

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **ХАЛИЛОВА ДАМИРА ГАЗИНУРОВИЧА** по теме «Разработка геофизического метода активной оптоволоконной распределенной термометрии», представленной по специальности 1.6.9 «Геофизика» на соискание ученой степени кандидата технических наук

Структура и объем диссертации

Диссертация представлена на 163 страницах текста, включая введение, четыре главы, заключение, список литературы из 144 наименований, 59 рисунков и 16 таблиц.

Актуальность исследований

Актуальность темы диссертации связана с возросшими возможностями технологий оптоволоконных геофизических исследований в скважинах. Поэтому автор рассматривает развитие оптоволоконной распределённой термометрии в направлении расширения методического инструментария, последующей её адаптации к изучению динамических параметров скважинных потоков и более детальному определению показателей изучаемой среды.

Представленные разработки по определению пространственного разрешения, постоянных времени и созданию калибровочной установки скважины позволяют учитывать многие искажающие факторы, возникающие при проведении исследований оптоволоконными распределёнными датчиками температуры.

Степень обоснованности научных положений и выводов

Обоснованность научных положений подтверждена согласованностью полученных выводов с теорией физических процессов и большим объёмом исследуемого фактического материала в виде лабораторных испытаний, в том числе на действующей нефтяной скважине.

Достоверность и научная новизна выводов

Достоверность научных положений и выводов подтверждена результатами

теоретических и модельных исследований, экспериментальными исследованиями с использованием образцов оптоволоконных распределённых датчиков температуры при моделировании скважинных условий, обобщенными данными полевых производственных и опытно-методических исследований, рецензиями опубликованных материалов в журналах перечня ВАК, Scopus и РИНЦ.

Научная новизна диссертации

1. Активная оптоволоконная система мониторинга сочетает в себе более полный набор возможностей в сравнении с существующими мировыми аналогами. Регулируемая величина нагрева геофизического кабеля, оптимальное энергопотребление и пригодность для оснащения глубоких скважин, все это в будущем позволят рассматривать в виде стандарта функций для оптоволоконных систем мониторинга.

2. Способ расчёта пространственного разрешения и постоянной времени по доступным данным о конструкции позволяет проектировать оптоволоконные кабели, соответствующие конкретным объектам исследований.

3. Калибровочная установка-скважина, способная воспроизводить зенитный угол, фоновую температуру в стволе, расход и состав жидкости, выполнена в мобильном варианте, обеспечивает простоту эксплуатации и одновременный контроль работы всех механизмов. Техническое исполнение установки способствует рационализации процесса лабораторного моделирования до уровня, не характерного для других аналогов.

Положения, вынесенные на защиту

Первое защищаемое положение. Система оптоволоконной распределённой скважинной термокондуктивной дебитометрии, основанная на использовании геофизического кабеля, который позволяет выполнять исследования и работы в скважинах действующего фонда стандартными электронными приборами и оптоволоконными распределёнными датчиками температуры совместно с нагревом и без него.

Здесь решаются две задачи: создание варианта системы активной

оптоволоконной распределённой термометрии и разработка методики исследований для количественного определения общего и поинтервального дебитов.

Созданная оптоволоконная система позволяет проводить исследования электронными приборами и оптоволоконными датчиками, как с нагревом, так и без него. В качестве основного элемента оптоволоконной системы используется геофизический кабель опытной модели. Конструктивная специфика геофизического кабеля в оптоволоконной системе состоит в том, что для выработки тепла используется нагревательный элемент распределённого типа и ограниченной длины. Ограничение длины выступает обоснованной мерой, связанной с тем, что в пределы видимости нагревательного элемента достаточно попадания целевых объектов исследования – интервалов перфорации. Дополнительно ограничение зоны нагрева увеличивает запас по выработке тепловой энергии. Длина греющей части оптоволоконного кабеля подбирается на этапе его проектирования, исходя из геологических задач.

Разработанная методика исследований, основанная на регистрации остывания кабеля по оптоволокну, представляет собой способ количественного определения динамических показателей скважинных потоков, не нуждающийся в помощи сторонних измерительных средств. Самостоятельность достигается за счёт того, что оптоволоконный кабель с нагревательным элементом захватывает в зону видимости помимо интервалов перфорации зумпф, который представляет собой «нулевую точку» дебита. Как показано в работе, предлагаемая методика успешно прошла лабораторные испытания в сравнении с другой методикой, более широко применяемой на практике.

Второе защищаемое положение. Показатели тепловой инерционности оптоволоконных распределённых датчиков температуры, интегрированных в кабельные изделия, предлагается использовать при проведении геофизических исследований и мониторинге в нефтедобывающих скважинах.

В данном разделе решаются три задачи: 1) изучение тепловой инерционности оптоволоконных распределённых датчиков температуры, интегрированных в кабельные изделия, 2) разработка критерия для определения пространственного

разрешения оптоволоконных распределённых датчиков температуры и 3) обоснование способа определения пространственного разрешения и постоянной времени оптоволоконных распределённых датчиков температуры.

Изучение тепловой инерционности оптоволоконных распределённых датчиков температуры автором понимается как определение их чувствительности к событиям, происходящим в температурном поле. Для отражения чувствительности оптоволоконных датчиков используются две физические величины: пространственное разрешение и постоянная времени. Для проведения лабораторных испытаний по их определению выбрано 12 образцов оптоволоконных кабелей, имеющих максимально отличающиеся друг от друга конструкции. При этом для упрощения процесса сопряжения экспериментальных данных вводится специальный параметр, который описывает теплоизоляционные свойства конкретной конструкции кабеля в поперечном сечении – коэффициент тепловой инерционности конструкции.

Процесс проведения лабораторных испытаний по определению пространственного разрешения оптоволоконных распределённых датчиков температуры проходит не по принципу однозначного измерения искомой величины, а с опробованием введенного автором критерия «Проявление фона», отражающего особенности температурного поля. По итогам испытаний получен положительный результат, представленный наличием корреляции между коэффициентом тепловой инерционности конструкции и измеренным пространственным разрешением по критерию «Проявление фона».

Часть лабораторных испытаний, связанная с определением постоянных времени оптоволоконных распределённых датчиков температуры, проведена в виде многосерийных измерений для каждого из 12 образцов. По итогам испытаний также достигнут положительный результат, обусловленный наличием корреляции между коэффициентом тепловой инерционности конструкции и измеренными постоянными времени.

Корреляционные уравнения связи коэффициента тепловой инерционности конструкции с пространственным разрешением и с постоянной времени

преобразованы автором в формулы определения детализационных характеристик оптоволоконных распределённых датчиков температуры.

Третье защищаемое положение. Лабораторная установка для калибровки оптоволоконных распределённых датчиков температуры, предназначенная для моделирования регулируемой скорости потока (дебита) жидкости, зенитного угла скважины, фоновой температуры и содержания нефтепродуктов в скважинной жидкости, опробована на материалах геофизических исследований в нефтескважине.

В третьем защищаемом положении решаются две задачи: конструирование лабораторной установки, предназначенной для моделирования физических условий скважинной среды, и её апробирование посредством моделирования скважинных условий для повышения достоверности разработанной автором методики количественного определения динамических показателей скважинных потоков.

В работе приведено устройство и технология работы калибровочной лабораторной установки, сочетающей в себе набор функциональных возможностей, которые были установлены при изучении изделий-аналогов. Проведено апробирование данной установки по разработанной методике определения общего и поинтервального дебитов. Выполнены лабораторные испытания для получения набора корреляционных уравнений при переменном расходе, зенитном угле, фоновой температуре и составе жидкости, которые в дальнейшем использованы для получения экспериментальной формулы определения дебита по методике «Исследование скорости остывания кабеля». Полученная формула использована для проведения исследований в действующей нефтескважине. Положительные результаты определения общего дебита скважины показали применимость доработанной методики исследований и успешное прохождение процедуры апробирования калибровочной установки.

Значимость для практики полученных автором результатов

1. Система активной оптоволоконной распределённой термометрии, обладающая возможностью регулирования нагрева кабеля за счёт резервирования

запаса электрической мощности, позволяет проводить геофизические исследования в глубоких скважинах и имеет принципиальные возможности оснащения объектов с гораздо большей глубиной.

2. Способ расчёта пространственного разрешения и постоянной времени оптоволоконных датчиков облегчает задачу определения возможностей для конкретных марок кабелей на этапе проектирования их конструкций. В настоящее время к значительной части скважин предъявляют требования по ограничению габаритов всего спускаемого глубинного оборудования, что вынуждает проводить вариативный подбор кабельных материалов (полимеров, композитов и т.д.). Иными словами, обоснованный в работе способ является инструментом для подбора оптимальных конструкций, удовлетворяющих одновременно потребности исследователя и условиям технического задания добывающего предприятия.

3. Дизайн сконструированной калибровочной установки может быть представлен в качестве направления, которого следует придерживаться при создании новых лабораторных стендов.

Соответствие диссертационных исследований Паспорту научной специальности. Публикации и апробация работы

Содержание диссертации соответствует Паспорту специальности 1.6.9 «Геофизика» по пунктам: 19, 21 и 25, где рассматриваются технологии, системы наблюдения и сбора геофизических данных, геофизические излучающие и измерительные системы, методы сбора и интерпретации каротажной информации, геофизические методы исследования технического состояния скважин и вскрытия пластов в скважинах, геофизический мониторинг разработки месторождений.

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 26 научных работах, из которых 3 статьи - в журналах перечня Scopus, 11 - в журналах ВАК и 12 - в изданиях РИНЦ.

Основные положения диссертационного исследования обсуждались на всероссийских научно-практических конференциях с международным участием: «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики» в 2021 и 2022 гг., на

онлайн-конференции Springer «Science and Global Challenges of the 21st Century» в 2022 г., на конкурсах молодых работников в ПАО «ЛУКОЙЛ-Пермь» на лучшую научно-техническую разработку в 2021 и 2023 гг. и на онлайн-форуме «Инновации для повышения эффективности сопровождения нефтегазовых активов» ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» в 2024 г.

Замечания по работе

1. При описании существующих аналогов калибровочных установок, воспроизводящих скважинную среду, желательно было рассмотреть дополнительно некоторые иностранные образцы испытательного оборудования.

2. В первом защищаемом положении, посвящённом созданию системы оптоволоконной распределённой термодобитометрии, описывается формирование структуры комбинированного проводника, содержащего нагревательный элемент. Приводятся формулы, на основе которых рассчитывается запас по перегреву и длина греющей части. При этом не приводится ни одного примера расчётов преобразования подаваемой электрической мощности в амплитуду перегрева кабеля.

3. Во втором защищаемом положении при определении постоянной времени приводится довод, что это величина, которая не зависит от перепада температур, от амплитуды теплового потока и является фиксированное временное значение для конкретного датчика. Для полноты картины необходимо было привести примеры математических выводов постоянной времени на основе какой-либо физической формулы по определению времени нагрева вещества.

4. В третьем защищаемом положении при создании калибровочной установки не была заложена функция моделирования эффекта газопроявления. Данная функция позволяет учесть вклад события, которое имеет частое проявление в процессе работы нефтедобывающих скважин, как наклонных, так и горизонтальных, чем вносит искажение в регистрируемое температурное поле. Тем более, что в тексте работы при описании проблемы проявления скрытых температурных аномалий данный эффект был описан.

Заключение

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа обладает новизной, внутренним единством и логикой построения, написана технически грамотным языком. Результаты диссертационной работы имеют технологическое и методическое значение и носят ярко выраженный практический характер. Выводы диссертационного исследования не противоречат существующим теоретическим представлениям, их достоверность подтверждена многочисленными примерами апробации и большим объёмом фактических данных.

Автореферат отражает содержание диссертации, а её основные положения полностью опубликованы в открытой печати.

Диссертационная работа является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержатся научно обоснованные разработки по методике геофизических исследований методом оптоволоконной распределённой скважинной термодобитометрии, способу определения показателей детализации оптоволоконных температурных датчиков, созданию лабораторной установки для моделирования физических условий скважинной среды, что вносит значительный вклад в развитие оптоволоконного мониторинга нефтедобывающих скважин.

Работа отвечает требованиям ВАК к кандидатским диссертациям по критериям п.п. 9-14, установленным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями и дополнениями).

Считаю, что соискатель **Халилов Дамир Газинурович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 «Геофизика».

Официальный оппонент:

кандидат технических наук по специальности:

25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»,
доцент, доцент кафедры геофизических информационных систем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»

Гуляев

ГУЛЯЕВ Данила Николаевич

30 января 2026 г.

Я, Гуляев Данила Николаевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Место работы:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»

119991, г. Москва, ул. Ленинский проспект, д. 65, к. 1.

Тел.: +7 (499) 507-82-60, e-mail:gulyaev.d@gubkin.ru

Кандидат технических наук по специальности 1.6.9 – «Геофизика», доцент кафедры геофизических информационных систем.

Подпись Д. Н. Гуляева удостоверяю:

Начальник отдела кадров



Ю. Е. Ширяев

Ширяев Ю. Е.