



УТВЕРЖДАЮ



Генеральный директор

ООО «БурСервис»

И.И. Пинигин

«21» марта 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общества с ограниченной ответственностью «БурСервис» (ООО «БурСервис»)

на основании решения заседания Научно-технического совета ООО «БурСервис».

Председатель заседания Научно-технического совета – Ребриков А.А., кандидат технических наук.

Секретарь заседания Научно-технического совета – Левин Д.Н., кандидат технических наук.

Диссертация «**Интегрированное проектирование многозонного гидроразрыва пласта низкопроницаемых коллекторов**» выполнена в отделе геологии и разработки нефтегазовых месторождений общества с ограниченной ответственностью «БурСервис» **Астафьевым Владимиром Николаевичем** 1967 года рождения, гражданство РФ.

В период подготовки диссертации **В.Н. Астафьев работал** в ООО «Технологии ВФТ» техническим директором (с 2011 г.), в российском филиале компании «Халлибуртон Интернешнл Инк.» менеджером по внедрению новых технологий (с 2013 г.), в российском филиале компании «Халлибуртон Интернешнл ГмбХ» ведущим экспертом по интенсификации добычи нефти и газа (с 2018 г.), в ООО «БурСервис» ведущим экспертом по интенсификации добычи нефти и газа (с 2022 г. по настоящее время).

В 1991 г. соискатель окончил Новосибирский государственный университет по специальности геофизические методы поиска и разведки полезных ископаемых с присвоением квалификации геофизик.

В 2023 г. Владимир Николаевич прикреплен для подготовки диссертации на соискание учёной степени к федеральному государственному бюджетному учреждению науки Институту нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения российской академии наук (ИНГГ СО РАН). Справка о сдаче кандидатских экзаменов №27, Исх.№15350-101-6525 от 25.09.2023 выдана в ИНГГ СО РАН.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук Митрофанов Георгий Михайлович, ведущий научный сотрудник лаборатории динамических проблем сейсмики ИНГГ СО РАН.

Текст диссертации был проверен в системе «Антиплагиат» и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

Материалы диссертации представлены соискателем на заседании научно-технического совета ООО «БурСервис» 21.03.2024, протокол №1.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

члены Научно-технического совета (НТС) по списочному составу:

Ребриков А.А., председатель НТС, заместитель начальника отдела по производству, департамент долотного и керноотборного сервиса, к.т.н.; Левин Д.Н., секретарь НТС, консультант по геологии, отдел геологии и разработки к.т.н.; Пинигин И.И., генеральный директор; Харитонов А.Б., руководитель отдела буровых растворов, Сахалин, к.х.н.; Лященко Т.В., руководитель отдела геологии и разработки нефтегазовых месторождений; Попов М.М., советник по отраслевым решениям в геологии и геофизике, отдел цифровых решений; Ельцов И.С., руководитель отдела главного механика; Осипов И.С., руководитель отдела трубопроводного транспорта; Майсюк Д.М., консультант по разработке, отдел геологии и разработки месторождений; Пинчук Ю.А., консультант по петрофизике, отдел геологии и разработки нефтегазовых месторождений; Верте Д.А., руководитель отдела буровых растворов; Кузнецов А.Ю., директор по развитию бизнеса; Нуйкин А.М., ведущий специалист по локализации, отдел заканчивания скважин.

ВОПРОСЫ ЗАДАЛИ:

Харитонов А.Б., Левин Д.Н., Ребриков А.А., Кузнецов А., Попов М.М., Нуйкин А.М.

ВЫСТУПЛЕНИЯ, ОБСУЖДЕНИЯ:

Левин Д.Н., Ребриков А.А., Попов М.М. Пинигин И.И., Лященко Т.В., Харитонов А.Б.

С диссертацией знакомились специалисты-эксперты:

к.т.н. Левин Д.Н., к.т.н. Ребриков А.А., к.х.н. Харитонов А.Б.

Специалисты-эксперты дали положительную оценку диссертационной работе Астафьева В.Н.

По итогам обсуждения диссертационного исследования **«Интегрированное проектирование многозонного гидроразрыва пласта низкопроницаемых коллекторов»**, представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 «геофизика», принято следующее заключение:

Объект исследования – многозонный гидравлический разрыв пласта.

Актуальность темы диссертационного исследования объясняется тем, что большинство новых месторождений углеводородов с трудноизвлекаемыми запасами и месторождений на поздней стадии разработки таковы, что их экономически эффективная эксплуатация возможна только с помощью горизонтальных скважин с многозонными ГРП, а разработка низкопроницаемых залежей в настоящее время рассматривается, в основном, в контексте многозонного ГРП. Эффективность разработки месторождений многозонными ГРП во многом определяется оптимальностью моделирования трещин гидроразрыва и оптимальностью конструкции скважин. С момента первых экспериментальных работ, моделирование ГРП развивалось на протяжении последних 70 лет многими российскими и зарубежными авторами от

простейших моделей (Христианович, Желтов, Geertsma, de Klerk, Perkins, Kern, Nordgren) до псевдотрехмерных (McLennan, Meyer, Cleary, Settari и др.) и современных трехмерных моделей (Barree, Abu-Sayed и др.). Стимуляция низкопроницаемых коллекторов предполагает максимизацию зоны дренирования путем создания нескольких трещин с большой геометрией и высокими фильтрационными параметрами. Азимуты и геометрия трещин МГРП, их пространственное расположение и фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) во многом определяют эффективность дренирования коллектора, и оптимизация этих параметров является важнейшей задачей при моделировании МГРП. Воздействие гидроразрыва на низкопроницаемый коллектор может создавать водные экраны, вызывать набухание глин, коагулировать притрещинную зону пласта, образовывать эмульсии и гидраты, что оказывает значительное ухудшение ФЕС пластов. Поэтому эти процессы являются важным фактором и должны учитываться при проектировании и производстве ГРП. Для корректного моделирования МГРП необходимо комплексное использование более точных геологических и геомеханических данных об объектах разработки и современные программные средства, учитывающие все нюансы МГРП. В настоящий момент в современной российской нефтяной индустрии особый акцент делается на совершенствование методов строительства и заканчивания горизонтальных скважин, модернизации технологий изоляции интервалов и многозонных обработок, а процессам моделирования и оптимизации МГРП уделяется меньше внимания. Поскольку в отличие от одиночного ГРП, многозонный гидроразрыв является конечной стадией строительства скважины, то все операции – бурение, ГИС, заканчивание и эксплуатация должны быть нацелены на создание условий для максимальной эффективности проведения многозонного гидроразрыва, как фактора обеспечения оптимальной добычи углеводородов. Моделирование МГРП, в данном случае, определяет процессы проектирования и строительства скважин, технологии контроля интенсификации и добычи углеводородов, системы разработки месторождений.

Введение санкций накладывает ограничения не только на импорт оборудования и технологий, но и на доступность программного обеспечения для моделирования МГРП. На сегодняшний день в России нет полных трехмерных коммерческих симуляторов ГРП, и в ближайшей перспективе нужно рассматривать проектирование ГРП с использованием Planar3D или Pseudo3D моделей.

Развитие методики интегрированного проектирования МГРП на основе трехмерных моделей, построенных на комплексировании геофизических, геологических, геомеханических и геохимических моделей является актуальной задачей на всех стадиях разработки низкопроницаемых коллекторов, что и определило цель данной работы.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Автором усовершенствована методика моделирования ГРП на основе интеграции трехмерных геологических, геомеханических, гидродинамических моделей и одномерных петрофизической и геохимической моделей. В соавторстве с А.А. Андреевым разработана методика автоматизированной оптимизации МГРП. При разработке данных методик автором было показано, что для корректного проектирования МГРП в низкопроницаемых коллекторах необходим дополнительный комплекс ГИС, исследований кернового материала и жидкостей гидроразрыва. На основании этих методик автором разработан подход к интегрированному проектированию МГРП в низкопроницаемых коллекторах. Данный подход позволил

разработать технологии многозонного высокоскоростного гидроразрыва низкопроницаемых высокотемпературных нефтяных пластов и многозонного гидроразрыва низкопроницаемых низкотемпературных газовых пластов. В процессе подготовки опытных работ, автор предложил и разработал модели ГРП и МГРП, системы жидкостей ГРП для обработок высокотемпературных и низкотемпературных коллекторов. Большинство результатов по построению моделей МГРП, изложенных во второй главе, получены автором самостоятельно. Трехмерные геомеханические и гидродинамические модели построены профильными специалистами и скорректированы на основании рекомендаций автора, полученных в процессе построения моделей ГРП, проведения лабораторных исследований и пилотных обработок скважин. Результаты, представленные в третьей главе, получены автором в процессе подготовки и проведении пилотных работ, анализе результатов экспериментов и корректировке моделей. Автоматизированная оптимизация МГРП тюменской свиты выполнена в соавторстве с А.А. Андреевым. Опытно-промышленные многозонные обработки скважин, спроектированные на основе интегрированного подхода и представленные в четвертой главе, проведены при непосредственном участии автора в проектировании, корректировке моделей и проведении экспериментов. Микросейсмический мониторинг МГРП, гидродинамические испытания скважин и трассерные исследования получены специализированными компаниями, в силу их специфики, сложности и уникальности, но их проведение планировалось при непосредственном участии автора, а результаты использовались автором для уточнения и корректировки результатов экспериментов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Высокая степень достоверности полученных научных результатов определяется использованием современных подходов, программного обеспечения и технологий моделирования гидроразрыва. По результатам моделирования МГРП проведены многозонные обработки газовых скважин в туронском ярусе с использованием углеводородных жидкостей гидроразрыва с подтверждением данных моделирования методами ГИС и ГДИС. Также проведены опытные МГРП нефтяных скважин тюменской свиты с подтверждением данных моделирования методами ГИС и использованием этих данных для проектирования и проведения высокоскоростных многозонных обработок.

Научная новизна результатов проведенных исследований

На основе интеграции петрофизических, геохимических и трехмерных геомеханических, геологических и гидродинамических моделей Усовершенствована методика моделирования многозонного гидроразрыва пласта.

Разработана методика автоматизированной оптимизации многозонного гидроразрыва при помощи интеграции моделирования ГРП и гидродинамического моделирования.

Предложен и реализован подход к проектированию многозонного гидроразрыва пласта для низкопроницаемых коллекторов на основе усовершенствованной методики трехмерного моделирования и методики автоматизированной оптимизации МГРП.

Обоснована необходимость дополнительных исследований керна и ГИС для корректного проектирования многозонного гидроразрыва низкопроницаемых коллекторов.

Практическая значимость проведенных исследований

Предложен подход к проектированию многозонного гидроразрыва пласта для низкопроницаемых коллекторов, включающий усовершенствованную методику моделирования и методику автоматизированной оптимизации МГРП.

Усовершенствована методика моделирования МГРП в низкопроницаемых коллекторах на основе комплексирования данных 3D-геологических, геофизических, 3D-геомеханических, 3D-гидродинамических и геохимических моделей.

Показано, что для моделирования МГРП низкопроницаемых коллекторов необходим расширенный комплекс исследований скважин для получения достоверной информации.

Разработана методика автоматизированной оптимизации МГРП и установлены его отличия от стандартной методики оптимизации.

Показана возможность моделирования многозонного ГРП и его совершенствования с использованием стандартной и усовершенствованной методик оптимизации МГРП. Определены их отличия и применимость при проектировании МГРП.

На основе разработанного подхода построены модели и проведены первые в России МГРП с жидкостью на углеводородной основе на низкотемпературных газовых пластах туронского яруса.

С использованием разработанного подхода проведены исследования скважин, спроектированы и проведены многозонные обработки высокотемпературных нефтяных пластов, на основе которых построены модели и проведены первые в России высокоскоростные МГРП тюменской свиты, ставшие основой для технологии разработки нетрадиционных запасов баженовской свиты.

Ценность научных работ соискателя ученой степени состоит в развитии метода гидравлического разрыва пласта, а именно, его применения для разработки трудноизвлекаемых запасов углеводородов.

Внедрение результатов диссертационного исследования в практику

Разработанный подход проектирования МГРП может быть использован для проектирования систем разработки месторождений трудноизвлекаемых запасов углеводородов и проектирования стимуляции отдельных скважин. При этом, интерес может представлять как подход в целом, так и его отдельные элементы в виде усовершенствованной методики моделирования и автоматизированной методики оптимизации МГРП. Кроме того, эксперименты по определению параметров геологической среды, проведенные в рамках данной работы, могут использоваться в качестве базовых при разработке технологий МГРП на других месторождениях.

Научная специальность, которой соответствует диссертация. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.9 «Геофизика», «Использование геолого-геофизических данных для построения цифровых геологических, гидродинамических, геодинамических и иных моделей геологической среды и месторождений».

Материалы диссертации полностью изложены в 16 научных работах, в том числе: в 3 статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, рекомендованных Минобрнауки России для публикации результатов диссертаций («Газовая промышленность», «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и

нефтепродуктов», «Территория «НЕФТЕГАЗ»); в 11 статьях в зарубежных изданиях, включенных в международную реферативную базу данных Scopus и базу РИНЦ; в 2 статьях в российских нефтегазовых журналах.

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. ГРП в туронской газовой залежи / Ю.А. Мажирин, **В.Н. Астафьев** [и др.] // Газовая промышленность. – 2020. – Специальное издание. – С. 32–33.

Соискатель лично разработал подход к проектированию МГРП на туронских низкотемпературных газовых залежах, курировал весь проект (геомеханика, петрофизика, моделирование ГРП, исследования керна и жидкостей, полевые работы) от начала до завершения. Разработал методики тестирования и процедуры проведения обработок. В результате выполненных исследований соискатель разработал технологию МГРП в низкотемпературных газовых пластах. Описанный подход по проектированию и результаты выполненного многостадийного ГРП легли в основу формирования стратегии разработки туронской газовой залежи Южно-Русского месторождения. Практику проведения многостадийного ГРП туронской газовой залежи рекомендовано продолжить. Технология МГРП предложена как альтернатива множеству скважинам для разработки низкопроницаемых туронских залежей.

2. **Астафьев В.Н.** Роль геофизических исследований в скважинах в эволюции парадигмы гидравлического разрыва пласта / В.Н. Астафьев, И.Н. Ельцов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2022. – Вып. 6 (140), – С. 9–37. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2022-6-9-37>.

Соискателем лично проведен анализ развития методов ГРП и ГИС в мире и представлена обзорная работа по их эволюции взаимному развитию. Данная работа является одной из немногих обзорных статей описывающих становление методов ГРП и ГИС. В настоящее время гидравлический разрыв пласта (ГРП) является основным методом стимуляции скважин для повышения эффективности разработки месторождений углеводородов. Развитие ГРП основано на интеграции методов математического и численного моделирования, геомеханики, гидродинамики, геохимии и геофизики. Особое место в этом ряду занимают геофизические методы исследования в скважинах (ГИС), являющиеся основным источником данных для моделирования и методом контроля, а также оценки результатов проведения ГРП. Развитие технологий гидроразрыва пласта требует совершенствования геофизических методов исследования в скважинах, а методы ГИС, в свою очередь, пополняются технологиями, использующими гидроразрыв для определения параметров пластов. Прогресс в понимании процесса ГРП и привел к расширению области применения гидроразрыва. В настоящее время с помощью ГРП решаются многие задачи – очистка призабойной зоны пласта, стимуляция нагнетательных скважин, утилизация отходов бурения, ГРП угольных пластов и технологические ГРП. В статье рассмотрены основные этапы развития метода гидроразрыва пласта и роль геофизических методов исследования в скважинах в эволюции парадигмы ГРП. Показано их взаимное влияние и совершенствование метода ГРП на основе привлечения данных ГИС и наоборот – совершенствование геофизических методов исследования в скважинах для обеспечения потребностей ГРП. В работе выделено несколько основных этапов в истории развития гидравлического разрыва

пласта. Показано как методы ГИС позволили переосмыслить роль и место ГРП как основного способа интенсификации притока при добыче углеводородов.

3. **Астафьев В.Н.** Комплексирование геофизических, петрофизических и геомеханических методов для построения модели гидравлического разрыва низкопроницаемых коллекторов на примере туронских и юрских отложений Западной Сибири / В.Н. Астафьев, В.В. Воробьев, М.И. Самойлов // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2023. № 1–2. С. 40–48.

Соискателем лично показано, что низкопроницаемые пласты требуют создания эффективного механизма дренирования при помощи трещин ГРП или МГРП, при этом жидкость гидроразрыва может значительно ухудшать ФЕС пород и негативно влиять на эффективность отбора углеводородов. Соискателем лично разработана и представлена методика построения модели гидроразрыва пласта для низкотемпературных газовых и высокотемпературных нефтяных залежей, основанная на комплексировании различных методов исследований, источников данных и подходов к проектированию процессов гидроразрыва пласта. Также в работе показан процесс корректировки дизайна гидроразрыва пласта на каждой стадии, от проектирования до выполнения обработки на скважине, и перенос модели в дизайн многозонного гидроразрыва пласта в горизонтальной скважине. На стадии реализации многозонного гидроразрыва пласта показано применение методов ГИС и ГДИС для контроля параметров трещины ГРП калибровки модели ГРП, адаптации дизайна и программы работ при проведении последующих обработок. Показан общий подход к исследованию и моделированию гидроразрыва для залежей с совершенно различными геолого-геофизическими характеристиками. Соискатель лично разработал большинство технологических решений, приведенных в статье. Результаты работы представлены соискателем на российских форумах по ГРП и корпоративных конференциях.

в рецензируемых международных изданиях, входящих в базу данных научного цитирования SCOPUS и российскую библиографическую базу данных РИНЦ:

4. Expanding the Hydraulic Fracturing Options on Reservoirs With Water Zones in Western Siberia / A. Mendez, Y. Mazhirin, **V. Astafyev** [et al.] // Society of Petroleum Engineers - SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA, February 15–17, 2012. – Lafayette: Society of Petroleum Engineers, 2012. – URL: <https://doi.org/10.2118/149994-MS>.

Соискатель, в соавторстве с Ю. Мажириным, разработал технологию ограничения высоты трещины ГРП. При производстве ГРП вблизи обводненных интервалов возникает риск прорыва трещины ГРП в водоносный пласт, что приводит к снижению добычи углеводородов. Технология испытана авторами на месторождениях ПАО «ЛУКОЙЛ» и рекомендована к тиражированию. Технология используется в настоящее время. Соискатель лично участвовал в разработке технологии, испытании на месторождении, проведении анализа работ и подготовке материалов для публикации. Результаты представлены на международной конференции в г. Лафаетт, США.

5. Kaluder Z. First High-Rate Hybrid Fracture in Em-Yoga Field, West Siberia, Russia. / Z. Kaluder, ... **V. Astafyev** [et al.] // Proceedings of the Annual Offshore Technology Conference, Kuala Lumpur, March 25–28, 2014. – Kuala Lumpur: 2014. – URL: <https://doi.org/10.4043/24712-MS>.

Соискатель в соавторстве с М. Самойловым разработал технологию высокоскоростного МГРП. Данная технология обеспечивает развитие трещины ГРП по высоте и приобщение к зоне дренирования всех продуктивных пропластков в гетерогенном слоистом коллекторе. В статье рассмотрены вопросы дизайна ГРП, заканчивания горизонтальной скважины и применения гибридных жидкостей гидроразрыва. Соискатель лично предложил концепцию высокоскоростного МГРП на основе интегрированного подхода к проектированию гидроразрыва, участвовал в подготовке дизайнов обработки и проектировании скважины. Непосредственно на месторождении курировал проведение обработки скважины, проводил анализ мини-ГРП и основной обработки. Работа представлена на международной Азиатской технологической оффшорной конференции в Куала-Лумпур, Малайзия.

6. Multistage Refracture in a Horizontal Well Using Flow-Diverting Technology / **V. Astafyev**, M. Lahman, P. Chaburdo [et al.] // Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition 2016, Moscow, 24–26 October 2016. – Moscow: Society of Petroleum Engineers, 2016. – URL: <https://doi.org/10.2118/182112-MS>.

Истощение пласта в процессе эксплуатации и сложность организации системы поддержания пластового давления (ППД) требуют проведения повторной стимуляции с закачкой больших объемов пропанта и увеличения зоны дренирования. Соискатель предложил применение потокоотклоняющих технологий с использованием биоразлагаемых отклонителей жидкости ГРП, что является хорошей альтернативой механическим изолирующим системам из-за их сложности и высокой стоимости. При невысокой стоимости, технологии с использованием химических отклонителей потока требуют тщательной адаптации процессов, подбора химических реагентов и последовательности обработки. Соискатель лично инициировал опытно-промышленные работы, подобрал скважины-кандидаты, подготовил дизайны МГРП, курировал проведение обработки и провел полный анализ полученных результатов. В работе показан пример первого в России повторного МГРП с отклонителями потока на месторождении в Западной Сибири. Описаны основные приемы повторного МГРП, технология закачки динамического отклонителя и пропанта, проведения ПГИ для оценки результатов обработки. Приведены результаты обработки и рекомендации для последующих работ. Работа представлена соискателем лично на Международной конференции SPE в Москве в 2016 году.

7. 3D Fracture Modeling and Fracture-Height Mapping Using Different Logging Methods in the Vertical Well / A. Chernyshev, M. Podberezhy, **V. Astafyev** [et al.] // Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition 2016, Moscow, October 24–26, 2016. – Moscow: Society of Petroleum Engineers (SPE), 2016. – URL: <https://doi.org/10.2118/182117-MS>.

Моделирование корректной геометрии трещины в симуляторах ГРП достаточно сложно. Картирование трещины позволяет снизить степень неопределенности и скорректировать модель ГРП в симуляторе. Для картирования высоты трещины могут быть использованы акустический и температурный каротажи, а также импульсный нейтронный каротаж в комплексе с «меченым» (NRT) пропантом. Соискатель с соавторами спроектировал обработку ГРП с комплексной экспериментальной оценкой высоты трещины методами ГИС. Соискатель лично провел сравнение результатов моделирования трещины ГРП в псевдотрехмерных (P3D) и трехмерных (3D) симуляторах

с результатами всех исследований по картированию высоты трещины, выполненных в одной скважине. Анализ данных ГИС позволил оценить степень прорыва трещины ГРП из нефтеносного пласта через глинистый барьер в водоносный горизонт. Интерпретация данных кросс-дипольного акустического каротажа, характеризующего нарушение сплошности среды, совпадает с интерпретацией данных 2ИННК, отражающей размещение NRT проппанта в призабойной зоне трещины ГРП. Анализ забойного давления и сопоставление добычи перед и после ГРП также подтверждают высоту трещины, измеренную двумя данными методами. Эксперимент показал, что 3D моделирование позволяет более точно рассчитывать высоту трещины ГРП, чем Р3D. Работа представлена на Московской международной нефтегазовой конференции SPE в 2016 году.

8. Massive Hydraulic Fracturing Using Linear Pads in the Achimov Reservoirs at the Urengoy Field. / D. Zolnikov, **V. Astafyev**, I. Eltsov [et al.] // Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition 2016, Moscow, 24–26 October 2016. – Moscow: Society of Petroleum Engineers (SPE), 2016. – URL: <https://doi.org/10.2118/182110-MS>.

Соискатель лично принимал участие в разработке и анализе применения технологии гибридных ГРП ачимовских газовых залежей. Данная технология опробована при закачке большеобъемных ГРП на газовых скважинах Уренгойского месторождения с целью оптимизации обработок ГРП. В работе описаны примеры применения модифицированных закачек ГРП для повышения эффективности добычи из низкопроницаемых ачимовских газовых пластов. Показаны различные эффекты увеличения дебита в зависимости от ФЕС пласта и типа обработки ГРП. Работа представлена на Московской международной нефтегазовой конференции SPE в 2016 году.

9. Efficiency Analysis of Massive Fracturing with Linear Gel Pad on the Achimov Formation of the Urengoy Field / D. Shturn, N. Zavyalov, D. Perfilyev..., **V. Astafyev** [et al.] // Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference 2018, RPTC 2018, Moscow, 15–17 October 2018. – Moscow: Society of Petroleum Engineers, 2018. – URL: <https://doi.org/10.2118/191656-18RPTC-MS>.

Анализ большого количества обработок, а также применение инструментов мониторинга и геофизических исследований скважины, в том числе мониторинг забойной температуры и давления в режиме реального времени во время проведения ГРП и притокометрии после продолжительной отработки скважины, предоставляют возможность сравнить и оценить эффективность массивных ГРП с применением линейных подушек. В статье представлено сравнение результатов геофизических исследований после проведенных работ по ГРП и последующий анализ продуктивности скважин. Данный опыт работы дает понимание о рисках и эффективности ГРП, как на Ачимовских пластах Уренгойского месторождения, так на схожих низкопроницаемых газовых коллекторах. Соискатель лично курировал проведение работ и провел анализ данных эксперимента. Работа представлена на Московской международной нефтегазовой конференции SPE в 2018 году

10. Valiullin A. Improving the Effectiveness of Multi-Stage Hydraulic Fracturing in Horizontal Wells by Fracture Height Restriction / A. Valiullin, **V. Astafyev**, I. Osipov // Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference 2019, RPTC 2019, Moscow, 22–24

October 2019. – Moscow: Society of Petroleum Engineers (SPE), 2019. – URL: <https://doi.org/10.2118/196986-MS>.

Соискатель является одним из разработчиков технологии ограничения высоты трещины ГРП. Данная работа направлена на адаптацию этой технологии для проведения МГРП на горизонтальных скважинах. Соискатель, в соавторстве, адаптировал технологии для применения в горизонтальных скважинах и лично провел анализ полученных результатов. Проведенные эксперименты показали успешность технологии и возможность её тиражирования на другие месторождения компании. Работа представлена соискателем лично на международной нефтегазовой конференции в Москве.

11. A Decade of Multi-Zone Fracturing Treatments in Russia / **V. Astafyev**, E. Fedorov, M. Samoilov [et al.] // Society of Petroleum Engineers - SPE Symposium: Hydraulic Fracturing in Russia. Experience and Prospects 2020, Virtual, Online, 22–24 September 2020. – Virtual, Online, 2020. – URL: <https://doi.org/10.2118/203883-MS>.

Соискатель является участником или руководителем большинства проектов, приведенных в обзорной работе, и лично внедрил впервые в России многие из описанных технологий МГРП (высокоскоростной МГРП, гибридный МГРП, повторный МГРП с отклонением, точечный многозонный ГРП, МГРП на углеводородной основе), разработал и усовершенствовал процедуры подготовки и проведения МГРП. Многостадийный ГРП дал новый импульс для развития рынка гидроразрыва пласта в России. Данная работа показывает эволюцию методов многозонной стимуляции горизонтальных скважин за последнее десятилетие в России. Приведены примеры многозонных обработок по различным технологиям на различных месторождениях. Анализ проведенных работ показывает, как кооперация современных методов бурения, заканчивания, стимуляции, контроля и добычи позволили экономически эффективно разрабатывать трудноизвлекаемые запасы. А развитие методов многозонной стимуляции скважин привело к появлению на рынке новых технологий заканчивания горизонтальных скважин, картирования трещин ГРП, контроля добычи и разработки месторождений. Также в статье приведена оценка перспективного развития и применения многозонных технологий. Работа представлена соискателем лично на международной нефтегазовой конференции в Москве.

12. Andreev A. Integrated Approach to Multistage Fracturing Design / A. Andreev, **V. Astafyev**, M. Samoilov // Society of Petroleum Engineers - SPE Symposium: Hydraulic Fracturing in Russia. Experience and Prospects 2020, Virtual, Online, 22–24 September 2020. – Virtual, Online, 2020. – URL: <https://doi.org/10.2118/203896-MS>.

Соискатель является соавтором методики автоматизированной оптимизации многозонного ГРП, где сначала выбирается заканчивание скважины, включая предварительные параметры трещин, а затем рассчитываются параметры оптимальной обработки. Для этого исследования соискателем лично разработана программа МГРП в горизонтальной скважине с закачкой «трассеров» для определения притока из каждой зоны, рассчитаны предварительные модели трещин МГРП. В гидродинамической модели пласта трещины смоделированы явно с использованием неструктурированной сетки. Проведена оценка множественных сценариев с различными закачиваниями скважины и параметрами трещин. Авторский подход представляет практическое решение поставленных задач как в части достоверного моделирования ГРП (в т.ч. с достоверной

оценкой дебита), так и актуальных задач полномасштабного и секторного моделирования разработки месторождений. Работа представлена на российском семинаре ГРП и на ежегодной конференции ПАО «НК Роснефть» и на международной конференции SPE.

13. Multistage Hydrocarbon-Based Fracturing in Tight Gas Formation / **V. Astafyev**, M. Lushev, A. Mitin [et al.] // Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference 2020, RPTC 2020, Virtual, Online, 26–29 October 2020. – Virtual, Online, 2020. – URL: <https://doi.org/10.2118/202050-MS>.

В данной работе рассмотрен подход к выбору технологий заканчивания и стимуляции горизонтальных скважин для низкотемпературных и низкопроницаемых газовых залежей с незначительным коэффициентом аномальности пластового давления. Также показана апробация технологии ГРП на углеводородной основе на пилотной вертикальной скважине и её адаптация к многозонной горизонтальной скважине. Соискатель лично предложил подход к выбору технологии ГРП и комплексу необходимых исследований для реализации проекта. Курировал исследования керна, тестирование жидкостей ГРП и пластовых жидкостей, подбора рецептуры гелей для выбора технологии интенсификации. На основании петрофизических и геомеханических исследований построил модели пластов и модели ГРП. Соискатель лично участвовал в проведении полевых экспериментов и анализе данных. По результатам пилотных работ соискатель провел корректировку моделей для горизонтальной скважины и участвовал в проведении МГРП с микросейсмическим мониторингом азимутов и геометрии развития трещин. Разработанная и испытанная технология рекомендована добывающей компанией к использованию на месторождении. Работа представлена соискателем лично на московской международной нефтегазовой конференции.

14. Samoilov M. I. Multistage Hydraulic Fracturing of the Tyumen Suite Reservoirs of Em-Yogovskoye Field: Frac-Design, Practice, Results. / M. I. Samoilov, **V. N. Astafyev**, E. F. Musin // Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference 2021, RPTC 2021, Virtual, Online, 12–15 October 2021. – Virtual, Online, 2021. – URL: <https://doi.org/10.2118/206651-MS>.

Соискатель является разработчиком концепции первых в России МГРП на горизонтальных скважинах, которые легли в основу работы. Соискатель лично провел анализ многозонных обработок и подготовил часть заключений для работы. В работе представлена система подходов к проектированию и инженерному сопровождению многостадийных ГРП. Описывается, как систематизация подходов, методических разработок и шаблонов решений могут помочь в оптимизации разработки месторождения методами бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин с последующим проведением многостадийных ГРП. Кратко представлена последовательность событий и задач, послуживших причиной разработки методик, а также перспективы их развития. Методики были разработаны при выполнении проекта гидроразрыва пластов ЮК 2-9 тюменской свиты Ем-Ёговского месторождения, после чего нашли применение на ряде других проектов разработки трудноизвлекаемых запасов углеводородов в Западной Сибири.

В иных изданиях:

15. Астафьев В. Разработка трудноизвлекаемых запасов углеводородов: высокоскоростной МГРП тюменской свиты Ем-Ёговского месторождения / В. Астафьев, М. Самойлов // Инженерная практика – 2015. – №05. – С.46–54.

С началом строительства многозонных горизонтальных скважин в России возникла проблема вовлечения всего коллектора в добычу. В предлагаемой статье рассматривается опыт гидравлического разрыва низкопроницаемого пласта юрской группы, осложненного высокой расчлененностью. Соискатель лично разработал концепцию высокоскоростного МГРП, построил модели, руководил полевыми экспериментами по проведению первого в России высокоскоростного МГРП на горизонтальной скважине и провел анализ многозонных обработок. Однако выбор в пользу высокоскоростного МГРП обусловлен не только этой задачей: данная технология рассматривается в качестве одного из основных решений для разработки баженовской свиты. Поэтому полученный опыт стал важным этапом перехода к качественному проектированию МГРП баженовской свиты и был необходим для исследования технологических нюансов. Статья опубликована по материалам доклада, представленного лично соискателем, на всероссийском семинаре по ГРП.

16. Астафьев В. 3D моделирование трещины ГРП: Сравнительный анализ результатов картирования высоты трещины различными геофизическими методами / В. Астафьев, А. Чернышев, М. Подбережный // Oil & Gas Journal Russia. – 2017. – №12 (122). – С. 58–63.

Соискатель лично разработал модели ГРП в псевдотрехмерных и трехмерных симуляторах, участвовал в постановке эксперимента и сравнительном анализе экспериментальных данных по картированию высоты трещины различными методами ГИС. Картирование трещины ГРП позволяет снизить степень неопределенности и скорректировать модель ГРП в симуляторе. Для картирования высоты трещины использованы акустический и температурный каротажи, а также импульсный нейтронный каротаж в комплексе с «меченым» (NRT) пропаном. В статье приведено сравнение данные по моделированию трещины ГРП в псевдотрехмерных (P3D) и трехмерных (3D) симуляторах ГРП с результатами всех вышеупомянутых исследований по картированию высоты трещины, выполненных в одной скважине. Сравнительный анализ показал, что 3D моделирование позволяет более точно рассчитывать высоту трещины ГРП, чем P3D и подтверждается измерениям акустического и импульсного нейтронного каротажа. Интерпретация температурного каротажа не соответствует модели трещины и не подтверждается другими геофизическими методами. Статья опубликована по запросу редакции после представления работы на конференции.

Основные результаты и положения диссертации были доложены и обсуждены на российских и международных научных семинарах, форумах, симпозиумах и конференциях: Lafayette, USA, 2012; Kuala Lumpur, Malaysia, 2014; Самара, 2014; Санкт-Петербург, 2014; Москва, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023; Калининград, 2019; Новый Уренгой, 2019;. Тюмень, 2023; Новосибирск, 2022, 2023; в онлайн формате, 2020, 2021.

Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023) и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

Первичная документация проверена и соответствует материалам, включенным в диссертацию.

ПО результатам обсуждения работы, представленной на НТС рекомендовано:

1. Оразить в диссертационной работе отличительные особенности представленных методических подходов.
2. Указать геолого-геофизические условия применения интегрированного подхода к проектированию МГРП, в том числе литологические, петрофизические, структурно-фациальные характеристики целевых объектов для проведения работ согласно защищаемых подходов.
3. Указать экономическую эффективность и значимость практического применения защищаемого подхода.

Заклучение

Диссертационная работа Владимира Николаевича Астафьева «Интегрированное проектирование многозонного гидроразрыва пласта низкопроницаемых коллекторов» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9. «Геофизика».

Заклучение принято на заседании научно-технического совета Общества с ограниченной ответственностью «БурСервис»

Протокол №1 от 21.03.2024

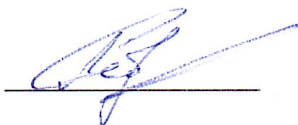
Присутствовало на заседании 12 чел.

Результаты открытого голосования по вопросу о принятии заклучения по диссертации В.Н. Астафьева: «за» 12 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Председатель заседания научно-технического совета

ООО «БурСервис»

кандидат технических наук

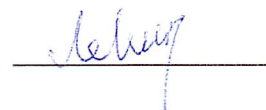


А.А. Ребриков

Секретарь заседания научно-технического совета

ООО «БурСервис»

кандидат технических наук



Д.Н. Левин