

На правах рукописи



ХАСАНОВ РЕНАТ АСХАДОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВОДКИ СКВАЖИН
СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ
И РОТОРНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ**

Специальность 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Уфа-2021

Работа выполнена на кафедре «Бурение нефтяных и газовых скважин»
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук
Левинсон Лев Михайлович

Официальные оппоненты: **Овчинников Василий Павлович**
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный
университет» / кафедра бурения нефтяных
и газовых скважин, профессор

Чернышов Сергей Евгеньевич
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет» / кафедра нефтегазовых
технологий, доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет» (г. Самара)

Защита диссертации состоится «1» июня 2021 года в 14 час 30 мин на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2021 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Султанов Шамиль Ханифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

При традиционном способе направленного бурения с использованием забойных двигателей, геофизических ориентаторов и телеметрических систем допускаются различного вида отклонения от плановой траектории и целевых объектов, вызывающие дополнительные затраты на строительство скважин. При критическом отклонении от траектории необходимо перебуривать ствол, а если перебуривание не реализуемо, то даже ликвидировать скважину.

При бурении направленных и горизонтальных скважин для уплотнения сетки разработки, достижения отдаленных участков залежи, и предупреждения опасности пересечения стволов применяются все более сложные пространственные типы профилей.

Проводка сложных пространственных профилей требует обязательного использования телеметрических систем для точного и оперативного определения положения ствола скважины, интенсивности изменения зенитного угла и азимута при направленном бурении и тенденции изменения зенитного и азимутального углов при роторном бурении.

Наличие этих задач и изучение причин, вызывающих отклонения от заданной траектории и нарушения проектных решений на скважинах ПАО АНК «Башнефть», привело к постановке задачи совершенствования технологии проводки сложнопрофильных скважин путем внедрения современных телеметрических и роторных управляемых систем и совершенствования технологии их применения. Необходимо внедрение отечественной телеметрии для снижения затрат и зависимости от импортных услуг и оборудования.

Начиная с 2007 года при активном участии автора реализовано бурение направленных и горизонтальных скважин с использованием современных телеметрических систем, проведено совершенствование технологии применения телеметрии. Далее с 2013 года при активном участии автора успешно внедрено роторное управляемое бурение горизонтальных скважин, радикально улучшающее состояние ствола скважины и технико-экономические показатели

его проводки, проведено совершенствование технологии роторного управляемого бурения. Необходимо внедрение отечественных роторных управляемых систем для снижения затрат и зависимости от импортных услуг и оборудования.

Степень разработанности темы исследования

Значительный вклад в развитие научных представлений о применении телеметрических и роторных управляемых систем, а также в разработку технологических приемов, направленных на совершенствование технологии проводки скважин и повышение эффективности управления искривлением нефтяных и газовых скважин внесли отечественные и зарубежные исследователи: Акбулатов Т.О., Балденко Д.Ф., Балицкий П.В., Барский И.Л., Бастриков С.Н., Безумов В.В., Белоруссов В.О., Беляев В.М., Бронзов А.С., Бруско Г., Брэм К., Буслаев В.Ф., Васильев Ю.С., Ворожбитов М.И., Григорян А.М., Григорян Н.А., Григулецкий В.Г., Гулизаде М.П., Гусман М.Т., Гэйнон Т.М., Даунтон Г., Дахче Али М., Двойников М.В., Дрекслер Дж., Закиев Р.Б., Зиненко В.П., Зот Г., Икеда А., Иоаннесян Р.А., Йонезава Т., Кагарманов Н.Ф., Калинин А.Г., Кальдерони А., Каргилл Е.Дж., Кийр М., Киосава У., Клаусен Т.С., Козловский Е.А., Комеа Б.С., Костин Ю.С., Крылов В.И., Кукушкин И.В., Кульчицкий В.В., Левинсон Л.М., Левицкий А.З., Лиманов Е.Л., Литвиненко В.С., Лукьянов В.Г., Лягов А.В., Мамедбеков О.К., Марков О.А., Морозов Ю.Т., Нескоромных В.В., Оганов А.С., Оганов С.А., Оппельт Дж., Пафитис Д., Попов А.Н., Поташников В.Д., Прохоренко В.В., Рассел Р., Савини А., Сазерленд Г., Самигуллин В.Х., Свик С., Семак Г.Г., Середа Н.Г., Ситдыков Г.А., Соловьев Ю.Г., Солодкий К.М., Соломенников С.В., Страбыкин И.Н., Сулакшин С.С., Султанов Б.З., Сушон Л.Я., Тревиранус Дж., Уильямс М., Федоров А.Ф., Хайрон С., Хардин Дж.Р., Хендрикс А., Хиршуманн Г., Хэй Р.Т., Чупров В.П. и ряд других ученых. Однако, несмотря на большой объем исследований в области управления искривлением скважин, решению проблемы проводки скважин сложного профиля с использованием телеметрических и роторных управляемых систем посвящено весьма мало работ. Также необходимы методики проектирования, сопровождения, расчёта радиуса и интенсивности искривления, оптимизации бурения с использованием

телеметрических и роторных управляемых систем, внедрение отечественного оборудования и технологии.

В этой связи совершенствование технологии проводки скважин сложного профиля при использовании телеметрических и роторных управляемых систем является актуальной, и недостаточно решенной в настоящее время проблемой, решение которой особенно актуально в условиях постоянного роста доли сложнопрофильных скважин в объеме эксплуатационного бурения.

Цель работы – разработать технико-технологические решения по обеспечению проектной траектории сложно-профильных скважин за счёт оптимизации технологии применения телеметрических и роторных управляемых систем в геолого-технических условиях ПАО АНК «Башнефть».

Основные задачи исследований

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи исследований**:

1 Моделирование и автоматизация процессов бурения скважин сложного профиля с использованием телеметрических и роторных управляемых систем для выявления причин отклонений от плановой траектории, повышения точности проводки, исключения отказов оборудования, сокращения затрат.

2 Разработка методики расчета радиуса и интенсивности искривления при работе роторных управляемых систем для сложных геолого-технических условий месторождений ПАО АНК «Башнефть»;

3 Создание первой отечественной роторной управляемой системы с гидромеханическим приводом, обеспечивающим дискретный характер управления траекторией для снижения затрат, а также зависимости от импортных услуг и оборудования.

Научная новизна

1 Разработана методология проектирования и технология сопровождения проводки скважин сложного профиля при использовании телеметрических и роторных управляемых систем, позволившая повысить точность направленного бурения и попадание в круг допуска целей бурения.

2 Аналитически разработана методика расчета радиусов и интенсивности искривления ствола скважины на основе технических характеристик роторных управляемых систем с учётом механических свойств горных пород, позволяющая повысить точность проводки ствола скважины в заданном коридоре бурения.

3 Аналитически рассчитана забойная управляемая система с калибратором-центратором гидравлическим управляемым, имеющим гидромеханический привод управления, обеспечивающим дискретный характер управления траекторией.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в выявлении основных причин отклонения фактической траектории ствола сложнопрофильной скважины от проектной с целью повышения качества проводки и снижения внеплановых правок/корректировок/перебуриваний, а также в научном обосновании механизма работы телеметрических и роторных управляемых систем в совершенствовании технологии проводки сложнопрофильных скважин.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1 Разработаны и внедрены СТ-06-00-2.2-01 «Бурение горизонтальных скважин», МУ-06-00-02.1-01 «Бурение боковых стволов на нефтяных и газовых скважинах», РИ-06-00-2.6-01 «Предупреждение аварий при бурении скважин», РИ-6.4-00-00-02 «Проектирование траекторий стволов и сопровождение бурения скважин и боковых стволов», РИ-06-00-2.15-01 «Порядок согласования компоновок низа бурильной колонны при бурении скважин», РИ-06-00-2.9-01 «Порядок учёта работы долот и ГЗД», РИ-6.4-00-00-02 «Проектирование траекторий стволов и сопровождение бурения скважин и боковых стволов». РП-04-02-07-01 «Организация работ по геологическому сопровождению бурения горизонтальных скважин и боковых горизонтальных стволов», РИ-06-00-2.13.01 РИ "Разработка технологических карт строительства скважин". В приложении А диссертации приведена справка о внедрении в руководящие документы. В приложении Б диссертации приведена справка о внедрении на скважинах с их списком. Результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «УГНТУ» при подготовке бакалавров и магистров, обучающихся по направлению

подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело» по дисциплине «Технология бурения скважин».

2 Впервые в промысловых условиях внедрена комплексная технология проводки скважин сложного профиля при использовании телеметрических и роторных управляемых систем, включающая в себя точный контроль соответствия плановой и фактической траектории, оптимальный возврат при отклонении (минимальное расстояние до возвращения и строгое соответствие параметров кривизны в этой точке), и дальнейшее соблюдение плана.

3 В промысловых условиях подтверждены расчетные радиусы и интенсивности искривления ствола скважины, основанные на технических характеристиках роторных управляемых систем с учётом механических свойств горных пород.

4 Впервые на месторождениях ПАО АНК «Башнефть» произведено успешное внедрение роторного управляемого бурения на двадцати восьми скважинах месторождения Р. Требса, восьми скважинах месторождения им. А. Титова, шестидесяти скважинах Соровского месторождения, трех скважинах Тортасинского месторождения, одной скважине Арланского месторождения, одной скважине Четырманского месторождения, реализованного при бурении горизонтальных скважин за счёт следующих технико-технологических решений: технологическое проектирование и сопровождение бурения скважин, определение расчетной интенсивности искривления с роторной управляемой системой, калибратор-центратор гидравлический (КЦГ), технологическое проектирование и сопровождение бурения скважин, геологическое проектирование и сопровождение бурения скважин (геонавигация) по данным каротажа в процессе бурения.

Методология и методы исследования

Методология исследования заключается в анализе теории и практики направленного бурения с выявлением направлений совершенствования технологии проводки скважин сложного профиля, формулировании научной гипотезы с последующим теоретическим и экспериментальным подтверждением полученными в процессе исследования результатами.

Методы исследования и решения поставленных в работе задач, основаны на теоретическом и экспериментальном изучении закономерностей проводки сложнопрофильных направленных и горизонтальных скважин, статистической обработке промысловых данных, промысловых исследованиях с использованием современных методик и приборов.

Положения, выносимые на защиту

1 Комплексная технология проводки скважин сложного профиля с использованием телеметрических и роторных управляемых систем.

2 Методика расчета радиуса и интенсивности искривления ствола скважины при работе роторных управляемых систем с учётом их характеристик и свойств горных пород;

3 Роторная управляемая система «КЦГУ-Калибратор центратор гидравлический управляемый» с гидромеханическим приводом, обеспечивающим дискретный характер управления траекторией.

Соответствие паспорту специальности

Тема работы и содержание исследований соответствуют паспорту специальности 25.00.15 «Технология бурения и освоения скважин», а именно пункту 5 «Моделирование и автоматизация процессов бурения и освоения скважин при углублении ствола, вскрытии и разобщении пластов, освоении продуктивных горизонтов, ремонтно-восстановительных работах, предупреждении и ликвидации осложнений».

Степень достоверности и апробация результатов работы

Достоверность результатов работы обеспечивается используемыми в ней современными методами исследований (аналитическое и компьютерное моделирование, проектирование на ЭВМ, промысловые исследования), точностью статистической обработки экспериментальных данных, сходимостью аналитических и экспериментальных данных, результатами опытно-промысловых работ.

Основные положения диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку: на научно-технических конференциях аспирантов и молодых ученых УГНТУ. – Уфа, 2002–2006г. [9, 10, 11];

международной научно-технической конференции «Повышение качества строительства скважин» – Уфа, декабрь 2005г. [12, 13, 14]; научно-технической конференции "Проблемы геологии, геофизики, бурения, добычи нефти и экономики" НПО «Геофизика». Уфа, 2006 [18, 19, 21]; научно-технических конференциях молодых ученых ООО «БашНИПИнефть». – Уфа, 2008–2009гг. [4, 5]; научно-технической конференции молодых специалистов ООО «Башнефть-Добыча». – Уфа, 2012г.; научно-техническом конкурсе работ ОАО АНК «Башнефть» в номинациях «Лучший проект года», «Лучший проект в области разведки и добычи нефти». – Уфа, 2014, 2015, 2016 гг.; Российской технической нефтегазовой конференции и выставке SPE по разведке и добыче, Москва, 2014г. [17]; научно-технической конференции «Управление проектами в нефтегазовой и нефтехимической отраслях» – Уфа, 2016г.; XXVIII Международной научно-практической конференции «Приоритетные направления развития науки и технологий» – Тула, 2020г.

Публикации

По теме диссертации опубликованы: 23 научные работы, в т.ч. 3 статьи в изданиях, включённых в перечень ведущих рецензируемых научных изданий ВАК Министерства науки и высшего образования РФ и 1 патент на изобретение РФ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов и рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 209 наименований и приложений. Изложена на 179 страницах машинописного текста, включает 72 рисунка, 19 таблиц, 2 приложения.

Автор выражает глубокую благодарность за помощь в работе коллективу кафедры БНГС ФГБОУ ВО УГНТУ - научному руководителю к.т.н Л.М. Левинсону; д.т.н., профессору, заведующему кафедрой Р.А. Исмакову; д.т.н., профессору А.Р. Хафизову; к.т.н., доценту Р.А. Мулюкову; д.т.н., профессору Ф.А. Агзамову; д.т.н., профессору Г.В. Конесеву; к.т.н., доценту Г.К. Чуктурову, д.т.н., профессору Л.А. Алексееву; к.т.н., доценту Акбулатову Т.О.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цели и задачи исследований, сформулированы научная новизна и практическая ценность, дана общая характеристика работы.

В первой главе приводятся результаты анализа отечественного и зарубежного опыта строительства наклонных, горизонтальных, с боковыми стволами, многозабойных скважин с использованием телеметрических и роторных управляемых систем в нефтедобывающих регионах с различными геолого-техническими условиями бурения, путей совершенствования и перспективного развития технологии направленного бурения. На примере месторождений ПАО «АНК Башнефть», рассмотрена современная технология направленного бурения с использованием телеметрических систем.

Выявлены факторы, от которых зависит качество управления искривлением при проводке скважин.

При использовании традиционных методов управления искривлением скважин без использования телеметрических систем строгое соблюдение вышеуказанных требований затруднено или невозможно.

Установлены значительные преимущества использования телеметрических систем, в сравнении с традиционной технологией проводки для управления искривлением скважин. Ввиду преимуществ, телеметрические системы внедрены в практику направленного бурения для соблюдения плановой траектории.

Определены основные причины некачественной проводки скважин.

В Таблице 1 показана статистика попадания в круг допуска с различными радиусами. Приведены основные причины непопадания в круг допуска с различными радиусами, из которых видно, что даже при использовании телеметрических систем на скважинах со сложным профилем и малым кругом допуска технология применения телеметрии требует совершенствования.

Кроме того, оценка технико-экономических последствий применения телеметрических систем в направленном бурении выявила недостаточное

использование возможностей телеметрии, приводящее к увеличению затрат до 50% от запланированных на направленное бурение из-за:

- 1 Несвоевременной поверки телесистем до 30% случаев;
- 2 Неполноценного (до 60-70%) использования возможностей телесистем, неиспользование возможностей динамических замеров;
- 3 Прогнозирования траектории по упрощенной схеме.

В связи с этим при строительстве скважин большое внимание уделяется вопросам точной проводки скважины по плановой траектории, с учётом данных геонавигации. В настоящее время, применяются различные телеметрические системы для повышения точности проводки скважины.

Таблица 1 – Основные причины непопадания в круг допуска

Радиус круга допуска, м	Количество скважин, шт.	Количество скважин вне круга допуска, шт.	Процент скважин вне круга допуска, %	Причины
25	16	5	31,25	Относительно малый круг допуска. Точка входа в пласт на горизонтальном стволе.
40	41	66	14,63	Среднее количество отклонений для направленных скважин в регионе. Отклонение зенитного угла и азимута от проектных, недобор параметров траектории.
50	6	1	16,67	Среднее количество отклонений для направленных скважин в регионе. Отклонение зенитного угла и азимута от проектных, недобор параметров траектории.
75	41	1	2,44	Телеметрия обеспечивает практически 100% попадание для большого круга допуска.
100	75	5	6,67	Традиционная технология без применения телеметрии. Критическое отклонение зенитного угла и азимута от проектных значений.
Среднее значение			14,33	Направленное бурение повышает вероятность непопадания в круг допуска, необходимо совершенствование технологии проводки.
Включая вертикальные			9,78	Вертикальные скважины с радиусом круга допуска 100м. Поисковые, разведочные скважины с большой вертикальной глубиной, критическое отклонение зенитного угла и азимута от проектных значений.

Для устранения непроизводительных затрат, связанных с использованием телеметрии, нами разработаны и практически проверены рекомендации.

Недостатки управляемых систем бурения с гидравлическими забойными двигателями могут быть значительно сокращены при применении управляемых систем роторного бурения, в которых долото движется по заданной траектории при непрерывном вращении бурильной колонны. Некоторые скважины могут быть пробурены только с использованием роторных управляемых систем.

Применительно к условиям месторождений ПАО АНК «Башнефть» роторные управляемые системы имеют преимущества, подтвержденные при проводке скважин.

Ввиду указанных выше причин, произведено внедрение роторных управляемых систем в практику горизонтального бурения, с учётом геолого-технических условий месторождений ПАО АНК «Башнефть».

Проведен сравнительный анализ показателей бурения скважин с применением различных технологий проводки скважин. Анализ опыта строительства направленных скважин в нефтедобывающих регионах с различными геолого-техническими условиями бурения выявил следующие недостатки внедрения технологии направленного бурения с применением телеметрических и роторных управляемых систем: отклонения от плановой траектории при проводке, непопадание в круг допуска, выход из коридора бурения горизонтального ствола из-за устаревших методов использования телеметрии, несвоевременной поверки, обслуживания, низкой точности приборов, неверных способов измерений.

Результаты исследований использованы при составлении МУ-06-00-02.1-01 «Бурение боковых стволов на нефтяных и газовых скважинах», РИ-06-00-2.9-01 «Порядок учёта работы долот и ГЗД», РИ-06-00-2.6-01 «Предупреждение аварий при бурении скважин».

Во второй главе проанализированы результаты бурения с телеметрическими и роторными управляемыми системами при строительстве наклонных, горизонтальных скважин на месторождениях ПАО АНК «Башнефть».

Роторные управляемые системы для прохождения неустойчивых, склонных к обвалообразованию и прихватам геологических структур внедрены при бурении горизонтальных скважин на месторождении им. Р. Требса при прохождении обвалоопасного Тиман-Саргаевского пласта.

Результаты проводки скважин с использованием роторных управляемых систем для прохождения неустойчивых, склонных к обвалообразованию и прихватам геологических структур систем приведены ниже.

С 2015 года при бурении скважины №2067Г в интервале от кровли Тимман-Саргайского горизонта на глубине 4139м до точки вскрытия пласта Т1 на глубине 4451,9м успешно использована моторизованная роторная управляемая система, состоящая из роторной управляемой системы для управления траекторией и секции винтового забойного двигателя для увеличения частоты вращения долота.

Гидравлический расчет работы данной моторизованной роторной управляемой КНБК показывает снижение суммарных потерь давления на 15 атм и улучшение выноса шлама по сравнению с обычной КНБК в управляемом забойным двигателем, работающей в режиме скольжения. Сравнение с показателями обычной роторной управляемой системы показывает улучшение механической скорости бурения и обеспечение качественной калибровки ствола скважины для успешного спуска 178мм обсадной колонны.

При бурение последующих горизонтальных скважин на месторождения им. Р.Требса и А.Титова для прохождения Тиман-Саргаевского пласта постоянно используются моторизованные роторные управляемые системы.

Тем не менее, необходима адаптация технологии роторного управляемого бурения для геолого-технических условий месторождений ПАО АНК «Башнефть» ввиду выявленных недостатков.

Проанализированы результаты роторного управляемого бурения при строительстве горизонтальных скважин на месторождениях ПАО АНК «Башнефть». Показаны пути совершенствования, позволившие устранить недостатки и недоработки при внедрении.

Разработаны и внедрены в производство через нормативную документацию рекомендации по совместному использованию отечественных и зарубежных

технологий с целью снижения затрат на направленное бурение для буровых организаций и персонала, непосредственно выполняющего работы по направленному бурению с использованием телеметрии.

Для скважин с высокими требованиями к качеству ствола скважины, протяженными участками стабилизации или малоинтенсивного набора зенитного угла рекомендуется к использованию эффективный и недорогой калибратор-центратор гидравлический (КЦГ) (патент РФ №2441130 от 27.01.2012 «Калибратор-центратор гидравлический (КЦГ)»).

Применение калибратора-центратора КЦГ-126 для бурения боковых и горизонтальных стволов позволяет повысить качество проводки и крепления стволов, за счет надежной изоляции пластов и обеспечивает возможность оперативного управления траекторией скважины за счет изменения геометрических характеристик устройства на забое, а также калибрования стенок скважины в определенном интервале.

КЦГУ-215 входит в компоновку забойной управляемой системы, общий вид которой показан на Рисунке 1. Технические характеристики устройства КЦГУ-215 приведены в Таблице 2. Выбор и расчет геометрических и др. параметров забойной компоновки осуществляется на стадии проектирования, руководствуясь при этом специально разработанной методикой расчета и программным обеспечением.

На Рисунке 2 представлена расчетная схема забойной управляемой системы с применением КЦГУ-215, разработанная нами по методике научной школы Уфимского нефтяного института (ныне УГНТУ) в рамках ранее действующего координационного совещания Миннефтепрома по «Неориентированному бурению наклонно направленных и горизонтально разветвленных скважин по прогнозированной траектории» с учетом работ БашНИПИнефть и ВНИИБТ. Система состоит из долота PDC, забойного двигателя со стабилизатором на корпусе, КЦГ с управляемым механизмом, телеметрической системы, бурильных труб в наклонном стволе скважины с точками касания на долоте, корпусном стабилизаторе забойного двигателя и КЦГ.

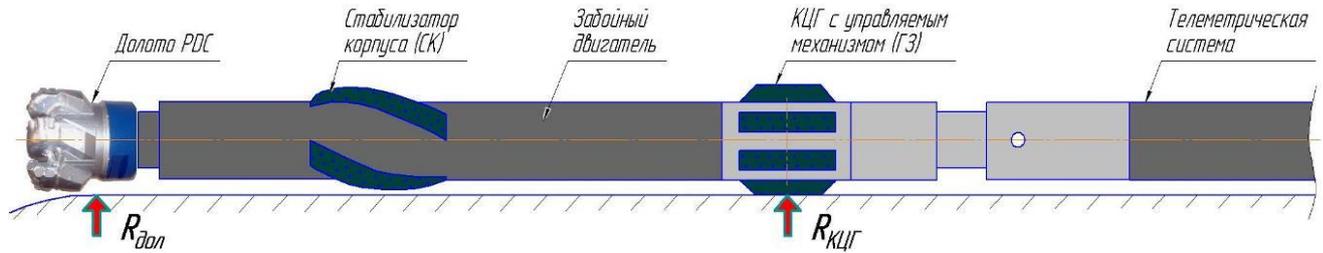


Рисунок 1 – Общий вид компоновки с применением КЦГУ-215 для бурения различных участков скважины

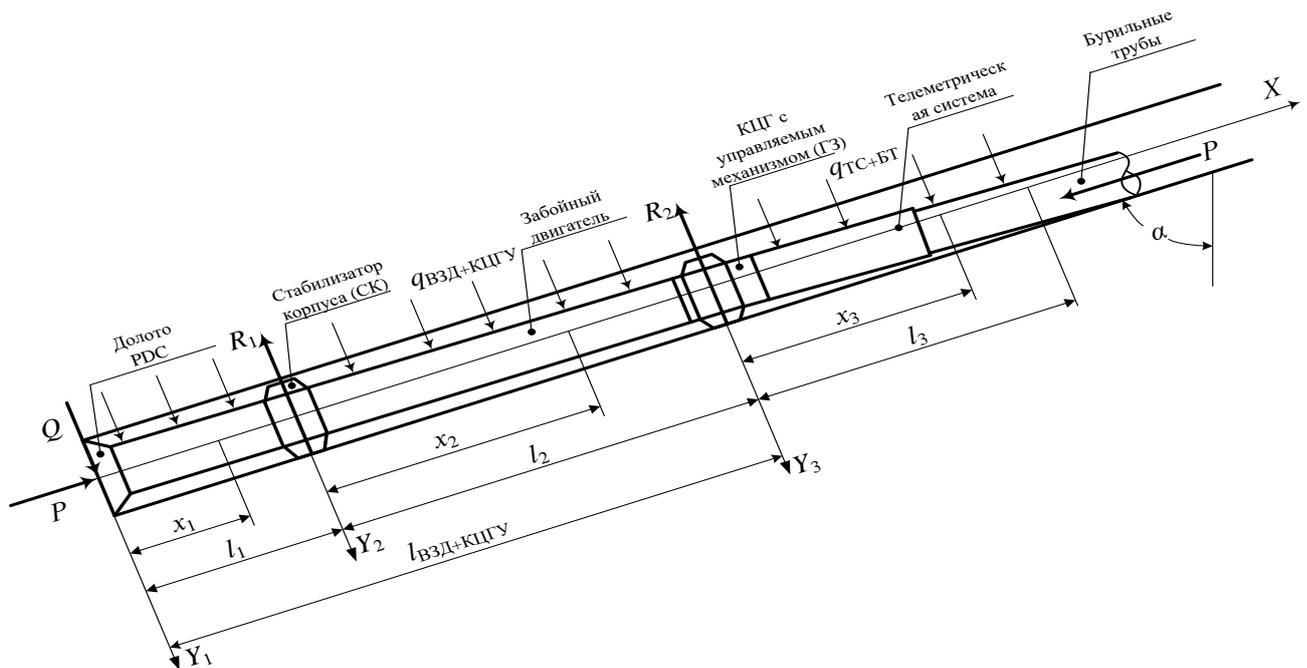


Рисунок 2 – Расчётная схема компоновки с применением КЦГУ-215 в наклонном стволе скважины

Таблица 2 – Технические характеристики устройства КЦГУ-215

Наименование основных параметров	КЦГУ-215
Минимальный наружный диаметр по корпусу в транспортном положении, мм	208
Максимальный наружный диаметр с выдвинутыми элементами в рабочем положении, мм	215
Длина, мм	1250
Внутренний проходной диаметр, мм	50
Присоединительная резьба	3-117, 3-133
Максимальное радиальное усилие выдвижения каждой из 6-ти лопастей, кгс	1500
Примечание: Технические характеристики приведены для работы устройства в открытом стволе скважины диаметром 215,9 мм	

Составлены дифференциальные уравнения изогнутой оси КНБК для трех основных участков. Для решения задачи выбирались граничные условия, обусловленные методиками УГНТУ, БашНИПИнефть и ВНИИБТ. В результате было получено трансцендентное уравнение 1, которое позволило решить задачу оптимизации управления и регулирования КНБК с КЦГУ, а также определить нагрузки, действующие на базовые элементы компоновки для исследования их напряженно-деформированного состояния.

$$-Pr_2 + Q(l_1 + l_2 + l_3) - R_1(l_2 + l_3) - R_2l_3 + \frac{q_T l_1^2}{2} + q_T l_1 l_2 + q_T l_1 l_3 + \frac{q_T l_2^2}{2} + q_T l_2 l_3 + \frac{P_{ТС+БТ} l_3^2}{2} = 0 \quad (1)$$

Результаты расчета некоторых вариантов компоновок забойной управляемой системы, обеспечивающих относительную стабилизацию (слабоинтенсивное снижение или набора зенитного угла) ствола скважины представлены в Таблице 3. В расчетах использованы справочные модели ДР-106 со стабилизатором на корпусе, КЦГУ-123, телеметрии, УБТ и БТ.

Смоделирована работа ЗУС с КЦГУ в типовой горизонтальной скважине, результаты расчётов для КЦГУ-124 приведены на Рисунке 3, в Таблице 3 и Таблице 4.

Стоимость разработанного оборудования за счёт простоты конструкции и, соответственно, сервисных услуг ожидается кратно ниже, чем у зарубежных аналогов, что дает основание считать, что данная отечественная технология найдет широкое и повсеместное применение.

Расчетные значения параметров работы компоновок ЗУС в Таблице 3 имеют высокую сходимость со смоделированными результатами в программном обеспечении «Бурсофтпроект». Моделирование показывает работоспособность и эффективность КНБК с КЦГУ.

Таблица 3 – Расчетные значения параметров работы компоновок ЗУС

Ø дол., мм	Ø ЗД, Мм	Ø стабилизатора, мм	Длина нижнего плеча, мм	Диапазон изменения Ø КЦГУ, мм	Интенсивность искривления, град./10 м	
					«max»	«min»
123,8	106	120	2500	110...123	+0,06	-0,17
144,3	106	140	2450	127...144	+0,09	-0,21
215,9	176	211	2500	208...215	+0,17	-0,20

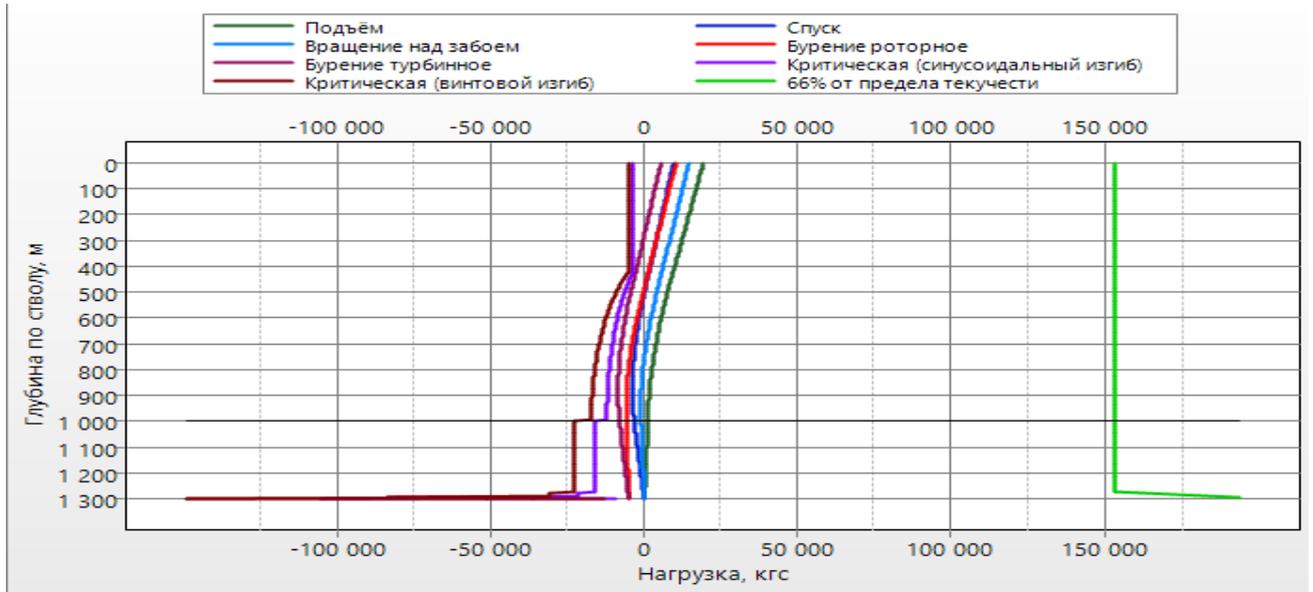


Рисунок 3 – Нагрузки на бурильную колонну для всех операций с КЦГУ-124

Таблица 4 - Обобщённые результаты расчётов для КЦГУ-124

Опер.	Потеря устойчив.	Нагрузка на устье, кгс		КЗ по статической прочности			Операция	Нагрузка на устье, кгс		Крутящ. момент на устье, кгс·м		
		расчётн.	допуст.	мин. расч.	норм.	глуб. мин. КЗП		расч.	допуст.	расч.	свинчив.	допуст.
Подъём	Нет	19240	232684	10	1,4	0	Подъём с вращением	18514	232684	152	2125	0
Спуск	Нет	9480	232684	10	1,4	0	Спуск с вращением	10273	232684	104	2125	0
Бур. турбин.	Нет	5362	232684	10	1,4	0	Вращ. над забоем	14498	232684	195	2125	0
							Бурение роторное	10348	232684	189	2125	0

Соблюдение предложенной технологии позволяют реализовать следующую рабочую гипотезу: «Методически верное (согласно СТ-06-00-2.2-01, МУ-06-00-02.1-01, РИ-06-00-2.6-01, РИ-6.4-00-00-02, РИ-06-00-2.15-01, РИ-06-00-2.9-01, РИ-6.4-00-00-02, РП-04-02-07-01, РИ-06-00-2.13.01) использование возможностей телеметрических и роторных управляемых систем при постоянной оптимизации режима бурения, с учётом геолого-технических условий, позволяет проводить сложно-профильные скважины без отклонений от плановой траектории, заданного коридора проводки, сроков строительства скважин».

В третьей главе изложены результаты разработки технологии проектирования траекторий стволов и сопровождения бурения скважин для оперативного реагирования на изменение траектории скважин при направленном бурении по данным телеметрии, впервые в отрасли позволяющая системно реализовать проводку скважин в строгом соответствии с проектом, за счёт точной последовательности проектирования и сопровождения бурения, а также оперативного реагирования на изменение траектории скважин при направленном бурении по данным телеметрии.

Технология использована в РИ-6.4-00-00-02 «Проектирование траекторий стволов и сопровождение бурения скважин и боковых стволов», РИ-06-00-2.15-01 «Порядок согласования компоновок низа бурильной колонны при бурении скважин», СТ-06-00-2.2-01 «Бурение горизонтальных скважин», РП-04-02-07-01 «Организация работ по геологическому сопровождению бурения горизонтальных скважин и боковых горизонтальных стволов».

Изложены результаты разработки универсальной методики определения расчетного радиуса искривления при работе роторных управляемых систем, позволяющей определить радиус искривления ствола скважины с учётом геолого-технических условий месторождений ПАО АНК «Башнефть» и адаптировать оборудование для соответствия местным условиям, и даны примеры расчета радиусов для действующих образцов.

В связи с вышеописанными проблемами при проводке скважин нами разработана методика прогнозных расчетов для оперативного реагирования на изменение траектории скважины при направленном бурении по данным телеметрии, позволяющая оперативно реагировать на изменение траектории скважины и предсказывать параметры на долоте или интересующей точке скважины. Алгоритм работы программы по расчету коррекции траектории приведен на Рисунке 4.

Несмотря на то, что роторные управляемые системы в течение ряда лет используются при проводке направленных, пологих и горизонтальных скважин в России, в открытой печати отсутствуют данные об аналитическом решении задачи определения радиуса искривления (интенсивности) искривления стволов

скважин при использовании этих систем. В имеющихся работах приводятся только статистические способы решения задачи на основе зарубежных промысловых данных, существенно отличающихся от геолого-технических условий ПАО АНК «Башнефть», в связи, с чем и разработана методика.



Рисунок 4 – Схема работы программы по расчету коррекции траектории

Важной частью работ по совершенствованию технологии бурения в современных условиях является оптимизация бурения по данным телеметрических систем. Основными направлениями (критериями) оптимизации являются:

- 1 Оптимизация механической скорости бурения;
- 2 Оптимизация проводки ствола скважины по заданной траектории;
- 3 Оптимизация спуско-подъемных операций;
- 4 Оптимизация распределения давления по стволу скважины при бурении и промежуточных операциях;
- 5 Оптимизация очистки ствола скважины от выбуренной породы;
- 6 Оптимизация с целью предотвращения осложнений и аварий – своевременное обнаружение промывов инструмента, газонефтеводопроявления, прихватаобразования для принятия мер по их предотвращению.

Оптимизацию процесса бурения, достигнутую за счет внедрения разработок, изложенных в диссертации, можно разделить на этапы:

- 1 Повышение качества строительства горизонтальных скважин и боковых стволов с горизонтальным окончанием (БГС);

2 Сокращение сроков строительства скважин и проходки за счет оптимизации профилей скважин - уменьшение проходки, технологии бурения;

3 Повышение продуктивности скважин за счет более эффективного расположения горизонтальных стволов в продуктивном пласте методами геонавигации.

Оптимизация скорости бурения, проводки ствола скважины по заданной траектории, спуско-подъемных операций, очистки ствола скважины от выбуренной породы является важной частью цифровизации процесса бурения и подготовкой к переходу на модель цифрового месторождения.

Бурение скважин со сверхбольшими отходами невозможно без оптимизации проводки ствола скважины по заданной траектории, спуско-подъемных операций, очистки ствола скважины по данным телеметрических и роторных управляемых систем ввиду критических нагрузок на инструмент и буровое оборудование при бурении, спуско-подъемных операциях, заканчивании скважин.

В целом оптимизация процесса бурения как технико-технологический процесс имеет большие перспективы в связи с ростом количества и повышением точности датчиков, скорости передачи данных на поверхность, быстродействия ЭВМ и компьютерных моделей строящихся скважин.

В четвертой главе показаны результаты совершенствования технологии проводки скважин сложного профиля при использовании телеметрических и роторных управляемых систем. Предложенная комплексная технологии применения телеметрических и роторных управляемых систем повысила точность направленного бурения, оперативность реагирования на изменения траектории ствола скважины, обеспечила попадание в цели бурения, исключила вероятность пересечения стволов скважин. Повышена управляемость, надежность, износостойкость элементов низа бурильной колонны в интервалах с различными геолого-техническими условиями.

Технологическое проектирование и сопровождение бурения наклонных и горизонтальных скважин обеспечило эксплуатационный эффект точности проводки наклонных и горизонтальных скважин со сложным пространственным профилем пространственного типа, с большими отходами, риском пересечения и

тонкими коллекторами, для рационального расположения ствола в продуктивном пласте. Разбуривание новых месторождений им. Романа Требса и им. Анатолия Титова в ЯНАО, Сорковского и Тортасинского в ХМАО осуществляется с учётом разработанных в рамках данного научного исследования методик и технологий бурения сложнопрофильных скважин.

В Таблице 5 приведено количество ГС и ННС с 2010 по 2018 год, а на Рисунке 5 соотношение направленных и горизонтальных скважин 2010-2018гг. в объеме бурения ПАО АНК «Башнефть». Количество ГС растёт из года в год.

Рассчитан удельный эффект от внедрения КЦГУ на одну горизонтальную скважину, который составляет до 1960000 рублей на скважину * 133,75 скважин в год= 262.150.000 рублей в год.

Проведен анализ основных технико-экономических показателей строительства скважин компании ПАО АНК «Башнефть».

Таблица 5 - Количество ГС и ННС с 2010 по 2018 год

Тип\Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ГС	14	9	12	26	58	125	151	129	147
ННС	102	83	43	39	89	85	81	75	67
ГС+НС	116	92	55	65	147	210	232	204	214

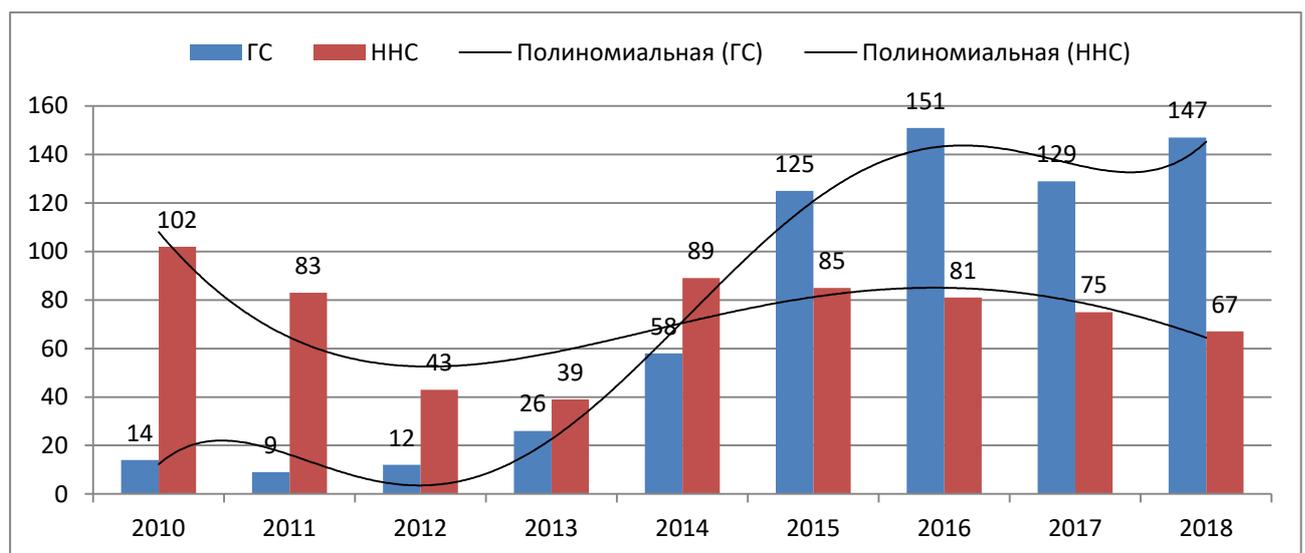


Рисунок 5- Соотношение направленных и горизонтальных скважин 2010-2018гг. в объеме бурения ПАО АНК «Башнефть»

Приведен ожидаемый экономический эффект совершенствования технологии проводки скважин сложного профиля при использовании телеметрических и роторных управляемых систем в целом по ПАО АНК «Башнефть» до 262.150.000 рублей в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Разработана комплексная технология проводки скважин сложного профиля при использовании телеметрических и роторных управляемых систем, включающая в себя точный контроль соответствия плановой и фактической траектории, оптимальный возврат при отклонении и соблюдение плана, позволила повысить точность направленного бурения и вероятность попадания в круг допуска целей бурения, в результате точная проводка горизонтального ствола скважины в заданном коридоре бурения продуктивного пласта-коллектора обеспечила рост среднего дебита новых добывающих скважин на 15,3т/сут, сыграла важную роль в повышении годовой добычи нефти на 3,6 млн.т и чистой прибыли компании на 9,6 млрд.руб в 2014-2016 гг.

2 Разработаны методы расчета радиуса и интенсивности искривления ствола скважины при работе РУС, на основе их технических характеристик, с учётом свойств горных пород, позволяют рассчитать результаты работы механизма управления и адаптировать технологию роторного управляемого бурения для соответствия конкретным геолого-техническим условиям, в результате чего повышена точность проводки ствола скважины в заданном коридоре бурения и снижено число перебуриваний ствола скважины.

3 Разработана роторная управляемая система «КЦГУ-Калибратор центратор гидравлический управляемый» (патент РФ «КЦГ» №RU 2441130) с гидромеханическим приводом роторной управляемой системы, обеспечивающем дискретный характер управления траекторией, позволяет внедрить роторное управляемое бурение на направленных и горизонтальных скважинах с минимальными затратами, удельный экономический эффект на одну скважину от внедрения составляет до 1960000 рублей на скважину * 133,75 скважин в год= 262.150.000 рублей в год.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих трудах:

- в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК

Министерства науки и высшего образования РФ:

1. Т.О. Акбулатов, Л.М. Левинсон, Р.А. Хасанов. Расчетный радиус искривления при работе роторных управляемых систем // Специализированный журнал «Бурение и Нефть». – 2007. – №6. – стр. 8–9.

2. Т.О. Акбулатов, Л.М. Левинсон, Р.А. Хасанов. Определение расчетного радиуса искривления при работе роторных управляемых систем (РУС) // Специализированный журнал «Нефтегазовое дело». – 2008. – №2. – стр. 29-33.

3. Хасанов Р.А., Левинсон Л.М. Оптимизация процесса бурения по данным телеметрических и роторных управляемых систем в режиме реального времени // Специализированный журнал «Территория «НЕФТЕГАЗ»». 2019. № 10. с.21-26.

- монографиях:

4. Л.М. Левинсон, В.Г. Конесев, Р.И. Шафигуллин, В.Г. Еромасов, М.Л. Левинсон, Р.А. Хасанов. Строительство и навигация сложнопрофильных скважин. Монография. г.Альметьевск, 2014, 214 стр.

- в статьях периодических изданий:

5. Р.А. Хасанов. Оптимизация строительства горизонтальных скважин в ОАО АНК «Башнефть» // Аналитический журнал «Нефтесервис». – 2014. – №2. – стр. 54-55.

- учебных пособиях:

6. Информационное обеспечение процесса бурения: учеб. пособие / Т. О. Акбулатов, Л. М. Левинсон, Р. А. Исмаков, Р. А. Хасанов.— Уфа: ООО "Монография", 2010.— 67 с.

- патентах:

7. Пат. №2441130 РФ. Калибратор-центратор гидравлический (КЦГ) / Баграмов К.А., Хасанов Р.А., Абдурахманов М.Т., Старков С.В., Головнин Л.В., Набиуллин И.Р., 27.01.2012.

- материалах конференций:

8. О.Б. Хамитов, К.В. Простяков, Р.А. Хасанов. Бурение горизонтальных скважин в ОАО АНК «Башнефть». Текущее состояние и перспективы. SPE-171278-RU, г.Москва, 2014, 7 стр.

9. Хасанов Р.А. Перспективы автоматизации проводки скважины роторными управляемыми системами. / Доклады XXVIII Международной научно-практической конференции «Приоритетные направления развития науки и технологий»; под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Инновационные технологии, 02.10.2020. – 121 с.

10. Хасанов Р.А. Преимущества и недостатки роторных управляемых систем в условиях нефтегазовых месторождений. / Доклады XXVIII Международной научно-практической конференции «Приоритетные направления развития науки и технологий»; под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Инновационные технологии, 02.10.2020. – 124 с.