

2. Закачку 1  $V_{пор}$  состава на основе гелеобразующего комплекса «Химеко-Т» и дизельного топлива

3. Фильтрацию пресной воды и определение конечной проницаемости по ней на различном расстоянии от входа модели

4. Фильтрацию керосина и измерение конечной проницаемости по нему (вязкость керосина при 20°C - 1,29 сП)

В результате фильтрации керосина проницаемость модели увеличилась в 19 раз по отношению к проницаемости водонасыщенной модели, содержащей гель (рис 2), что доказывает селективную изолирующую способность полученного состава по отношению к воде

Результат проведенных исследований показал, что полученный состав геля может быть использован как в качестве жидкости для ГРП на углеводородной основе, так и в качестве водоизолирующего тампонирующего состава

Разработанный состав был представлен в патенте на изобретение «Способ гидравлического разрыва пласта в сочетании с изоляцией водопритоков в добывающих скважинах с применением гелеобразующих жидкостей на углеводородной и водной основах» (№2256787 от 20 07 2005, Бюл №20)

В пятой главе представлены методики приготовления углеводородных гелей в промышленных условиях методика приготовления углеводородного геля на основе комплекса гелирующего «Химеко-Н» (модифицированного уксусной кислотой) и товарной альметьевской (минибаевской) нефти для проведения ГРП в добывающих скважинах с пластовой температурой 20-40°C и методика приготовления углеводородного геля на основе комплекса гелирующего «Химеко-Т» и дизельного топлива для проведения ГРП в сочетании с изоляцией водопритоков в добывающих скважинах

Также приведены результаты промышленного использования разработанных составов в процессах ГРП

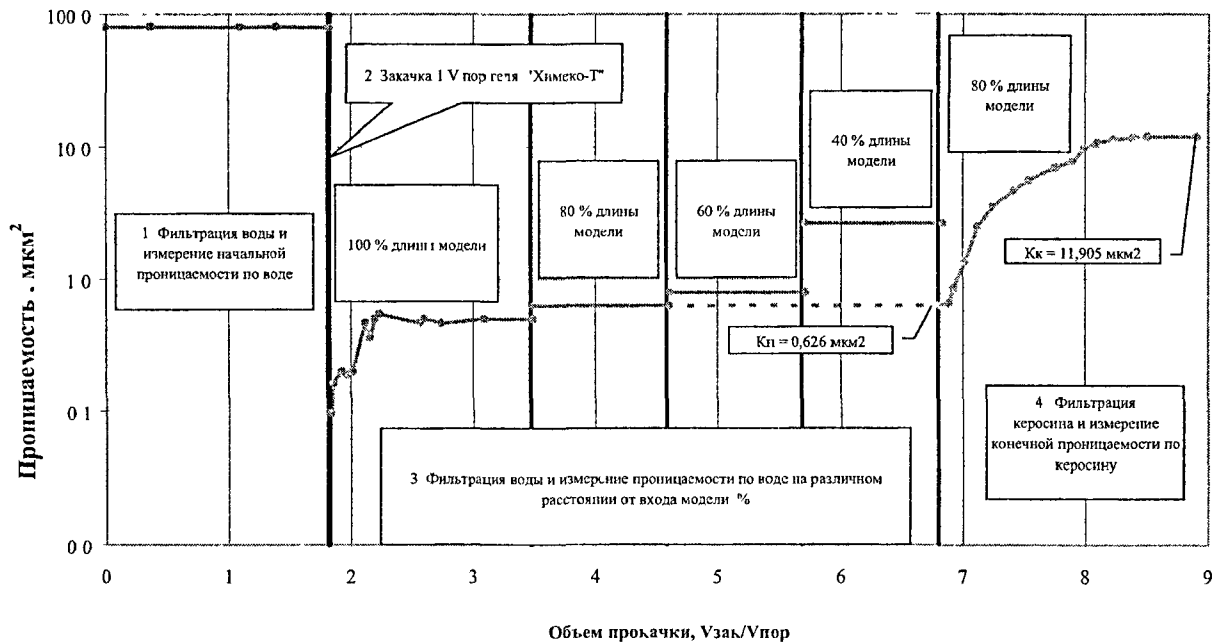


Рис 2 Изменение проницаемости модели в ходе эксперимента Температура эксперимента 20°C  
 Начальная проницаемость по воде - 80,331 мкм<sup>2</sup>  
 ( $K_n$  и  $K_k$  – соответственно начальная и конечная проницаемость модели)

## Основные результаты и выводы

В настоящей диссертационной работе на основе экспериментальных исследований и промышленных испытаний обоснована возможность совершенствования технологии гидравлического разрыва пласта с использованием структурированных гелеобразных жидкостей разрыва на углеводородной основе в условиях пониженных и повышенных пластовых температур, а также водоизолирующих составов. При этом

1 Установлено, что введение модификатора - органических кислот в состав комплекса на основе железных солей органических ортофосфорных эфиров приводит к уменьшению времени гелирования углеводов, образованию комплексов с меньшей термостабильностью, способствующей ускорению процесса деструкции геля

2 Разработана рецептура углеводородного геля на основе комплекса гелирующего «Химеко-Н» модифицированного, предназначенная для гидравлического разрыва пласта при пониженных пластовых температурах

3 По разработанной рецептуре углеводородного геля было организовано производство комплекса гелирующего «Химеко-Н» модифицированного в ЗАО «Петрохим»

4 Разработан состав структурированной углеводородной гелеобразной композиции для низких пластовых температур (30-40°С) на основе комплекса гелирующего «Химеко-Н» модифицированного и методика его приготовления и применения в промышленных условиях

5 С использованием разработанной методики приготовления и применения углеводородного геля для низких пластовых температур на основе комплекса гелирующего «Химеко-Н» модифицированного Лениногорским УППИ и КРС внедрена технология ГРП в 3-х добывающих скважинах на месторождениях ОАО «Татнефть». В результате работ продуктивность каждой скважины увеличилась в 2-3 раза. Осложнений при вызове притока не наблюдалось

6 Разработан состав структурированной углеводородной термостабильной гелеобразной композиции для пластовых температур 100-140°С на основе комплекса гелирующего «Химеко-Т» и дизельного топлива и методика его приготовления и применения в промышленных условиях

7 Доказано, что углеводородные гели на основе алюминиевых солей органических ортофосфорных эфиров обладают водоизолирующими свойствами и могут быть использованы в технологии ГРП в сочетании с изоляцией водопритоков (ИВП)

8 Разработан состав структурированной углеводородной гелеобразной композиции на основе комплекса гелирующего «Химеко-Т» и методика его приготовления и применения в промышленных условиях для использования в качестве жидкости разрыва и водоизолирующего состава в технологии ГРП в сочетании с изоляцией водопритоков

9 Разработанный углеводородный водоизолирующий состав на основе комплекса гелирующего «Химеко-Т» был внедрен при проведении ГРП с изоляцией водопритоков в 10 скважинах на месторождении «Каламкас» (Республика Казахстан) Работы проводились сервисной компанией ОАО «СММ» Успешность проведения ГРП с ИВП по 10 скважинам составила 70%

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:**

1 Магадова Л А , Магадов Р С , Силин М А , Гаевой Е Г , Заворотный В Л , Баженов С Л Гелеобразующие жидкости на углеводородной основе, применяемые для гидравлического разрыва пласта// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море – 2006 -№12 - С 25-29

2 Баженов С Л , Савастеев В Г , Лыков О П , Никонов В И , Магадова Л А Гелеобразные жидкости для гидроразрыва пласта// Тезисы докладов 56-й Межвузовской студенческой научной конференции, г М - 2002 - С 46

3 Магадова Л А , Магадов Р.С , Беляева А Д , Баженов С Л , Савастеев В Г Разработка рецептур термостабильных гелей на основе дизельного топлива для гидроразрыва пласта, используемых при повышенных пластовых температурах ( $T=100-140^{\circ}\text{C}$ )// Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России 5-я научно-техническая конференция Тезисы докладов Секция 4 Технология переработки нефти и газа, нефтехимия и химмотология топлив и смазочных материалов, г М -23-24 января 2003 г - С 93

4 Магадова Л А , Магадов Р С , Мариненко В Н , Баженов С Л Разработка новых реагентов для гелирования нефти// Сборник тезисов докладов XI конференции Поверхностно-активные вещества - наука и производство Конференция посвящается 45-летию создания НПОАО "Синтез-ПАВ" Белгород - 2003 - С 58

5 Магадова Л А , Магадов Р С , Мариненко В Н , Баженов С Л Термостабильные углеводородные гели на основе алюминиевых солей ортофосфорных эфиров для гидравлического разрыва пласта// Сборник тезисов докладов XI конференции Поверхностно-активные вещества - наука и производство Конференция посвящается 45-летию создания НПОАО "Синтез-ПАВ" Белгород - 2003 - С 59

6 Магадова Л А , Магадов Р С , Силин М А , Баженов С Л , Елисеев Д Ю , Савастеев В Г Технология гидравлического разрыва пласта в сочетании с изоляцией водопритоков// II Всероссийская научно-практическая конференция

ция "Разработка, производство и применение химических реагентов в нефтяной и газовой промышленности" 25-26 ноября 2004 г (К 75-летию РГУ нефти и газа им И М Губкина) Тезисы докладов, г М -2004 - С 34

7 Патент РФ №2256787 Способ гидравлического разрыва пласта в сочетании с изоляцией водопритоков в добывающих скважинах с применением гелеобразующих жидкостей на углеводородной и водной основах/ Магадова Л А , Магадов Р С, Силин М А , Гаевой Е Г , Рудь М И , Губанов В Б , Магадов В Р , Баженов С Л , Трофимова М В //20 07 2005, Бюл №20

8 Заявка на изобретение № 2005136330 от 23 11 2005 Углеводородный гель на основе железных солей органических ортофосфорных эфиров/ Магадова Л А , Магадов Р С , Силин М А , Гаевой Е Г , Рудь М И , Баженов С Л , Мариненко В Н

9 Магадова Л А , Гаевой Е Г , Баженов С Л Способ получения углеводородного геля «на потоке» при проведении гидравлического разрыва пласта // Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России 7-я научно-техническая конференция Тезисы докладов Секция 4 Технология переработки нефти и газа, нефтехимия и химмотология топлив и смазочных материалов, г М -29-30 января 2007 г - С 61

Принято к исполнению 20/03/2007  
Исполнено 21/03/2007

Заказ № 207  
Тираж 120 экз

Типография «11-й ФОРМАТ»  
ИНН 7726330900  
115230, Москва, Варшавское ш , 36  
(495) 975-78-56  
[www autoreferat ru](http://www.autoreferat.ru)