

На правах рукописи

Мардашов Дмитрий Владимирович



**КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛУШЕНИЯ
НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН ПРИ ПОДЗЕМНОМ РЕМОНТЕ
В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Специальность 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

Санкт-Петербург – 2022

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

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор

Рогачев Михаил Константинович

Официальные оппоненты:

Антониади Дмитрий Георгиевич

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», Институт нефти, газа и энергетики, директор, профессор кафедры нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна;

Гуськова Ирина Алексеевна

доктор технических наук, профессор, государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт», кафедра разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, профессор;

Михайлов Николай Нилович

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», кафедра разработки и эксплуатации нефтяных месторождений, профессор.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.

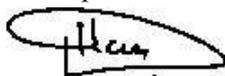
Защита диссертации состоится **28 декабря 2022 г. в 13:00** на заседании диссертационного совета ГУ 2022.13 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, ауд. № 3321.

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

Автореферат разослан 28 сентября 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

диссертационного совета



ТАНАНЫХИН

Дмитрий Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Значительная часть нефтяных месторождений России характеризуется повышенной обводненностью добываемой продукции, пониженным пластовым давлением, высоким газовым фактором, снижением продуктивности скважин, а также увеличением степени износа подземного оборудования. Данные осложнения требуют значительных затрат на применение передовых технологий для поддержания требуемого уровня добычи углеводородов, которые, как правило, реализуются с помощью текущего и капитального ремонта скважин (ТКРС). При этом увеличивается не только частота, но и сложность подземных ремонтов. В результате роста числа ремонтных работ будет увеличиваться и количество подготовительных мероприятий, сопровождающихся глушением скважин, либо применением механических защитных устройств. Вследствие этого задача сохранения естественных фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород призабойной зоны продуктивного пласта (ПЗП) для современной нефтегазодобывающей промышленности является одной из наиболее актуальных.

К сожалению, традиционные методы глушения скважин, применяемые на подавляющем большинстве разрабатываемых месторождений и основанные на использовании водных растворов солей, оказывают существенное негативное воздействие на ФЕС пород-коллекторов ПЗП. Используемые сегодня блокирующие составы для глушения скважин не всегда обеспечивают надежную изоляцию и защиту ПЗП, особенно в условиях аномально низкого пластового давления (АНПД), высокого газового фактора, повышенной естественной и искусственной (вследствие гидравлического разрыва пласта (ГРП)) трещиноватости, высокой неоднородности пласта и т.д. несоответствие свойств применяемых жидкостей глушения геолого-промысловым и технологическим условиям скважин, как правило, приводит к различным негативным последствиям в виде значительного поглощения жидкости глушения скважин (ЖГС) продуктивным пластом, газопроявления, формирования обводненной зоны с модифицированной фазовой проницаемостью и др. В итоге данные негативные последствия могут привести к необходимости повторного глушения скважины, либо увеличения объема закачиваемой в

нее технологической жидкости. При этом потребуются значительные затраты средств и времени как на сам процесс глушения скважины, так и на ее освоение и последующий вывод на режим эксплуатации (ВНР). Это, в свою очередь, негативно влияет на продуктивность скважины и приводит к значительным потерям по добыче нефти из-за простоев, а также длительных сроков ее освоения и вывода на режим.

Особое внимание следует уделять процессу глушения добывающих скважин на месторождениях с карбонатным коллектором, что является актуальным по причине того, что на данных объектах приходится все чаще сталкиваться с такими проблемами, как поглощения технологических жидкостей пластом и газопроявление.

В связи с этим работа, направленная на создание научно-методических основ проектирования процесса глушения нефтедобывающих скважин перед подземным ремонтом в осложненных условиях их эксплуатации, а также разработку эффективных рецептов жидкостей глушения и технологий их применения, является актуальной задачей для нефтегазовой отрасли. Решение этой задачи непосредственно связано с анализом геолого-физических и технологических особенностей разработки нефтяного месторождения, изучением процессов движения жидкостей глушения в системе «скважина – ПЗП», а также механизмов их воздействия на ФЕС пород-коллекторов. Работы в этом направлении ведутся на кафедре «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Санкт-Петербургского горного университета в рамках Ведущей научной школы «Повышение нефтеотдачи пласта» на протяжении более чем 17 лет под руководством и при непосредственном участии автора.

Степень разработанности темы исследования

На различных этапах развития нефтегазовой отрасли в изучение физико-химических, гидродинамических и геомеханических процессов, происходящих в ПЗП при эксплуатации скважин в осложненных условиях и их глушении перед подземным ремонтом, существенный вклад внесли: Антониади Д.Г., Ахметов А.А., Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Глущенко В.Н., Гуськова И.А., Зейгман Ю.В., Ибатуллин Р.Р., Кендис М.Ш., Михайлов Н.Н., Орлов Г.А.,

Позднышев Г.Н., Рогачев М.К., Рябоконт С.А., Салимов О.В., Си-
лин М.А., Телин А.Г., Токунов В.И. и многие другие ученые.

В результате проведенных работ разработано большое коли-
чество рецептур жидкостей глушения и технологических схем их
применения. В то же время при проектировании работ по глушению
скважин перед подземным ремонтом в осложненных условиях их
эксплуатации, как правило, отсутствует комплексность подхода, ос-
нованного на геологическом, геомеханическом, гидродинамическом
и физико-химическом обосновании процессов, происходящих в
системе «скважина – ПЗП». В сложившихся условиях качество про-
ведения работ по глушению скважин ухудшается, что приводит к
существенному снижению технико-экономической эффективности
всего комплекса ремонтных мероприятий.

Содержание диссертации **соответствует паспорту научной
специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газо-
вых месторождений по пунктам 2 «Геолого-физические, геомехани-
ческие, физико-химические, тепломассообменные и биохимические
процессы, протекающие в естественных и искусственных пластовых
резервуарах и окружающей геологической среде при извлечении из
недр и подземном хранении жидких и газообразных углеводородов и
водорода известными и создаваемыми вновь технологиями и техни-
ческими средствами для развития научных основ создания эффек-
тивных систем разработки, обустройства и эксплуатации месторож-
дений и подземных хранилищ жидких и газообразных углеводородов
и водорода, захоронения кислых газов, включая диоксид углерода» и
3 «Научные основы технологии воздействия на межскважинное и
околоскважинное пространство и управление притоком пластовых
флюидов к скважинам различных конструкций с целью повышения
степени извлечения из недр и интенсификации добычи жидких и
газообразных углеводородов».**

Цель работы – повышение эффективности глушения неф-
тяных скважин перед подземным ремонтом в осложненных условиях
их эксплуатации (аномально низкое пластовое давление, трещин-
но-поровые карбонатные коллектора, высокий газовый фактор) на
основе комплексного моделирования процессов, происходящих в
системе «скважина – ПЗП», а также параметров технологий глушения
и свойств применяемых жидкостей.

Для достижения поставленной в диссертационной работе цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Проанализировать мировой опыт глушения нефтяных скважин перед подземным ремонтом в осложненных условиях их эксплуатации.

2. Разработать методику многофакторного анализа причин повторного глушения скважин.

3. Разработать метод комплексного анализа геолого-промыслового материала с целью выдачи рекомендаций по проектированию и сопровождению процесса глушения скважины.

4. Разработать лабораторно-методический комплекс для проведения экспериментальных исследований блокирующих составов различного типа для глушения нефтяных скважин.

5. Разработать новые химические реагенты и технологические жидкости для глушения нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации.

6. Изучить механизмы действия разработанных блокирующих составов на породы-коллекторы различного типа, установить области их эффективного применения.

7. Создать научно-методические основы проектирования работ по глушению нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации.

8. Разработать комплексную систему сопровождения процесса глушения нефтяных скважин с использованием численного моделирования процессов, происходящих в системе «скважина – ПЗП».

9. Разработать модель механического устройства для сохранения ФЕС продуктивного пласта в процессе проведения подземного ремонта.

10. Провести опытно-промысловые испытания разработанных технологий глушения нефтяных скважин.

11. Оценить технологический и экономический эффект от применения разработанных технологий глушения скважин.

Исходя из вышесказанного, **актуальной задачей** является реализация комплексного подхода к моделированию физико-химических, фильтрационных, гидродинамических и геомеханических процессов, протекающих в системе «скважина – ПЗП» при

глушении нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации.

Идея работы

Комплексное моделирование и разработанные технологии глушения нефтяных скважин, основанные на совмещении направленного регулирования фильтрационных характеристик ПЗП перед подземным ремонтом путем использования разработанных гидрофобизирующих эмульсионных и блокирующих полимерных составов с контролем режима их закачки в скважину и продавливания в ПЗП с учетом ее геолого-физических и геомеханических параметров, позволяют повысить эффективность данного процесса в осложненных условиях разработки месторождения.

Объектом исследований диссертационной работы является система «скважина – ПЗП» при глушении нефтяных скважин перед подземным ремонтом в осложненных условиях их эксплуатации (аномально низкое пластовое давление, трещинно-поровые карбонатные коллектора, высокий газовый фактор), а **предметом исследований** – закономерности физико-химических, фильтрационных, гидродинамических и геомеханических процессов, происходящих в объекте исследований.

Научная новизна работы:

1. Предложена комплексная модель планирования и сопровождения технологий глушения нефтедобывающих скважин в осложненных условиях их эксплуатации (аномально низкое пластовое давление, трещинно-поровые карбонатные коллектора, высокий газовый фактор), обеспечивающая взаимосвязь между геологическими, геомеханическими и технологическими параметрами процессов, влияющих на эффективность данного мероприятия.

2. Установлены механизмы – гидрофобизирующий и коагулирующий (с образованием вязкого экрана в фильтрационных каналах или твердого экрана на их входе), характер и степень влияния разработанных эмульсионных и полимерных составов на фильтрационные характеристики терригенных и карбонатных пород-коллекторов, позволяющие осуществлять направленное регулирование их фазовых проницаемостей с целью сохранения, восстановления и улучшения фильтрационных характеристик ПЗП при глушении скважин перед подземным ремонтом в различных

геолого-физических и технологических условиях разработки нефтяных месторождений.

3. На основе результатов лабораторных фильтрационных и реологических исследований, а также по данным численного моделирования процесса глушения нефтяной скважины установлены зависимости изменения проницаемости матрицы и давления раскрытия трещин карбонатных пород-коллекторов от напряжений, действующих на них при фильтрации жидкостей с ньютоновским и неньютоновским характером поведения (соответственно – традиционно используемых жидкостей глушения скважин на водной основе и разработанных эмульсионных и полимерных составов).

Теоретическая значимость работы заключается в создании научно-методических основ проектирования технологий глушения нефтедобывающих скважин перед подземным ремонтом в осложненных условиях их эксплуатации (аномально низкое пластовое давление, трещинно-поровые карбонатные коллектора, высокий газовый фактор) с использованием предложенного комплексного моделирования, обеспечивающего взаимосвязь между геологическими, геомеханическими и технологическими параметрами процессов, влияющих на эффективность данного мероприятия, и с учетом установленных механизмов, характера и степени влияния жидкостей различного химического и компонентного состава на фильтрационные характеристики терригенных и карбонатных пород ПЗП, что вносит определенный вклад в теорию разработки нефтяных месторождений.

Практическая значимость работы:

1. Создан современный лабораторно-методический комплекс, оснащенный высокотехнологичным оборудованием и специально разработанными экспериментальными стендами (патент на изобретение РФ № 2749773), для проведения исследований по разработке новых и подбору существующих технологических жидкостей различного типа при моделировании процессов глушения и освоения скважин. Разработанный комплекс апробирован совместно с ООО «Газпромнефть НТЦ» в условиях ряда месторождений (ЮЛТ Приобского, Вынгапуровское, Вынгаяхинское, Восточный участок Оренбургского, Новопортовское, Велебит, Мокрин), разрабатываемых ПАО «Газпром нефть» (справка о применении от 11.05.2022).

2. Разработан и внедрен в промышленное производство совместно с ООО «Синтез-ТНП» эмульгатор обратных гидрофобных эмульсий ЯЛАН-Э2 (акт о внедрении от 08.04.2022), синтезированный на основе растительных масел и аминов (патент на изобретение РФ № 2414290).

3. Разработаны технологические жидкости для глушения скважин, установлена область их эффективного применения:

- блокирующий (ОВНЭ) и интенсифицирующий (ОКНЭ) эмульсионные составы, стабилизированные разработанным эмульгатором ЯЛАН-Э2 (патент на изобретение РФ № 2359002);
- блокирующий полимерный состав БПС (патент на изобретение РФ № 2757626);
- блокирующие полимерный (БПС-МК) и эмульсионный (ОВНЭ-МК) составы с мраморной крошкой (патент на изобретение РФ № 2736671).

4. Ряд разработанных технологий глушения нефтяных скважин нашел промышленное применение:

- при глушении 290 добывающих скважин месторождений Западной Сибири (Покачевское, Северо-Покачевское, Южно-Покачевское, Урьевское, Нивагальское) с использованием блокирующего состава ОВНЭ, разработанного совместно с ООО «ОТО», сокращены сроки вывода скважин на режим эксплуатации, увеличены их дебиты по нефти и снижена обводненность добываемой продукции (справка о внедрении от 20.10.2008);
- применение гидрофобно-эмульсионного состава, стабилизированного разработанным эмульгатором ЯЛАН-Э2, в качестве состава-отклонителя при интенсификации притока 5-ти добывающих скважин на Сосновском месторождении ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» привело к снижению их обводненности и увеличению дебитов (акт о внедрении от 14.06.2017).

5. Предложена комплексная система сопровождения процесса глушения нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации, основанная на численном моделировании процессов

течения и фильтрации ЖГС в системе «скважина – ПЗП». Данная система реализуется с помощью запатентованного комплекса специализированных программ ЭВМ и баз данных (свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №№ 2020615706, 2020616170, 2020615617, 2020613106, свидетельства о государственной регистрации баз данных №№ 2022621272, 2022621227).

6. Результаты диссертационной работы использованы при составлении нормативных документов для сопровождения процесса глушения нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации:

- технических условий «Эмульгатор обратных водонефтяных эмульсий «ЯЛАН-Э2» (ТУ 2458-001-22650721-2009 от 20.08.2010), разработанных и утвержденных совместно с ООО «Синтез-ТНП»;
- инструкций по проведению контроля параметров блокирующего биополимерного состава «БК» и блокирующего эмульсионного состава «ИЭР», разработанных совместно с ООО «Газпромнефть-Оренбург» и ООО «Газпромнефть НТЦ» (апробированы и внедрены на Восточном участке Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения) (акт о внедрении от 12.04.2022);
- проекта технологического регламента по глушению нефтяных скважин в условиях карбонатных коллекторов и высокого газового фактора (совместно с ООО «Газпромнефть НТЦ» и ООО «Газпромнефть-Оренбург»);
- инструкции по применению состава ИЭР+МК (совместно с ООО «ВЕТЕРАН»).

7. Разработана модель забойного клапана-отсекателя с целью сохранения ФЕС ПЗП при подземном ремонте на скважинах, оборудованных установками электроцентробежных насосов (патент на полезную модель РФ № 204950).

8. Методика гидравлического расчета течения технологических жидкостей по стволу добывающей скважины в процессе её глушения использовалась при разработке совместно с ООО «Санкт-Петербургский Инженерно-проектный центр» учебно-тренажерного комплекса по текущему и капитальному ремонту скважин (справка об использовании от 21.06.2022).

Методология и методы исследований

Решение поставленных в работе задач осуществлялось путем комплексного подхода к анализу геолого-промысловых данных и результатов физических, численных и промысловых методов исследований: комплексного геолого-промыслового анализа эффективности глушения нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации; лабораторных исследований по моделированию процессов глушения и освоения скважин в термобарических пластовых условиях; численного моделирования процессов течения и фильтрации ЖГС в системе «скважина – ПЗП» с использованием фундаментальных законов реологии, гидравлики и подземной гидродинамики; анализа результатов промысловых испытаний разработанных технологий.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Разработанная комплексная модель планирования и сопровождения технологии глушения нефтедобывающих скважин, учитывающая геолого-промысловые данные мест их расположения, результаты многофакторного анализа истории проведения данного мероприятия, а также результаты специальных геофизических исследований, данные сейсмоки и геомеханики, позволяет повысить эффективность глушения скважин в осложненных условиях их эксплуатации (аномально низкое пластовое давление, трещинно-поровые карбонатные коллектора, высокий газовый фактор) за счет обоснованного выбора наиболее эффективного блокирующего состава и технологии его применения в зависимости от степени геологической неоднородности участка работ.

2. Разработанный лабораторно-методический комплекс для физического моделирования процессов глушения и освоения нефтяных скважин позволяет создавать новые и исследовать существующие составы жидкостей глушения с целью определения диапазона регулирования их физико-химических, реологических, блокирующих, газодерживающих и фильтрационных параметров, а также оценки области их эффективного применения.

3. Предложенная комплексная система сопровождения процесса глушения нефтяных скважин в условиях трещинно-поровых пород-коллекторов, состоящая из трех компонентов – гидравлической модели течения технологической жидкости по стволу скважи-

ны, математической модели фильтрации этой жидкости в ПЗП и геомеханической модели напряженного состояния трещин в ПЗП, и отличающаяся учетом закономерностей физико-химического, гидравлического и гидродинамического поведения разработанных неньютоновских эмульсионных и полимерных блокирующих составов в системе «скважина – ПЗП», позволяет регулировать свойства применяемых технологических жидкостей и режим их закачки в скважину с целью контроля устьевого и забойного давлений для предотвращения ГРП или активации естественных трещин и, как следствие, поглощений этих жидкостей пластом с последующим газопроявлением.

Степень достоверности результатов исследований подтверждена: теоретическими исследованиями с использованием методов сравнительного структурного и многофакторного анализа; результатами лабораторных исследований с использованием высокотехнологичного оборудования и специально разработанных экспериментальных стендов, позволяющих проводить исследования в условиях, максимально приближенных к промышленным; воспроизводимостью результатов экспериментальных исследований; сопоставлением результатов численного моделирования с промышленными данными; подтверждением результатов теоретических и экспериментальных исследований при опытно-промышленных испытаниях.

Апробация результатов

Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах, конференциях, сессиях и выставках: VI Международная научно-практическая конференция «Нефтегазовые технологии» и III Международный научно-практический семинар по проблемам интенсификации добычи нефти и капитального ремонта скважин (Россия, г. Самара, 2009 г.); VIII Конгресс нефтегазовых промышленников «Проблемы ресурсо- и энергосбережения в технологиях освоения трудноизвлекаемых запасов углеводородов» (Россия, г. Уфа, 2009 г.); V Всероссийская научно-практическая конференция «Нефтепромысловая химия» (Россия, г. Москва, 2010 г.); Форум-выставка с международным участием «Нефть. Газ. Промышленность-2012» (Россия, г. Москва, 2012 г.); Международная ярмарка изобретений SIIF-2012 (Республика Корея, г. Сеул, 2012 г.); VI Международная выставка изобретений на Ближнем Востоке IFME

(Кувейт, г. Эль-Кувейт, 2013 г.); Региональная научно-практическая конференция «Научная сессия ученых АГНИ» (Россия, г. Альметьевск, 2013 г.); XXV Международная выставка изобретений, инноваций и технологий ITEX`14 (Малайзия, г. Куала-Лумпур, 2014 г.); Международная научно-техническая конференция «Современные технологии в нефтегазовом деле – 2014, 2015» (Россия, г. Октябрьский, 2014, 2015 гг.); Международный форум-конкурс молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (Великобритания, г. Лондон, ИОМЗ, 2018 г.); выездная сессия для решения актуальных вопросов по операциям глушения на ВУ ОНГКМ ООО «Газпромнефть-Оренбург» (Россия, г. Оренбург, 2018 г.); VI Форум будущих лидеров Мирового нефтяного совета (Россия, г. Санкт-Петербург, СПГУ, 2019 г.); XII Российско-Германский сырьевой форум (Россия, г. Санкт-Петербург, СПГУ, 2019 г.); II Международный научно-технический и инвестиционный форум по химическим технологиям и нефтегазопереработке «Нефтехимия-2019» (Республика Беларусь, г. Минск, 2019 г.); XI Международная научно-практическая конференция обучающихся, аспирантов и ученых, посвященная 40-летию филиала ТИУ в г. Нижневартовске «Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса» (Россия, г. Нижневартовск, 2021 г.) и другие.

Личный вклад автора заключается в: постановке цели и формулировке задач диссертационного исследования; обобщении мирового опыта глушения нефтяных скважин перед подземным ремонтом; анализе геолого-промыслового материала по глушению скважин; разработке научно-методических основ проектирования работ по глушению нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации; создании современного лабораторно-методического комплекса, оснащенного высокотехнологичным оборудованием и специально разработанными экспериментальными стендами; проведении экспериментальных исследований, анализе и обобщении полученных результатов; апробации основных положений работы; сопровождении опытно-промысловых испытаний разработанных технологий глушения.

Публикации

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 50 печатных работах, в том числе в 12 статьях – в изда-

ниях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 15 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 5 патентов на изобретение, 1 патент на полезную модель, 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и 2 свидетельства о государственной регистрации базы данных.

Структура диссертации

Диссертация состоит из оглавления, введения, 5 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 360 наименований, и 19 приложений. Диссертация изложена на 368 страницах машинописного текста, содержит 196 рисунков и 55 таблиц.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю и консультанту профессору Рогачеву М.К., развитие идей которого, постоянное внимание и помощь способствовали выполнению работы. За содействие в проведении экспериментальных исследований и консультации автор выражает искреннюю признательность заведующему научно-исследовательской лабораторией физико-механических свойств и разрушения горных пород Ильинову М.Д., а также специалистам Научного центра геомеханики и проблем горного производства Горного университета.

Автор с благодарностью оценивает итоги совместной работы и поддержку при апробации и внедрении результатов диссертационного исследования специалистов предприятий ООО «Синтез-ТНП», ОАО «ОТО», ООО «Газпромнефть НТЦ», ООО «Газпромнефть-Оренбург», ООО «ВETERАН», ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» и ООО «ИПЦ СПб», в первую очередь, Нелькенбаума С.Я., Стрижнева К.В., Румянцеву Е.А., Гумерова Р.Р., Гврителишвили Т.Т., Балдину Т.Р., Маринина И.А., Сусленникова М.М.

Особую благодарность автор выражает всем сотрудникам кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Горного университета за поддержку и помощь в подготовке диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен анализ мирового опыта глушения добывающих скважин в осложненных условиях их эксплуатации. Произведена классификация технологических жидкостей для глушения нефтяных скважин. Изучен опыт применения специализированных программных комплексов и оборудования при проектировании и сопровождении процесса глушения скважин. Установлено, что повышение эффективности глушения нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации может быть достигнуто путем комплексного подхода к проектированию данного процесса.

Во второй главе представлены результаты комплексного геолого-промыслового анализа эффективности глушения нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации на примере одного из нефтегазоконденсатных месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (НГП) с карбонатным коллектором. Разработана классификация причин повторных глушений скважин, подразделяющаяся на геологические, технические и организационные. Представлены результаты многофакторного анализа эффективности глушения скважин. Рассмотрены результаты комплексного анализа данных геофизических исследований, сеймики и геомеханики с целью прогноза успешности глушения скважин.

В третьей главе представлено описание современного лабораторно-методического комплекса для физического моделирования процессов глушения и освоения нефтяных скважин. Изложены результаты лабораторных исследований по разработке реагента-эмульгатора, а также приготовленных на его основе блокирующих эмульсионных составов. Представлены результаты по разработке полимерного блокирующего состава для глушения нефтяных скважин перед подземным ремонтом в условиях высокого газового фактора. Произведен анализ результатов фильтрационных исследований образцов керна карбонатной горной породы в условиях ее напряженного состояния.

В четвертой главе дано описание комплексной системы сопровождения процесса глушения нефтяных скважин в условиях трещинно-поровых пород-коллекторов, учитывающей закономерности физико-химического, гидравлического и гидродинамического поведения разработанных неньютоновских эмульсионных и полимерных блокирующих составов в системе «скважина – ПЗП». Представлено описание разработанных специализированных программ для сопровождения процесса глушения скважин в осложненных условиях их эксплуатации.

В пятой главе проведен анализ области эффективного применения разработанных блокирующих составов с учетом выделенных на нефтегазоконденсатном месторождении (НГКМ) зон геологической неоднородности. Представлено описание конструкции и преимуществ разработанной модели клапана-отсекателя, рекомендуемого к использованию при подземном ремонте скважины. Дано описание разработанной нормативной документации по сопровождению процесса глушения скважин в осложненных условиях их эксплуатации. Выполнен анализ результатов промысловых испытаний разработанных технологий глушения скважин. Дано технико-экономическое обоснование эффективности глушения нефтяных скважин с применением разработанных блокирующих составов.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях.

1. Разработанная комплексная модель планирования и сопровождения технологии глушения нефтедобывающих скважин, учитывающая геолого-промысловые данные мест их расположения, результаты многофакторного анализа истории проведения данного мероприятия, а также результаты специальных геофизических исследований, данные сейсмоки и геомеханики, позволяет повысить эффективность глушения скважин в осложненных условиях их эксплуатации (аномально низкое пластовое давление, трещинно-поровые карбонатные коллектора, высокий газовый фактор) за счет обоснованного выбора наиболее эффективного блокирующего состава и технологии его применения в зависимости от степени геологической неоднородности участка работ.

Повышение эффективности глушения нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации (аномально низкое пластовое давление, трещинно-поровый карбонатный коллектор, высокий газовый фактор) может быть достигнуто путем комплексного подхода к проектированию параметров технологий и свойств жидкостей глушения скважин, основанного на геологическом, геомеханическом, физико-химическом и гидродинамическом обосновании процессов, происходящих в системе «скважина – ПЗП».

Для геологического обоснования разработан метод многофакторного анализа геолого-промыслового материала с целью оценки эффективности глушения добывающих скважин (рисунок 1).



Рисунок 1 – Алгоритм многофакторного анализа эффективности глушения скважин

Данный метод позволил установить наиболее значимые факторы, влияющие на продолжительность выхода скважин на режим эксплуатации на примере одного из НГКМ Волго-Уральской НПП с карбонатным типом трещинно-порового коллектора:

- объем водного раствора ЖГС при доливе скважины во время ремонта (требуется применение технологических жидкостей с регулируемыми блокирующими свойствами);
- продолжительность простоя скважины после её остановки перед глушением (требуется создание условий для максимально возможного восстановления текущего пластового

давления в ПЗП с целью последующего корректного расчета плотности ЖГС);

- обводненность добываемой продукции до глушения скважины (при подборе типа и компонентного состава ЖГС необходимо учитывать ее совместимость с пластовой водой и величину обводненности добываемой продукции);
- текущее пластовое давление на момент глушения скважины (для корректного расчета плотности ЖГС необходим прямой замер текущего пластового давления в околоскважинной зоне перед глушением и прогноз его изменения во времени в течение всего срока ремонта скважины).

Также по результатам анализа было установлено, что средняя успешность глушения нефтяных скважин на исследуемом НГКМ составляла 67 % (глушение скважин за 1 цикл) за четырехлетний период, в течение которого наблюдалось постоянное снижение пластового давления (рисунок 2).

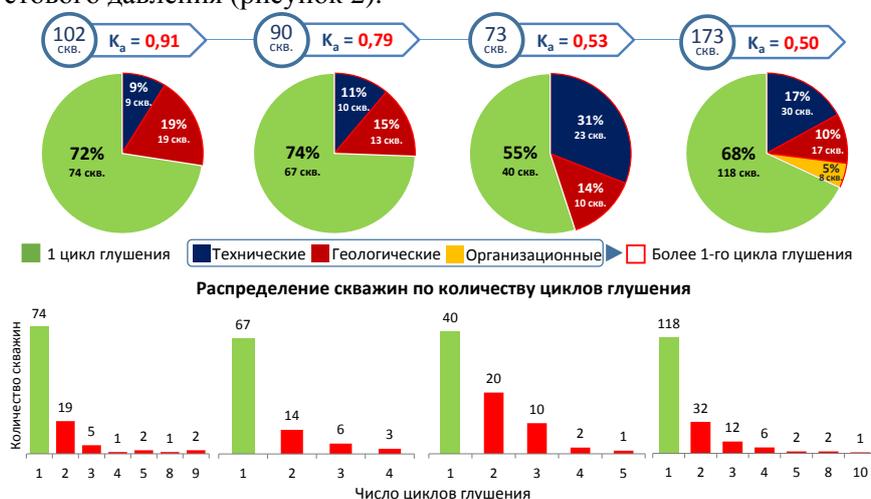


Рисунок 2 – Статистика глушения скважин в осложненных условиях их эксплуатации на одном из НГКМ Волго-Уральской НГП

По итогам анализа разработана классификация причин повторных глушений скважин, подразделяющаяся на геологические (осложненные горно-геологические условия, недостоверные данные по значению пластового давления на момент глушения, недостаточ-

ная разрядка скважины после ГРП), технические (состояние подземного оборудования скважины, осложнение ремонтных работ, неэффективное проведение операций по глушению скважин) и организационные (осложнение процесса организации ремонтных работ).

Для повышения успешности глушения добывающих скважин в вышеуказанных осложненных условиях их эксплуатации необходим также комплексный анализ особенностей изменения в межскважинном пространстве геолого-физических свойств трещинных коллекторов, учитывающий применение передовых методов специальных геофизических исследований скважин и методик обработки и интерпретации их данных (в комплексе с детальным анализом кернового материала) и особенностей геомеханического поведения пород-коллекторов с трещинами. Установленные связи сейсмических атрибутов «Ant-tracking» и «Chaos» с успешностью глушения добывающих скважин для указанного НГКМ позволили выделить на нем три зоны геологической неоднородности (в зависимости от степени трещиноватости), для каждой из которых могут быть рекомендованы разные типы (по реологическим характеристикам и блокирующим свойствам) технологических жидкостей (ТЖ) с целью повышения вероятности успешного глушения скважин.

Поскольку продуктивные горизонты рассматриваемого НГКМ представлены коллекторами трещинно-порового типа, поэтому правильная количественная оценка проводящей активности трещин является критерием успешности глушения скважины. Напряженное состояние вблизи скважины существенно отличается от регионального поля напряжений и меняется в зависимости от создаваемого забойного давления, что в свою очередь влияет на активность трещин в ПЗП. Наличие имиджера сопротивлений или откалиброванной геомеханической модели трещиноватости позволяет спрогнозировать активно проводящие участки трещин вблизи ствола скважин при различных значениях внутрискважинного давления. Изменение забойного давления в процессе нагнетания жидкости в пласт приводит к изменению напряжений, действующих на поверхности трещины, что вызывает активацию ее сегментов (рисунок 3).

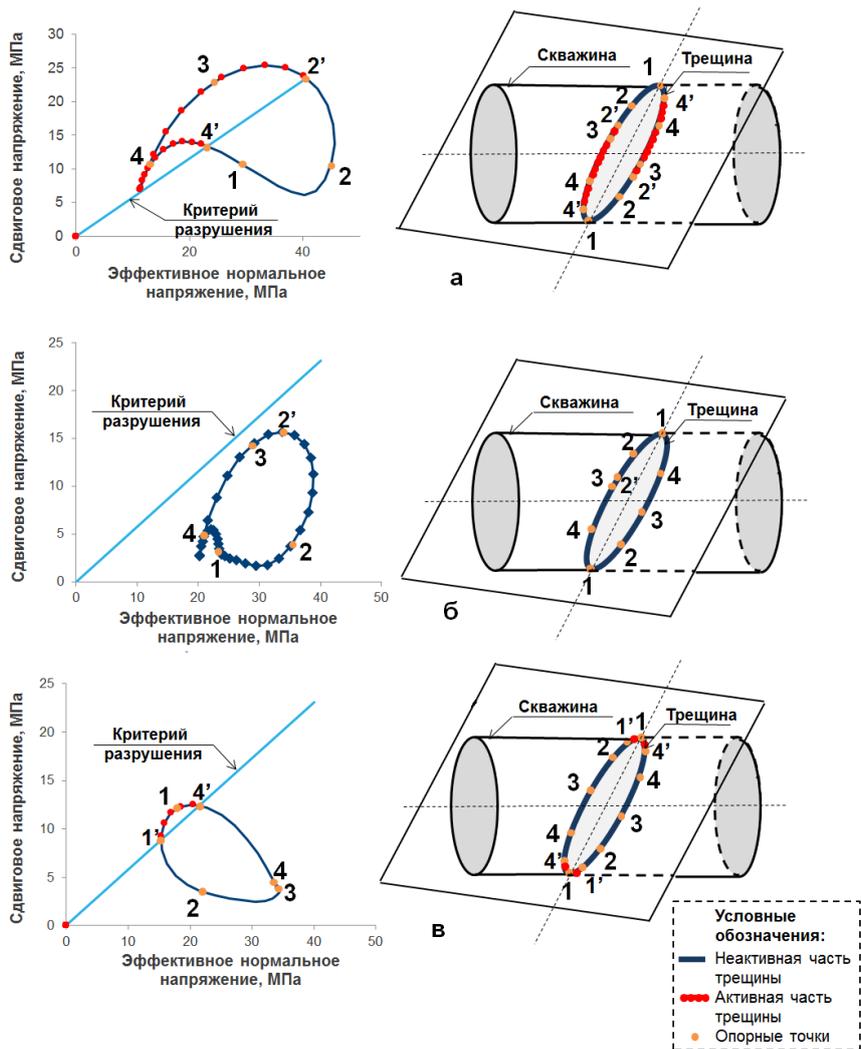


Рисунок 3 – Диаграмма напряженного состояния трещины по результатам интерпретации данных исследования скважины НГКМ: *а*) в процессе эксплуатации скважины (на депрессии), *б*) в процессе простаивания скважины (на гидростатическом давлении), *в*) в процессе глушения скважины (при давлении закачки жидкости глушения)

В связи с этим при проектировании работ по глушению скважин в осложненных условиях их эксплуатации необходимо изучение геомеханических свойств трещинных пород-коллекторов, что позволит дать ценную информацию о способности трещин к проводимости флюида при определенных гидродинамических условиях закачки ТЖ в скважину. Получаемые таким образом данные дают возможность планировать процесс глушения с учетом природной трещиноватости, что может обеспечить решение проблемы поглощения ТЖ пластом и предотвращения необходимости повторного глушения скважины.

В результате обобщения проведенных исследований предложена комплексная модель планирования и сопровождения технологии глушения нефтедобывающих скважин, заключающаяся в последовательной реализации представленных на рисунке 4 этапов работ. Отличительной особенностью данной модели является то, что в ней учитывается взаимосвязь между геологическими, геомеханическими и технологическими параметрами процессов, влияющих на эффективность глушения скважины.

I. СБОР И АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ПРОМЫСЛОВЫХ ДАННЫХ	II. МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ	III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕОБЛАДАЮЩЕГО ТИПА ТРЕЩИН
Анализ данных ГИС и сейсмоки, интерпретация имиджей сопротивлений	Анализ истории глушения скважин и геолого-промысловых данных	Определение плотности и ориентации трещин по данным дискретной модели трещин
IV. ЗОНИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ	V. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ	VI. ПОДБОР ТЕХНОЛОГИИ И РЕЖИМА ГЛУШЕНИЯ СКВАЖИНЫ
Выделение зон геологической неоднородности на основе сейсмических атрибутов и дискретной модели трещин	Определение напряженного состояния трещин в прискважинной зоне при глушении	Определение типа блокирующего состава и оптимального забойного давления при его закачке в скважину

Рисунок 4 – Комплексная модель планирования и сопровождения глушения нефтяных скважин в осложненных условиях

Таким образом, для повышения эффективности глушения скважин в осложненных условиях необходим системный подход, заключающийся в обоснованном выборе технологии глушения, который рекомендуется делать с учетом анализа промысловых данных и опыта глушения скважин на исследуемом объекте, а также комплексного (численного, физического и промыслового) моделирования процессов, происходящих в системе «скважина – ПЗП».

2. Разработанный лабораторно-методический комплекс для физического моделирования процессов глушения и освоения нефтяных скважин позволяет создавать новые и исследовать существующие составы жидкостей глушения с целью определения диапазона регулирования их физико-химических, реологических, блокирующих, газодерживающих и фильтрационных параметров, а также оценки области их эффективного применения.

С целью физического моделирования процессов глушения и освоения нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации создан лабораторно-методический комплекс, оснащенный высокотехнологичным оборудованием и специально разработанными экспериментальными стендами. Отличительной особенностью данного комплекса является возможность моделирования процессов течения и фильтрации высоковязких ТЖ, в том числе с кольматантом-наполнителем, в системе «скважина – ПЗП», обеспечивая при этом имитацию осложненных условий эксплуатации скважин (аномально низкое пластовое давление, трещинный коллектор, высокий газовый фактор, ГРП) (рисунок 5).

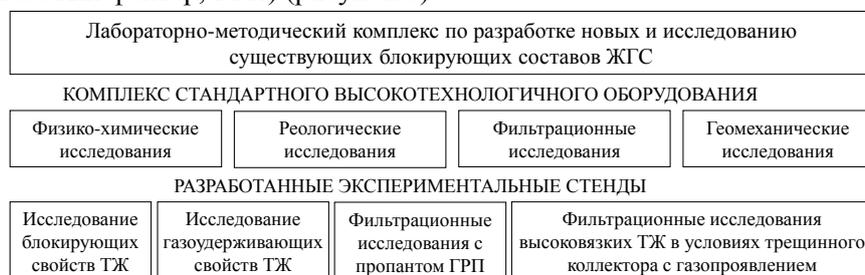


Рисунок 5 – Состав лабораторно-методического комплекса по исследованию ЖГС

В результате проведенных исследований разработаны новые блокирующие составы жидкостей глушения скважин с использованием реагентов отечественного производства, а также установлена область их эффективного применения (таблица 1):

- блокирующий эмульсионный состав ОВНЭ (соотношение водной и углеводородной фаз – 80/20 %), стабилизированный реагентом-эмульгатором ЯЛАН-Э2 (1-1,5 % мас.);

- блокирующий полимерный состав БПС, представляющий собой шитую полимерную систему на основе ксантановой камеди (0,5-1,0 % мас.), структурированную ацетатом хрома (0,15 % мас.), с добавлением регулятора времени гелеобразования (0,12-0,65 % мас.) (водно-спиртового раствора органических комплексонов);
- блокирующие эмульсионный ОВНЭ-МК и полимерный БПС-МК составы с мраморной крошкой (5 % мас. МК-500 (при раскрытости трещин не более 0,5 мм) или 3% МК-500 + 3% МК-1000/1500 (при раскрытости трещин более 0,5 мм));
- интенсифицирующий состав ОКНЭ (соотношение водной и углеводородной фаз – 50/50 %), стабилизированный реагентом-эмульгатором ЯЛАН-Э2 (1 % мас.), с использованием в качестве дисперсной фазы водного раствора соляной кислоты.

Таблица 1 – Область эффективного применения разработанных блокирующих составов

Наименование разработанного состава	Тип коллектора	Проницаемость	Обводненность	АНПД	Газовый фактор, м ³ /м ³	ГРП	t, °С
ОВНЭ	терригенный	низкая	малая и средняя (менее 60%)	нет	менее 150	нет	90
ОВНЭ-МК	карбонатный	любая	любая	да	менее 150	да	90
БПС	терригенный	средняя и высокая	высокая (более 60%)	нет	150-300	нет	80
БПС-МК	карбонатный	любая	любая	да	150-300	да	80
ОВНЭ / ОВНЭ-МК + БПС	любой	любая	любая	да	более 300	да	80-90
ОКНЭ	карбонатный	средняя и высокая	высокая (более 60%)	-	-	-	90

Учитывая высокую частоту проведения ТКРС (в среднем 1 ремонт в 1-1,5 года), предложен новый подход к решению проблемы сохранения, восстановления и улучшения фильтрационных характеристик ПЗП, суть которого заключается в совмещении каждой операции глушения скважин перед подземным ремонтом с воздействием на ПЗП разработанными технологическими жидкостями. Сведения о технологиях и областях эффективного применения данных составов представлены в таблице 1. Данные технологические жидкости за счет совмещения операций глушения скважин перед подземным ремонтом с воздействием на ПЗП позволяют регулировать её фильтрационные характеристики с максимальной эффективностью и достаточной степенью охвата продуктивного коллектора.

При приготовлении эмульсионных блокирующих составов использовался разработанный совместно с ООО «Синтез-ТНП» эмульгатор обратных эмульсий ЯЛАН-Э2. Данный реагент способен эмульгировать не только водные солевые растворы, но и кислоты, что позволяет использовать его для получения гидрофобно-эмульсионных составов, применяемых при: глушении скважин перед подземным ремонтом; кислотной обработке добывающих скважин; ограничении водопритока в добывающие скважины; выравнивании фронта вытеснения в неоднородных коллекторах; выравнивании профиля приемистости нагнетательных скважин; защите подземного нефтегазопромыслового оборудования от коррозии.

Установлены механизмы, характер и степень влияния разработанных технологических жидкостей на фильтрационные характеристики терригенных (для условий Западно-Сибирской НГП) и карбонатных (для условий Волго-Уральской НГП) пород, что позволяет осуществлять направленное регулирование их фазовых проницаемостей с целью сохранения, восстановления и улучшения фильтрационных характеристик ПЗП при глушении скважин перед подземным ремонтом в различных геолого-физических и технологических условиях разработки нефтяных месторождений.

Механизм сохранения фильтрационных характеристик низкопроницаемых терригенных пород-коллекторов заключается в том, что блокирующий состав ОВНЭ, стабилизированный реаген-

том-эмульгатором ЯЛАН-Э2, при попадании в пористую среду проявляет гидрофобизирующие свойства, что выражается в незначительном снижении проницаемости по углеводородной фазе, а также увеличении фильтрационных сопротивлений по отношению к водной фазе.

В условиях средне- и высокопроницаемых терригенных пород-коллекторов, а также высокого газового фактора механизм сохранения фильтрационных характеристик заключается в формировании разработанным блокирующим полимерным составом БПС газонепроницаемого экрана, путем создания напротив интервала перфорации и в поровом пространстве временного изолирующего слоя, прочность которого зависит от концентрации полимера и регулятора времени его сшивки.

Механизм сохранения фильтрационных характеристик карбонатных пород-коллекторов заключается в формировании блокирующими эмульсионными и полимерными составами, приготовленными с кольматантом-наполнителем, на входе в трещину непроницаемого гидродинамического затвора за счет арочного эффекта разнофракционной мраморной крошки, прочность которого зависит от фракционного состава наполнителя, степени раскрытости трещины и действующего на него перепада давления.

Применение разработанного блокирующего состава ОВНЭ на ряде нефтяных месторождений Западной Сибири показало сокращение (до 1-3 суток) сроков вывода скважин на режим эксплуатации, увеличение (на 5-10 м³/сут) их дебитов по нефти и снижение (на 20-30 %) обводненности добываемой продукции.

Таким образом, совмещение направленного регулирования фильтрационных характеристик ПЗП перед подземным ремонтом путем использования разработанных гидрофобизирующих эмульсионных и блокирующих полимерных составов с контролем режима их закачки в скважину и продавливания в ПЗП позволит повысить успешность глушения скважин в осложненных условиях их эксплуатации.

Для каждой из выделенных на месторождении зон геологической неоднородности могут быть рекомендованы разные типы (по реологическим характеристикам и блокирующим свойствам) разработанных ТЖ с целью повышения вероятности успешного глушения

скважин. Так, для однородной зоны могут быть рекомендованы блокирующие составы, приготовленные на углеводородной основе, для зоны низкой неоднородности – полимерные блокирующие составы повышенной вязкости, а для зоны высокой неоднородности – блокирующие составы повышенной вязкости с наполнителями-кольматантами, либо комбинированная технология (совместное применение ОВНЭ/ОВНЭ-МК, продавливаемого в ПЗП, с БПС, размещаемым напротив интервала перфорации), а также механические клапаны-отсекатели.

Для сохранения фильтрационных свойств ПЗП в процессе проведения подземного ремонта скважин, оборудованных установкой электроцентробежного насоса (УЭЦН) и находящихся в зонах высокой геологической неоднородности, в качестве альтернативы процессу глушения предложена модель забойного клапана-отсекателя (рисунок б).



Рисунок б – Принципиальная схема разработанной модели клапана-отсекателя

Данное устройство обладает рядом преимуществ перед существующими аналогами: электромеханический принцип действия; обеспечение доступа к забою скважины для проведения скважинных исследований и воздействия на ПЗП; разъединяемая конструкция, позволяющая извлекать клапанный механизм без срыва пакерной компоновки.

3. Предложенная комплексная система сопровождения процесса глушения нефтяных скважин в условиях трещинно-поровых пород-коллекторов, состоящая из трех компонентов – гидравлической модели течения технологической жидкости по стволу скважины, математической модели фильтрации этой жидкости в ПЗП и геомеханической модели напряженного состояния трещин в ПЗП, и отличающаяся учетом закономерностей физико-химического, гидравлического и гидродинамического поведения разработанных неньютоновских эмульсионных и полимерных блокирующих составов в системе «скважина – ПЗП», позволяет регулировать свойства применяемых ТЖ и режим их закачки в скважину с целью контроля устьевого и забойного давлений для предотвращения ГРП или активации естественных трещин и, как следствие, поглощений этих жидкостей пластом с последующим газопроявлением.

Для повышения эффективности глушения скважин в осложненных условиях их эксплуатации необходим системный подход, учитывающий не только научно обоснованный выбор типа и технологических параметров ЖГС, но и особенности их течения по стволу скважины и фильтрации в ПЗП с учетом геомеханических свойств горных пород. С этой целью предложена комплексная система проектирования и сопровождения процесса глушения нефтяных скважин в условиях трещинно-поровых пород-коллекторов, отличительной особенностью которой является учет закономерностей физико-химического, гидравлического и гидродинамического поведения применяемых неньютоновских эмульсионных и полимерных блокирующих составов в системе «скважина – ПЗП».

На рисунке 7 представлена структура комплексной системы проектирования процесса глушения нефтяных скважин в условиях трещинно-поровых пород-коллекторов. Функционирование данной системы обеспечивается за счет разработанного комплекса специализированных программ ЭВМ и баз данных, позволяющих осуществлять подбор наиболее эффективных технологий глушения, оптимизировать компонентный состав ТЖ, прогнозировать динамику изменения технологических параметров процесса глушения, устанавливать условия активации естественных трещин и др.



Рисунок 7 – Комплексная система проектирования процесса глушения нефтяных скважин

При глушении добывающих скважин в осложненных условиях их эксплуатации, как правило, применяются блокирующие составы повышенной вязкости с неньютоновскими свойствами, что влияет на процесс их закачки в скважину (повышенные значения потерь давления на трение) и величину забойного давления (при необходимости продавливания ТЖ в ПЗП). В связи с этим возникает необходимость контроля величины устьевого и забойного давлений в процессе глушения скважины с целью предотвращения ГРП, либо активации естественных трещин и, как следствие, поглощений ЖГС пластом и газопроявлений. С этой целью предложена система сопровождения процесса глушения скважин в осложненных условиях их эксплуатации, включающая алгоритм гидравлического расчета течения ньютоновских и неньютоновских ТЖ по стволу скважины и их фильтрации в ПЗП с учетом напряженного состояния трещин пород-коллекторов.

Предложенная система позволяет прогнозировать изменение технологических параметров процесса закачки жидкостей глушения в скважину, что дает возможность рассчитать динамику устьевого и забойного давлений в скважине в зависимости от применяемого типа ТЖ (ньютоновская/неньютоновская) для предотвращения осложнений – поглощения и газопроявления (рисунок 8).

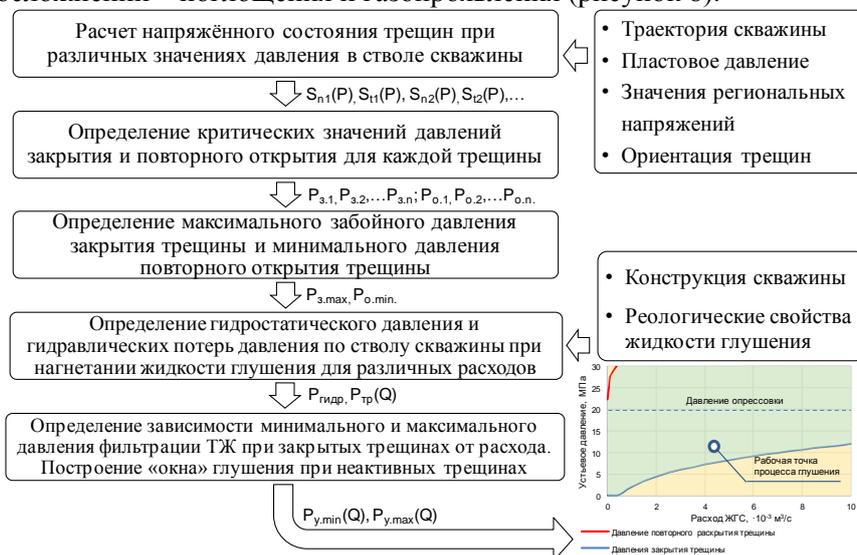


Рисунок 8 – Алгоритм системы сопровождения процесса глушения нефтяных скважин в условиях трещинно-поровых пород-коллекторов

Таким образом, для повышения эффективности глушения скважин в условиях трещинно-поровых пород-коллекторов предлагается осуществлять контроль технологического режима закачки в скважину жидкости глушения с учетом рассчитанного рабочего «окна» устьевых давлений.

Необходимость учета геомеханических параметров пород-коллекторов ПЗП обусловлена также тем, что при глушении скважины с ростом давления на забое будет снижаться эффективное давление в окоскважинной зоне, что может привести к увеличению ее проницаемости. Так по результатам фильтрационных исследований, проведенных в условиях объемного напряженного состояния с

использованием образца керна карбонатной горной породы, были получены зависимости фазовой проницаемости породы-коллектора по воде от эффективного давления при различных значениях горного давления. Согласно полученным результатам, наблюдается рост (в среднем в 1,8 раза) фазовой проницаемости керна по воде в диапазоне снижения эффективного давления с 15 до 9 МПа, что соответствует восстановлению коэффициента аномальности пластового давления от 0,7 до 1 (рисунок 9). Как следствие, будет возрастать риск поглощения ТЖ пластом с последующим газопроявлением.

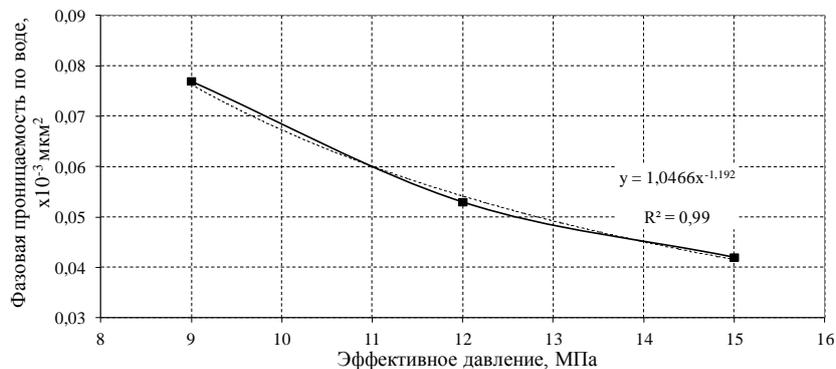


Рисунок 9 – Зависимость фазовой проницаемости карбонатной породы от эффективного давления

В результате моделирования процесса глушения нефтяной скважины в условиях НГКМ с карбонатным коллектором с использованием предложенной комплексной системы сопровождения данного технологического процесса установлена зависимость изменения давления раскрытия трещин ПЗП от напряжений, действующих на стенку нефтяной скважины, при фильтрации эмульсионного и полимерного блокирующих составов (рисунок 10).

Сравнение расчетных параметров процесса глушения скважины с фактическими (промысловыми) данными показало достаточно высокую прогнозную достоверность полученных значений устьевого давления при использовании как водных солевых растворов, так и блокирующих составов с неньютоновскими свойствами.

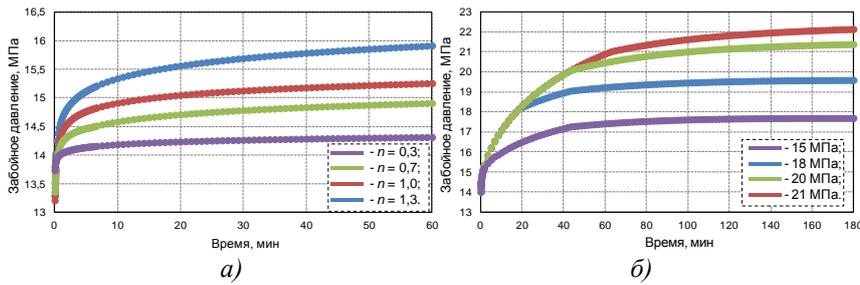


Рисунок 10 – Динамика изменения забойного давления при моделировании процесса глушения нефтяной скважины:
 а) в зависимости от показателя поведения жидкости глушения (n);
 б) в зависимости от давления раскрытия трещин

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно-методические и технологические решения, направленные на повышение эффективности глушения нефтяных скважин перед подземным ремонтом в осложненных условиях их эксплуатации и имеющие существенное значение для развития нефтедобывающей отрасли страны.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. Для повышения эффективности глушения нефтяных скважин перед подземным ремонтом в осложненных условиях их эксплуатации (аномально низкое пластовое давление, трещинно-поровый коллектор, высокий газовый фактор) необходим системный подход, заключающийся в обоснованном выборе наиболее эффективных блокирующих составов и технологий их применения, а также в комплексном моделировании (численном, физическом и промысловом) процессов, происходящих в системе «скважина – ПЗП».

2. Разработан метод комплексного многофакторного анализа промыслового материала для оценки эффективности глушения добывающих скважин. В результате регрессионного анализа установлены факторы, оказывающие влияние на эффективность глушения скважин на нефтегазоконденсатном месторождении с карбонатным коллектором и АНПД.

3. С целью повышения эффективности глушения скважин в условиях трещинно-поровых карбонатных коллекторов Волго-Уральской НГП предложена комплексная модель планирования технологии глушения нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации, заключающаяся в зонировании месторождения по степени геологической неоднородности для подбора типа блокирующего состава.

4. Создан и апробирован современный лабораторно-методический комплекс для физического моделирования процессов глушения и освоения нефтяных скважин с использованием блокирующих составов, предусматривающий экспериментальное определение физико-химических, реологических, блокирующих, газодерживающих и фильтрационных свойств технологических жидкостей в термобарических пластовых условиях с применением стандартного лабораторного оборудования и специально разработанных стендов.

5. Разработан и доведен до промышленного производства совместно с ООО «Синтез-ТНП» эмульгатор гидрофобных эмульсий ЯЛАН-Э2, синтезированный на основе растительных масел и аминов. Эмульсионные составы, приготовленные на основе данного эмульгатора, обладают высокой агрегативной устойчивостью и термостабильностью. Данный реагент способен эмульгировать не только водные солевые растворы, но и кислоты, что позволяет использовать его для получения ТЖ как для глушения скважин, так и их стимуляции, обеспечивая при этом защиту подземного оборудования от коррозии.

6. Разработан комплекс блокирующих эмульсионных и полимерных жидкостей глушения скважин, обеспечивающих сохранение, восстановление и улучшение фильтрационных характеристик ПЗП с различным типом пород-коллекторов. Установлены механизмы, характер и степень влияния данных технологических жидкостей в зависимости от их химического и компонентного состава на фильтрационные характеристики терригенных (для условий Западно-Сибирской НГП) и карбонатных (для условий Волго-Уральской НГП) пород-коллекторов, что позволяет осуществлять направленное регулирование их фазовых проницаемостей при глушении скважин перед подземным ремонтом в различных геоло-

го-физических и технологических условиях разработки нефтяных месторождений.

7. На основе результатов лабораторных фильтрационных и реологических исследований, а также по данным численного моделирования процесса глушения нефтяной скважины установлены зависимости изменения проницаемости матрицы и давления раскрытия трещин карбонатных пород-коллекторов от напряжений, действующих на них при фильтрации жидкостей с ньютоновским и неньютоновским характером поведения.

8. Предложена комплексная система сопровождения процесса глушения нефтяных скважин в осложненных условиях их эксплуатации, включающая алгоритм гидравлического расчета течения ньютоновских и неньютоновских ТЖ по стволу скважины и их фильтрации в ПЗП с учетом напряженного состояния трещин пород-коллекторов. Данная система реализована в виде комплекса специализированных программ и нормативных документов.

9. Для повышения эффективности глушения скважин в условиях трещинно-поровых пород-коллекторов предлагается осуществлять контроль технологического режима закачки в скважину жидкости глушения с учетом рассчитанного согласно разработанному алгоритму рабочего «окна» устьевых давлений.

10. Для сохранения фильтрационных свойств ПЗП в процессе проведения подземного ремонта скважин, оборудованных УЭЦН и находящихся в зонах высокой геологической неоднородности, в качестве альтернативы процессу глушения предложена модель забойного клапана-отсекателя, обладающего рядом преимуществ перед существующими аналогами.

11. В результате промысловых испытаний ряда разработанных технологий глушения нефтяных скважин получен технологический эффект в виде увеличения их дебитов, сокращения сроков вывода на режим эксплуатации, снижения обводненности добываемой продукции. Основным фактором экономического эффекта от реализации разработанных технологий является предотвращенный ущерб от потерь по добыче нефти за счет сокращения количества циклов глушения, уменьшения сроков освоения скважин и вывода их на режим эксплуатации, а также сохранения дебитов по нефти.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Рогачев, М.К. Разработка технологий глушения и стимуляции нефтяных скважин при подземном ремонте / М.К. Рогачев, **Д.В. Мардашов**, К.В. Стрижнев, Ю.В. Зейгман // Нефтегазовое дело. – 2007. – Т. 5. – № 1. – С. 91-94.

2. Рогачев, М.К. Разработка эмульсионных составов для регулирования фильтрационных характеристик призабойной зоны нагнетательных скважин / М.К. Рогачев, **Д.В. Мардашов**, А.Р. Мавлиев, К.В. Стрижнев // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. – № 3. – С. 180-190.

3. Мавлиев, А.Р. Исследование антикоррозионных свойств технологических жидкостей для скважинной добычи нефти / А.Р. Мавлиев, М.К. Рогачев, **Д.В. Мардашов**, К.В. Стрижнев // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. – № 3. – С. 462-471.

4. Мавлиев, А.Р. Разработка гидрофобно-эмульсионного состава для подземного ремонта нефтяных скважин / А.Р. Мавлиев, М.К. Рогачев, **Д.В. Мардашов**, М.В. Наугольников // Записки Горного института. – 2012. – Т. 195. – С. 57-60.

5. Наугольников, М.В. Реологические и фильтрационные исследования эмульсионных составов для применения в потокоотклоняющих технологиях / М.В. Наугольников, М.К. Рогачев, А.Р. Мавлиев, **Д.В. Мардашов** // Записки Горного института. – 2012. – Т. 195. – С. 69-72.

6. Исламов, Ш.Р. Подбор реагентов-эмульгаторов для приготовления инвертно-эмульсионных растворов для глушения скважин / Ш.Р. Исламов, А.В. Бондаренко, **Д.В. Мардашов** // Инженер-нефтяник. – 2018. – № 4. – С. 10-15.

7. Бондаренко, А.В. Комплексная методика исследований по разработке эмульсионных блокирующих составов для глушения добывающих скважин / А.В. Бондаренко, Ш.Р. Исламов, **Д.В. Мардашов** // Территория «Нефтегаз». – 2018. – № 10. – С. 42-49.

8. Шарифов, А.Р. Исследование влияния температуры на процесс фильтрации сверхвязкой нефти и воды в карбонатной породе

/ А.Р. Шарифов, **Д.В. Мардашов** // Нефть. Газ. Новации. – 2019. – № 7. – С. 86-89.

9. Бондаренко, А.В. Лабораторные исследования полимерных составов для глушения скважин в условиях повышенной трещиноватости / А.В. Бондаренко, Ш.Р. Исламов, К.В. Игнатьев, **Д.В. Мардашов** // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2020. – Т. 20. – № 1. – С. 37-48.

10. **Мардашов, Д.В.** Особенности глушения добывающих скважин в условиях аномально низких пластовых давлений / **Д.В. Мардашов**, Ш.Р. Исламов, М.Н. Лиманов // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2021. – № 7 (115). – С. 90-96.

11. Бондаренко, А.В. Оценка эффективности применения блокирующих полимерных составов при глушении нефтяных скважин в условиях карбонатного коллектора и высокого газового фактора / А.В. Бондаренко, **Д.В. Мардашов**, Ш.Р. Исламов // Нефтегазовое дело. – 2022. – Т. 20. – № 1. – С. 53-64.

12. **Мардашов, Д.В.** Технологические жидкости, применяемые для глушения эксплуатационных скважин, осложненных аномально высокими пластовыми давлениями / **Д.В. Мардашов**, М.Н. Лиманов, В.Н. Дурягин, Н.А. Онегов // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2022. – № 7 (127). – С. 42-48.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

13. Кунакова, А.М. Разработка метода подбора блокирующих составов глушения скважин Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения / А.М. Кунакова, Р.Р. Гумеров, В.А. Суковатый, М.К. Рогачев, **Д.В. Мардашов** // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 7. – С. 102-103.

14. **Mardashov, D.V.** Development of blocking hydrophobic-emulsion composition at well killing before well servicing / **D.V. Mardashov**, М.К. Rogachev // Life Science Journal. – 2014. – No. 11(6s). – pp. 283-285.

15. **Mardashov, D.V.** Well killing and stimulation at oil well servicing with hydrophobic emulsion compositions / **D.V. Mardashov**,

M.K. Rogachev // Life Science Journal. – 2014. – No. 11 (6s). – pp. 286-288.

16. **Mardashov, D.V.** Development of well killing technology during well service on oil, gas and condensate fields with carbonate reservoirs / **D.V. Mardashov**, V.Yu. Vasilev // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10. – No. 22. – pp. 43103-43105.

17. Овчаренко, Ю.В. Особенности глушения скважин в условиях трещинно-поровых карбонатных коллекторов Восточного участка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения / Ю.В. Овчаренко, Р.Р. Гумеров, И.Ш. Базыров, А.М. Кунакова, **Д.В. Мардашов**, А.С. Гунькин, В.А. Легкоконец // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 12. – С. 52-55.

18. Legkokonets, V.A. Multifactor analysis of well killing operations on oil and gas condensate field with a fractured reservoir / V.A. Legkokonets, Sh.R. Islamov, **D.V. Mardashov** // Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers: Topical Issues of Rational Use of Mineral Resources. – London: CRC Press / Taylor & Francis Group, 2018. – 2019. – pp. 111-118.

19. Bondarenko, A.V. Features of oil well killing in abnormal carbonate reservoirs operating conditions / A.V. Bondarenko, Sh.R. Islamov, **D.V. Mardashov** // European Association of Geoscientists and Engineers. – 2019. – pp. 629-633.

20. Islamov, Sh.R. A selection of emulsifiers for preparation of invert emulsion drilling fluids / Sh.R. Islamov, A.V. Bondarenko, **D.V. Mardashov** // Proceedings of the XV Forum-Contest of Students and Young Researchers Under the Auspices of Unesco: Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. – London: CRC Press / Taylor & Francis Group, 2019. – 2020. – pp. 487-494.

21. Islamov, Sh.R. Substantiation of a well killing technology for fractured carbonate reservoirs / Sh.R. Islamov, A.V. Bondarenko, **D.V. Mardashov** // Youth Technical Sessions Proceedings: VI Youth Forum of the World Petroleum Council - Future Leaders Forum. – London: CRC Press / Taylor & Francis Group, 2019. – 2019. – pp. 256-264.

22. **Mardashov, D.V.** Specifics of well killing technology during well service operation in complicated conditions / **D.V. Mardashov**,

Sh.R. Islamov, Yu.V. Nefedov // Periodico Tche Quimica. – 2020. – Vol. 17. – No. 34. – pp. 782-792.

23. Islamov, S.R. Polymer compositions for well killing operation in fractured reservoirs / S.R. Islamov, A.V. Bondarenko, A.F. Gabibov, **D.V. Mardashov** // Conference Materials «Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals», 2019. – Saint-Petersburg: CRC Press/Balkema, 2021. – pp. 343-351.

24. **Mardashov, D.V.** Well killing technology before workover operation in complicated conditions / **D.V. Mardashov**, M.K. Rogachev, Yu.V. Zeigman, V.V. Mukhametshin // Energies. – 2021. – Vol. 14 (3). – No. 654. – pp. 1-15.

25. **Mardashov, D.V.** Technology for Improving the Efficiency of Fractured Reservoir Development Using Gel-Forming Compositions / **D.V. Mardashov**, V.N. Duryagin, S.R. Islamov // Energies. – 2021. – Vol. 14. – No. 8254. – pp. 1-14.

26. **Мардашов, Д.В.** Разработка блокирующих составов с кольматантом для глушения нефтяных скважин в условиях anomalно низкого пластового давления и карбонатных пород-коллекторов / **Д.В. Мардашов** // Записки Горного института. – 2021. – Т. 251. – С. 667-677.

27. **Мардашов, Д.В.** Повышение эффективности глушения нефтяных скважин на месторождениях Волго-Уральской нефтегазоносной провинции с anomalно низкими пластовыми давлениями / **Д.В. Мардашов**, М.Н. Лиманов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 7. – С. 185-194.

Публикации в прочих изданиях:

28. **Мардашов, Д.В.** Применение обратных эмульсий в технологиях глушения и стимуляции нефтяных скважин / **Д.В. Мардашов**, М.К. Рогачев // Проблемы геологии и освоения недр: Сб. науч. тр. XII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 100-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири и 90-летию создания Сибгеолкома в России. – Томск: ТПУ, 2008. – С. 454-456.

29. **Мардашов, Д.В.** Обоснование технологий глушения и стимуляции нефтяных скважин при подземном ремонте /

Д.В. Мардашов, М.К. Рогачев // Проблемы ресурсо- и энергосбережения в технологиях освоения трудноизвлекаемых запасов углеводородов: Сб. науч. тр. – Уфа: Монография. – 2009 – С. 298-303.

30. **Мардашов, Д.В.** Применение неионогенных синтезированных поверхностно-активных веществ в технологиях глушения и стимуляции нефтяных скважин / **Д.В. Мардашов**, М.К. Рогачев, М.И. Кузьмин, А.Р. Мавлиев // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Нефтепромысловая химия». – Москва. – 2010. – С. 177-180.

31. **Мардашов, Д.В.** Глушение и стимуляция нефтяных скважин путем направленного регулирования фильтрационных свойств призабойной зоны / **Д.В. Мардашов**, М.К. Рогачев, А.В. Максютин // Научный журнал «Наука и ТЭК». – Тюмень. – 2011. – С. 57-60.

32. **Мардашов, Д.В.** Глушение нефтяных скважин перед подземным ремонтом с применением блокирующего гидрофобно-эмульсионного состава / **Д.В. Мардашов** // Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. – Альметьевск: АГНИ, 2014. – № 1. – С. 91-95.

33. Литвиненко, В.С. От лаборатории до скважины / В.С. Литвиненко, М.К. Рогачев, **Д.В. Мардашов** // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2017. – №3 (63). – С. 42-47.

34. Гумеров, Р.Р. Лабораторные методы и устройства для исследования блокирующих составов глушения скважин / Р.Р. Гумеров, Т.Т. Гвритишвили, **Д.В. Мардашов**, Ш.Р. Исламов // Химическая техника. – 2018. – № 4. – С. 8-10.

35. Окунев, А.В. Разработка скважинного клапана-отсекателя и обоснование его эффективности в сравнении с традиционными методами глушения / А.В. Окунев, А.В. Бондаренко, **Д.В. Мардашов** // Материалы XI Международной научно-практической конференции обучающихся, аспирантов и ученых, посвященной 40-летию филиала ТИУ в г. Нижневартовске «Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса». – Тюмень: ТИУ. – 2021. – С. 305-308.

Патенты:

36. Патент № 2359002 Российская Федерация, МПК С09К 8/42 (2006.01) С09К 8/72 (2006.01). Способ приготовления обратной эмульсии для технологий глушения и интенсификации нефтегазовых сква-

жин: № 2007142132/03 : заявл. 14.11.2007 : опубл. 20.06.2009 / Рогачев М.К., Румянцева Е.А., Стрижнев К.В., Акимов Н.И., Лысенко Т.М., **Мардашов Д.В.**, Безменов М.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)». – 10 с. : ил. 2.

37. Патент № 2414290 Российская Федерация, МПК В01F 17/34 (2006.01). Эмульгатор обратных водонефтяных эмульсий: № 2009133562/04 : заявл. 07.09.2009 : опубл. 20.03.2011 / Рогачев М.К., Нелькенбаум С.Я., Стрижнев К.В., **Мардашов Д.В.**, Мавлиев А.Р.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)», ООО «Синтез ТНП». – 7 с. : ил.

38. Патент № 2736671 Российская Федерация, МПК С09К 8/42 (2006.01). Блокирующий гидрофобно-эмульсионный раствор с мраморной крошкой : № 2020116359 : заявл. 19.05.2020 : опубл. 19.11.2020 / Исламов Ш.Р., **Мардашов Д.В.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – 11 с. : ил.

39. Патент № 2749773 Российская Федерация, МПК Е21В 47/00 (2012.01). Стенд для исследования газодерживающей способности составов, применяемых при подземном ремонте скважин : № 2020139115 : заявл. 30.11.2020 : опубл. 16.06.2021 / Бондаренко А.В., **Мардашов Д.В.**, Куншин А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – 8 с. : ил. 1.

40. Патент № 2757626 Российская Федерация, МПК С09К 8/035 (2006.01). С09К 8/44 (2006.01) Блокирующий биополимерный состав : № 2021112796 : заявл. 30.04.2021 : опубл. 19.10.2021 / Бондаренко А.В., **Мардашов Д.В.**, Исламов Ш.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – 9 с. : ил. 1.

41. Патент на полезную модель № 204950 Российская Федерация, МПК Е21В 34/06 (2006.01). Клапан-отсекатель для подземного ремонта скважин : № 2021104754 : заявл. 25.02.2021 : опубл. 21.06.2021 / Окунев А.В., Бондаренко А.В., **Мардашов Д.В.**, Кузьмин М.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – 8 с. : ил. 2.

42. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615706 Российская Федерация. Программа для подбора и расчета основных параметров жидкостей глушения скважины

при подземном ремонте : № 2020614852 : заявл. 27.05.2020 : опубл. 29.05.2020 / Исламов Ш.Р., Милич Йована, **Мардашов Д.В.** ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – 1 с.

43. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020616170 Российская Федерация. Программа для подбора фракционного состава мраморной крошки для блокирующей углеводородной жидкости глушения нефтяной скважины в условиях трещинно-порового коллектора : № 2020614936 : заявл. 27.05.2020 : опубл. 11.06.2020 / Исламов Ш.Р., Милич Йована, **Мардашов Д.В.** ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – 1 с.

44. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613106 Российская Федерация. Программа для моделирования активации естественных трещин при глушении скважин : № 2020611831 : заявл. 19.02.2020 : опубл. 10.03.2020 / Гунькин А.С., **Мардашов Д.В.** ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – 1 с.

45. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615617 Российская Федерация. Программа для расчета технологических параметров закачки жидкости в скважину на основе реологических данных : № 2020614478 : заявл. 18.05.2020 : опубл. 27.05.2020 / Раупов И.Р., Бондаренко А.В., **Мардашов Д.В.** ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – 1 с.

46. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022621272 Российская Федерация. База данных современных технологий глушения нефтяных и газовых скважин : № 2022621003 : заявл. 12.05.2022 : опубл. 01.06.2022 / **Мардашов Д.В.**, Исламов Ш.Р., Султанбеков Р.Р. ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – 1 с.

47. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022621227 Российская Федерация. База данных технологических жидкостей для текущего и капитального ремонта скважин : № 2022621013 : заявл. 12.05.2022 : опубл. 27.05.2022 / **Мардашов Д.В.**, Исламов Ш.Р., Султанбеков Р.Р. ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – 1 с.