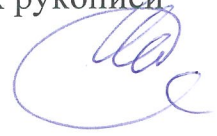


На правах рукописи



ЩЕРБАКОВ АНДРЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
СКВАЖИН НА СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

Специальность 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Тюмень – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет» и в ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг».

Научный руководитель:

Кузнецов Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Бурение нефтяных
и газовых скважин» ФГБОУ ВО
«Тюменский индустриальный
университет».

Официальные оппоненты:

Исмаков Рустэм Адипович,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Бурение нефтяных
и газовых скважин» ФГБОУ ВО
«Уфимский государственный нефтяной
технический университет»;

Ахмадишин Фарит Фоатович,
кандидат технических наук, начальник
отдела бурения института
«ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть»
имени В.Д. Шашина.

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
горный университет императрицы
Екатерины II», г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится «22» октября 2026 года в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета 24.2.419.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 70, ауд. 312.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотечно-издательском комплексе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» и на сайте www.tyuiu.ru.

Автореферат диссертации разослан «03» сентября 2026 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Пономарева Татьяна Георгиевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В условиях истощения ресурсной базы и необходимости непрерывного повышения эффективности вовлечения трудноизвлекаемых запасов традиционных и вновь разрабатываемых месторождений нефти и газа, снижение затрат на бурение и эксплуатацию скважин является приоритетной задачей для нефтегазовой отрасли. В случаях, когда создание основной системы разработки месторождения экономически нецелесообразно или технологически затруднительно, альтернативным подходом может стать разработка возвратных объектов на сложнопостроенных месторождениях.

Одним из перспективных способов снижения затрат на наиболее капиталоемком этапе освоения месторождения является бурение скважин многофункционального назначения. В настоящей работе рассматривается возможность использования многофункциональных скважин (МФС) для выполнения задач геологоразведочного этапа и эксплуатации продуктивного пласта, в том числе для одновременно-раздельной добычи (ОРД) нескольких геологических объектов.

Согласно статистическим данным дочернего общества за период 2018–2022 гг., среднегодовой показатель бурения составляет 410 наклонно-направленных скважин (ННС). В большинстве случаев после завершения бурения основного ствола следующим технологическим этапом является бурение бокового ствола (БС). Однако при проектировании траекторий ННС, как правило, не учитывается возможность последующего бурения БС, что приводит к снижению технологической эффективности процесса освоения месторождений.

В современных программных продуктах траектория МФС проектируется методом последовательного расчёта с независимым планированием основного и бокового стволов, что не позволяет учесть их

взаимозависимость. Это обуславливает необходимость разработки методов оптимизации, трактующих скважину с БС как единый объект проектирования.

Степень разработанности темы исследования

Теоретической базой исследования послужили фундаментальные работы в области технологии направленного бурения и методов проектирования траекторий скважин. В числе учёных, внесших вклад в развитие данного направления, можно выделить: С. Н. Бастрикова, А. Г. Калинина, В. В. Кульчицкого, А. З. Левицкого, Л. М. Левинсона, Б. А. Никитина, С. А. Оганова, Г. С. Оганова, А. С. Повалихина, К. М. Солодкого, В. М. Шенбергера, А. Т. Bourgoyne, S. Robello, S. J. Sawaryn, L. Zhengchun и других.

Возможность применения МФС в буровой практике для ОРД и одновременно-раздельной закачки и добычи (ОРЗиД) рассмотрена в работах: А. И. Пономарева, И. З. Денисламова, А. М. Насырова и других авторов. Теоретическое и прикладное обоснование изменения функционального назначения скважины на различных этапах разработки залежи представлено в трудах А. Ф. Аржанова и других исследователей.

Установлено, что вопросы проектирования траекторий скважин с учётом специфики разработки сложнопостроенных месторождений недостаточно проработаны, что не позволяет реализовать в рамках одной скважины несколько технологических функций на различных этапах её эксплуатации.

Цель диссертационной работы – Повышение эффективности строительства МФС на сложнопостроенных месторождениях путем оптимизации разветвленной траектории ствола.

Основные задачи исследования

1. Проанализировать результаты теоретических исследований и практический опыт бурения ННС и БС на различных этапах разработки сложнопостроенных месторождений Западной Сибири.
2. Обосновать положение точки разветвления БС в МФС для достижения оптимальных параметров профиля (зенитный угол, интенсивность искривления и общая длина стволов) и разработать алгоритм аналитического расчета.
3. Разработать методику оптимизации траектории МФС, учитывающую геолого-технические и технологические условия бурения.
4. Провести апробацию разработанной методики на месторождениях Западной Сибири с целью выявления потенциала для широкого масштабирования при бурении разветвленных скважин сложной конструкции.

Объектом исследования является траектория МФС.

Предметом исследования являются параметры профиля МФС (зенитный угол, интенсивность искривления и общая длина стволов).

Научная новизна работы

1. Предложено обоснование положения точки разветвления БС при проектировании траектории МФС, основанное на первоначальном направлении на эту точку с последующей коррекцией на геологическую цель. Это позволяет спроектировать разветвленную траекторию скважины с минимальной длиной без изменения первоначальных координат целевых точек.
2. Предложено аналитическое выражение для определения координат точки забуривания БС, которое, основанное на выявленной нелинейной зависимости длины горизонтальной проекции от параметров точки разветвления, позволяет оптимизировать траекторию МФС и сократить общую длину скважины.

3. Разработана методика оптимизации траектории МФС, сочетающая вариационное исчисление и геометрическое моделирование местоположения точки забуривания БС, что позволяет сократить общую длину профиля примерно на 3% относительно существующих методов проектирования.

Теоретическая значимость работы

Полученные результаты расширяют методы расчета траекторий МФС, основанные на численных методах оптимизации их пространственной конфигурации при сохранении заданных параметров профиля для вскрытия двух целевых горизонтов.

Практическая значимость работы

1. Результаты диссертационной работы подтверждают практическую применимость разработанной методики и свидетельствуют о её экономической эффективности, выраженной в сокращении капитальных затрат на бурение МФС примерно на 2,5–6,2 %.

2. Методика оптимизации траектории МФС используются при разработке проектной документации на строительство скважин на действующих и вновь разрабатываемых месторождений Западной Сибири.

3. Разработан программный продукт, основанный на методах вариационного исчисления и геометрического моделирования, который позволяет автоматизировать процесс определения местоположения точки забуривания БС.

4. Аналитическое выражение для определения координат точки забуривания БС интегрировано в сертифицированный программный комплекс, используемый в проектных и производственных подразделениях Компании.

5. Разработанная методика оптимизации траектории МФС позволяет снизить статические и динамические нагрузки, возникающие

при подъеме бурильных и обсадных колонн в процессе строительства скважин.

Методология и методы исследования

В процессе исследования и решения основных задач диссертационной работы применялись комплексные методы научного анализа (включая анализ и синтез), а также современные подходы к моделированию, такие как математическое моделирование, количественный анализ и статистические методы.

Положения, выносимые на защиту

1. Обоснование проектирования траектории МФС предполагает определение направления к точке разветвления БС с последующей коррекцией, ориентированной на геологическую цель. Это позволяет спроектировать разветвленную траекторию скважины с минимальной длиной без изменения первоначальных координат целевых точек.

2. Методика оптимизации траектории МФС включает аналитическое выражение для определения координат точки забуривания БС, учитывающее нелинейную зависимость длины горизонтальной проекции от параметров точки разветвления.

3. Функциональность разработанной программы, основанная на совершенствовании траектории МФС, вариационном исчислении и геометрическом моделировании, обеспечивает алгоритмическое обоснование положения точки забуривания БС и повышение технико-экономических показателей путём сокращения общей длины скважин примерно до 3%.

Личный вклад заключается в обобщении и систематизации теоретических разработок и практического опыта в области бурения, проведении комплекса аналитических расчётов, выявлении ключевых закономерностей, разработке рекомендаций по оптимизации процессов и

реализации полученных результатов при проектировании строительства скважин.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность научных положений и выводов диссертационной работы обоснована корректностью проведенных аналитических исследований и подтверждена фактическими результатами бурения на семи скважинах сложнопостроенных месторождений дочернего общества.

Результаты диссертационного исследования использованы при подготовке нормативного документа «Положение о разработке схем кустования на месторождениях российских нефтедобывающих организаций», введенного в действие приказом № 23 от 28.01.2026.

Основные положения и материалы диссертационной работы были представлены на следующих конференциях: XIII конференции молодых ученых и специалистов филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» (г. Тюмень, 2013 г.); XIV конференции молодых специалистов, работающих в организациях, осуществляющих деятельность, связанную с использованием участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (г. Ханты-Мансийск, Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В. И. Шпильмана, 2014 г.); Международной конференции «НЕФТЬ И ГАЗ-2015» (г. Москва, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, 2015 г.); Национальной научно-практической конференции с международным участием «Нефть и газ: технологии и инновации» (г. Тюмень, 2021 г.); Международных научно-практических конференциях «Технологические решения строительства скважин на месторождениях со сложными геолого-технологическими условиями их разработки» (г. Тюмень, 2021, 2022, 2023 гг.).

Публикации

По результатам диссертационной работы подготовлено 14 публикаций, в том числе которых: 6 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, индексируемых ВАК Минобразования и науки РФ; 4 статьи в рецензируемых журналах, входящих в базы данных Web of Science, Scopus; 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин в части следующих пунктов: пункт 2: «Конструкции скважин. Профиль и технология проводки вертикальных, наклонных, а также горизонтальных скважин, в том числе с разветвлёнными стволами. Геонавигация в процессе бурения»; пункт 5: «Осложнения и предупреждение осложнений при строительстве скважин. Прогнозирование аварийных инцидентов с буровым инструментом, факторов, влияющих на риски при строительстве скважин. Технологии и технические средства для ликвидации осложнений и аварий в скважине. Методы и технологии обеспечения устойчивости ствола скважины».

Объём и структура работы

Диссертационная работа объемом 144 страницы машинописного текста содержит 19 таблиц, 60 рисунков и 4 приложения. Структура работы включает введение, четыре главы, основные выводы и рекомендации. Список использованных источников насчитывает 127 наименований.

Автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору Е. Г. Гречину, доктору технических наук, профессору С. Н. Бастрикову и кандидату технических наук, доценту Г. Н. Шешуковой за поддержку и помощь, оказанные при работе над диссертацией, а также коллегам за обсуждение результатов и ценные замечания. Особую благодарность автор выражает своему научному руководителю, доктору

технических наук, профессору В. Г. Кузнецову за неоценимую помощь в выполнении данной работы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определена цель исследования, сформулированы задачи, научная новизна, показана практическая значимость темы работы и степень её разработки. Описаны научная и практическая значимость проведённых исследований.

В первой главе проанализирован опыт бурения ННС и БС на сложнопостроенных месторождениях дочернего общества, характеризующихся совместным залеганием нефти, газа и воды с различающимися физико-химическими свойствами. Геологическая неоднородность пластов и различия в их фильтрационно-емкостных характеристиках, давлениях и динамике истощения требуют применения специализированных подходов к разработке данных месторождений.

В результате анализа показателей бурения эксплуатационных скважин за период с 2018 по 2022 год было установлено, что ежегодно в среднем бурится 410 ННС (рисунок 1).

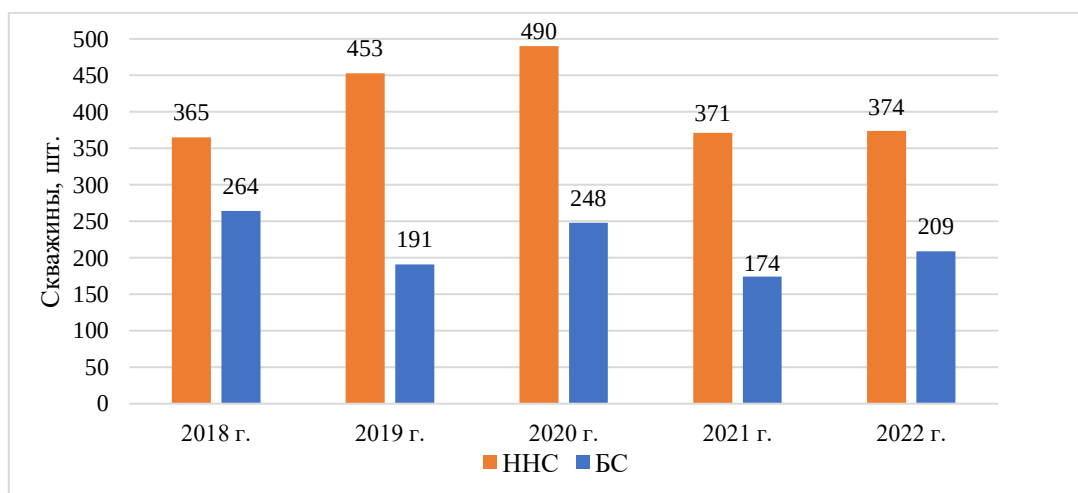


Рисунок 1 – Динамика бурения скважин

На современном этапе с развитием наклонно-направленного бурения и совершенствованием системы размещения эксплуатационного фонда на кустовых площадках профиль скважин стал более сложным. Это

проявляется в увеличении зенитного угла, интенсивности пространственного искривления и глубины скважин. В настоящее время наблюдается рост числа поисково-разведочных скважин с пилотными стволами, предназначенных для сбора геологических данных, что позволяет сократить время подготовки к бурению по сравнению со строительством одиночных разведочных скважин.

Анализ опыта наклонно-направленного бурения за 2018–2022 гг. показал, что время, затраченное на ликвидацию осложнений при спуске эксплуатационных колонн диаметром 146 и 178 мм, составило 3421 час ($\approx 142,5$ дня). В случае БС с хвостовиками диаметром 102 и 114 мм аналогичные работы потребовали значительно больше времени – 15146 часов (≈ 631 день), что в 4,4 раза превышает показатель для ННС. Такое увеличение связано с частыми посадками и прихватами, а также со сложностью траекторий бурения БС, которые в большинстве случаев требуют переподготовки ствола и повторного спуска хвостовика. Важно отметить, что 86 % пробуренных в период 2021–2022 гг. БС осуществлялось из ранее пробуренных ННС.

Для оптимизации построения траектории МФС с одним БС необходимо провести анализ методов расчета профиля. При этом необходимо принять во внимание, что вопросы влияния траектории основного ствола на характеристики БС в процессе планирования недостаточно изучены.

Во второй главе рассмотрены теоретические предпосылки построения траекторий МФС. Приведён алгоритм расчёта траекторий с наклонно-направленным, горизонтальным и разветвлённо-горизонтальным окончанием. Также определены требования к таким профилям при бурении на месторождениях Западной Сибири.

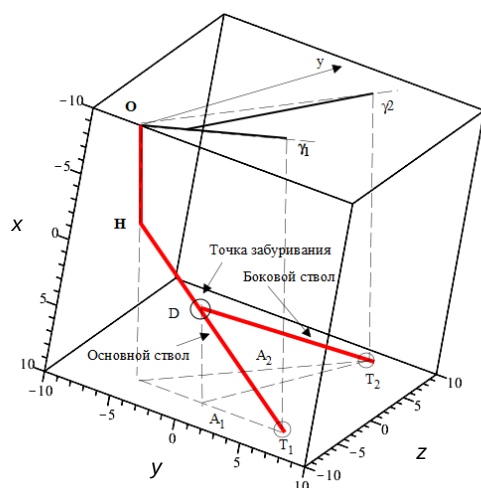
Бурение МФС, характеристики которых зависят от параметров основного ствола, включает следующие области применения:

многоствольные (МСС); возвратные объекты, разрабатываемые методом забуривания БС из ранее пробуренных скважин; поисково-разведочные скважины с последующим бурением БС; в некоторых случаях ННС с пилотным стволом для доразведки краевых зон.

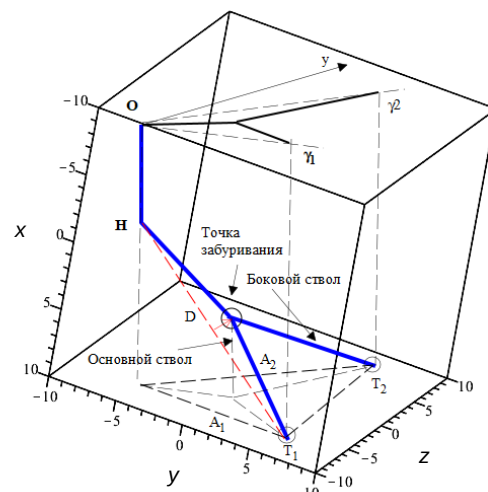
Теоретические исследования методов построения траекторий МФС на несколько геологических целей позволяют выявить существенные недостатки в применяемых расчетах. В частности, не учитывается положение точки забуривания БС, что ограничивает возможности оптимизации параметров профиля скважины. Предлагаемые расчёты выполняются в вертикальной плоскости и определяют положение точки разветвления БС по длине основного ствола.

Основным критерием оптимизации траекторий МФС считается минимизация общей длины проходки, включая суммарную длину основного и бокового стволов. При этом, проводка БС выполняется с направленным подходом к заданной цели, обеспечивая минимальные затраты на реализацию, соблюдение безопасных расстояний до соседних скважин и использование доступных технологий и оборудования.

По традиционной технологии бурение на цель (T_1) осуществляется в заданном направлении с использованием плоского профиля, после чего производится забуривание БС на определенной глубине. Этот подход можно считать базовым вариантом профиля. Вместе с тем, в зависимости от расположения цели (T_2), большая длина БС может привести к значительным осложнениям при бурении и спуске обсадной колонны. Поэтому целесообразно приблизить точку забуривания к цели (T_2) путём изменения траектории основного ствола скважины. Концептуально данное предположение можно описать, отобразив все участки профиля на горизонтальной плоскости (рисунок 2).



а) Базовый вариант

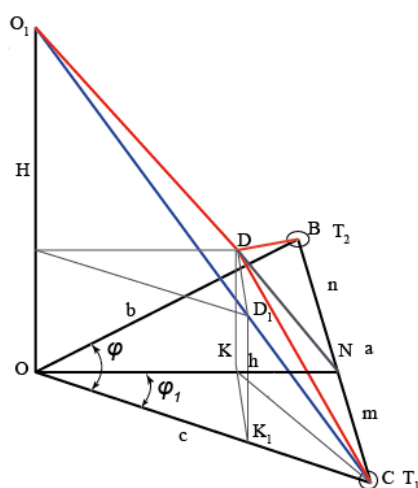


б) Оптимизированный вариант

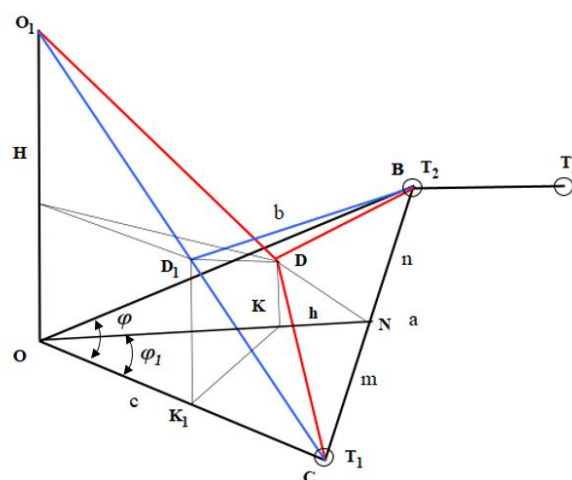
Рисунок 2 – Траектория МФС

Базовый вариант траектории МФС включает точку вскрытия пласта для основного ствола (T_1) и точку вскрытия пласта для БС (T_2) (рисунок 2а). Оптимизированный вариант траектории предполагает смещение точки разветвления БС (D) в сторону точки (T_2) по горизонтальной оси профиля БС (рисунок 2б).

В первом приближении, при известной глубине забуривания БС, определение локальных координат точки разветвления БС в ННС (рисунок 3а) и БС с горизонтальным окончанием (БГС) (рисунок 3б) выполняется с использованием расчётной схемы, представленной на рисунке 3.



а) ННС с БС



б) ННС с БГС

Рисунок 3 – Расчётная схема определения координат точки разветвления БС/БГС в ННС

С учетом геолого-технических ограничений (например, наличия водонасыщенных пластов) подбирается глубина забуривания БС, после чего выполняется расчёт координат точки разветвления БС в ННС.

При планировании и принятии проектных решений координаты точки забуривания БС определяются на основе известных координат устья (O) и геологических целей бурения (T_1, T_2). Варианты расположения устья скважины относительно геологических целей при бурении ННС с БС сводятся к трём основным типам (рисунок 4).

Для удобства анализа направление OT_1 показано горизонтальной линией. В первом случае точка K высоты T_2K треугольника OT_1T_2 находится левее середины OT_1 (рисунок 4а), во втором – посередине (рисунок 4б), а в третьем – с правой стороны (рисунок 4в).

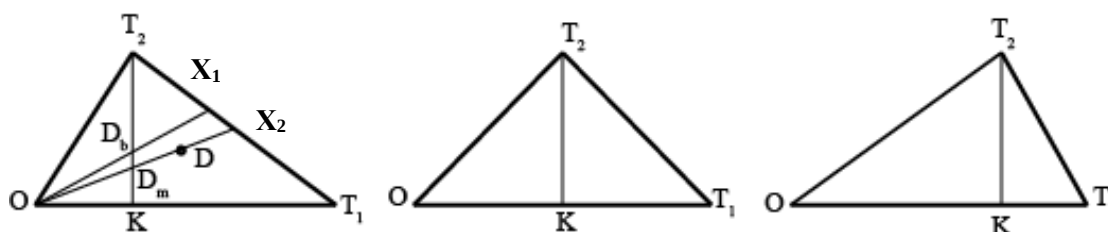


Рисунок 4 – Типы скважин по взаимному расположению устья и геологических целей

Базовый вариант профиля скважины в общем случае имеет горизонтальную проекцию, состоящую из участков OT_1 (основной ствол) и KT_2 (БС), см. рисунок 4а. Общая длина скважины будет минимальной, если БС займёт положение KT_2 , перпендикулярное OT_1 . В этом случае сумма горизонтальных проекций L участков скважины также будет минимальна.

На рисунке 5 показаны устье и забой скважины № 1 (на примере координат целей T_1 (1000; 90), T_2 (800; 30)), которые образуют треугольник OT_1T_2 с высотой T_2K . Линия биссектрисы ON пересекается с высотой T_2K в опорной точке D_b . Определение оптимального расположения точки

разветвления (D) осуществляется на основе выбранного критерия минимальной величины L .

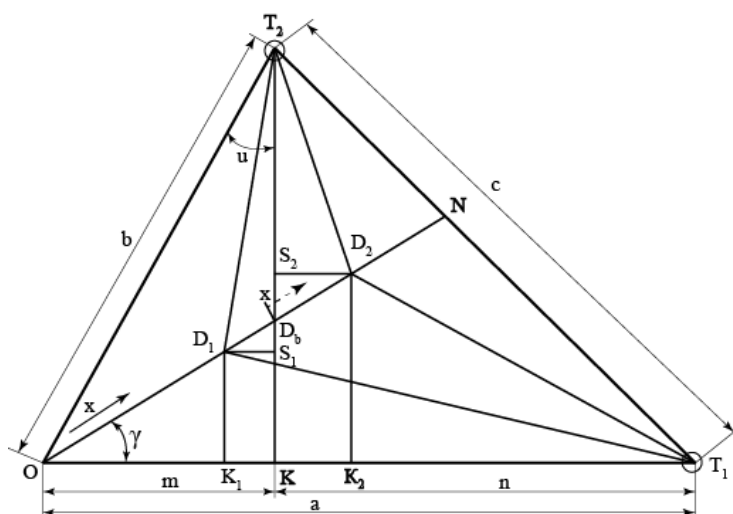


Рисунок 5 – Расчетная схема определения точки разветвления (D)

Установлена нелинейная зависимость, имеющая параболический характер, между положением точки забуривания БС и длиной горизонтальной проекции. При положении точки $D1$ общая горизонтальная проекция L траектории скважины (включая БС) равна ($OD1 + D1T_1 + D1T_2$). Если принять координату x равной смещению $OD1$ вдоль биссектрисы угла T_2OT_1 , расчёты показывают, что минимальная длина L достигается при $x \approx 500$ м (рисунок 6).

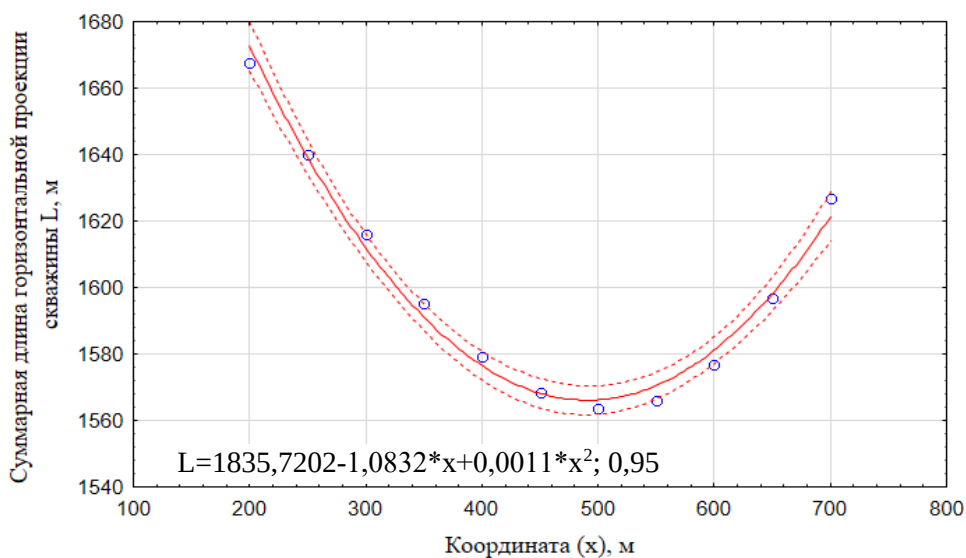


Рисунок 6 – Зависимость суммарной длины скважины L от смещения точки забуривания БС

Для определения минимума длины L координата x принята как смещение по биссектрисе оси, проведенной от точки D_b в направлении от устья скважины (показано пунктиром на рисунке 5). В этом случае для определения минимума применена процедура поиска экстремума.

Длина L выражена следующей формулой:

$$L = d + x + \sqrt{(x \cos \gamma)^2 + (H - (d + x) \sin \gamma)^2} + \sqrt{((d + x) \sin \gamma)^2 + (n - x \cos \gamma)^2} \quad (1)$$

Для поиска экстремума функции, заданной выражением (1), выполнено дифференцирование по координате x . Полученное выражение будет иметь вид:

$$F(x) = 1 + \frac{x \cos \gamma^2 + (H - (d + x) \sin \gamma)(-\sin \gamma)}{\sqrt{(x \cos \gamma)^2 + (H - (d + x) \sin \gamma)^2}} + \frac{(d + x) \sin \gamma^2 + (n - x \cos \gamma)(-\cos \gamma)}{\sqrt{((d + x) \sin \gamma)^2 + (n - x \cos \gamma)^2}} \quad (2)$$

Смещение от устья до точки экстремума D_e определяется выражением: $D_e = d + x$, где d – расстояние от устья до опорной точки D_b . При полном расчёте профиля скважины суммарная длина ствола увеличивается, однако остается минимальной, поскольку длины участков изменяются пропорционально их горизонтальным проекциям.

В рамках данной работы разработаны два алгоритма расчёта координат точки разветвления БС, учитывающие как известную, так и неизвестную глубину забуривания в ННС. Применение этих алгоритмов позволяет оптимизировать параметры профиля БС: зенитный угол (α), интенсивность искривления (i) и изменение длины ствола по сравнению с базовым вариантом траектории (ΔL).

В третьей главе разработана методика оптимизации траектории МФС с учетом оптимального положения точки разветвления (забуривания)

БС. Эффективность данной методики подтверждена практическим применением.

Выполнен сравнительный расчёт траекторий для реальных скважин при расчёте точки разветвления с применением двух алгоритмов (рисунок 7). Доказано, что применение алгоритма № 1 при планировании МФС (включая бурение БС на возвратные объекты) позволяет оптимизировать траектории скважин, при этом сокращение ΔL составляет величину от 30 до 178 м, а в БС снижается на 34–62 %, i уменьшается на 15–30 %.

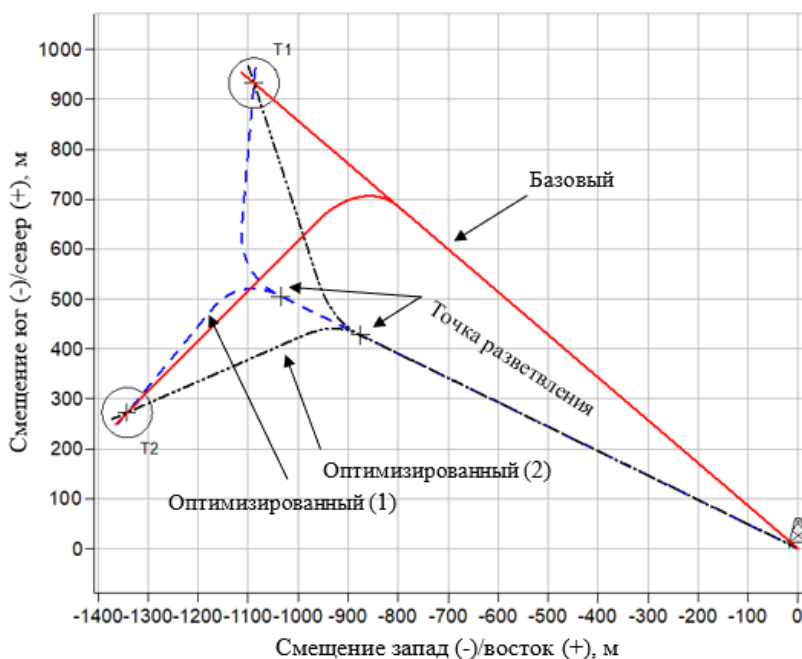


Рисунок 7 – Горизонтальная проекция МФС

Применение алгоритма № 2 при планировании МФС с пилотным стволом позволяет сократить ΔL величину от 73 до 113 м, а в пилотном стволе снизиться на 21%, а i останется без изменений.

Методика была апробирована на данных по 29 проектным скважинам. В 30 % случаев для улучшения параметров профиля ($a, i, \Delta L$) была применена предложенная методика коррекции расчёта координат точки забуривания БС. Расположение устья (O) и точек вскрытия пласта (T_1, T_2) показано на рисунке 8, пунктирная линия – проекция БС по базовому варианту планирования траектории.

С целью оценки предельных осевых напряжений, возникающих при строительстве МФС при заданных параметрах наземного бурового оборудования и бурильного инструмента, было проведено моделирование процесса бурения и спуско-подъемных операций с колоннами бурильных и обсадных труб.

1. На примере МСС увеличение осевых напряжений на основном стволе составило 12 % (алгоритм № 1) и 7 % (алгоритм № 2), а при бурении БС – снижение на 16 % (алгоритм № 1) и 10 % (алгоритм № 2).

2. На примере ННС с пилотным стволом увеличение напряжений на основном стволе достигло 30 % (алгоритм № 1) и 12 % (алгоритм № 2), а при бурении пилотного ствола – снижение на 2 % (алгоритм № 1) и 20 % (алгоритм № 2).

Результаты моделирования предельных осевых напряжений показывают, что применение методики оптимизации профиля не требует увеличения прочностных характеристик применяемого оборудования на месторождениях Западной Сибири. Оптимизированная траектория классифицируется как энергосберегающая за счёт сокращения суммарной длины стволов.

В четвертой главе описано применение методики проектирования МФС на практике, и приведены результаты апробации алгоритма оптимизации траектории.

Обоснование положения точки разветвления при построении траектории МФС было впервые апробировано при проектировании двух многоствольных скважин по технологии формирования стыка TAML-4, что включало разработку проектной документации. Новым направлением практического применения разработанной методики стало бурение пяти скважин с разведочными пилотными стволами в эксплуатационном и поисково-разведочном бурении в период с 2020 по 2025 год на сложнопостроенных месторождениях дочернего общества, что позволило сократить общую проходку по скважинам на 1,5–3,0 %.

Выполнено технико-экономическое обоснование строительства скважин на возвратные эксплуатационные объекты для двух вариантов конструкции с применением методики оптимизации. Потенциальный эффект от мероприятий (удлинение ствола ННС и уменьшение длины БС) составил: для скважины с эксплуатационной колонной диаметром 146 мм – 5,9 %, а для скважины с диаметром 178 мм – 1,1 %.

Методика оптимизации траекторий МФС с учетом оптимального расположения точки забуривания БС реализована в виде алгоритма (рисунок 9).

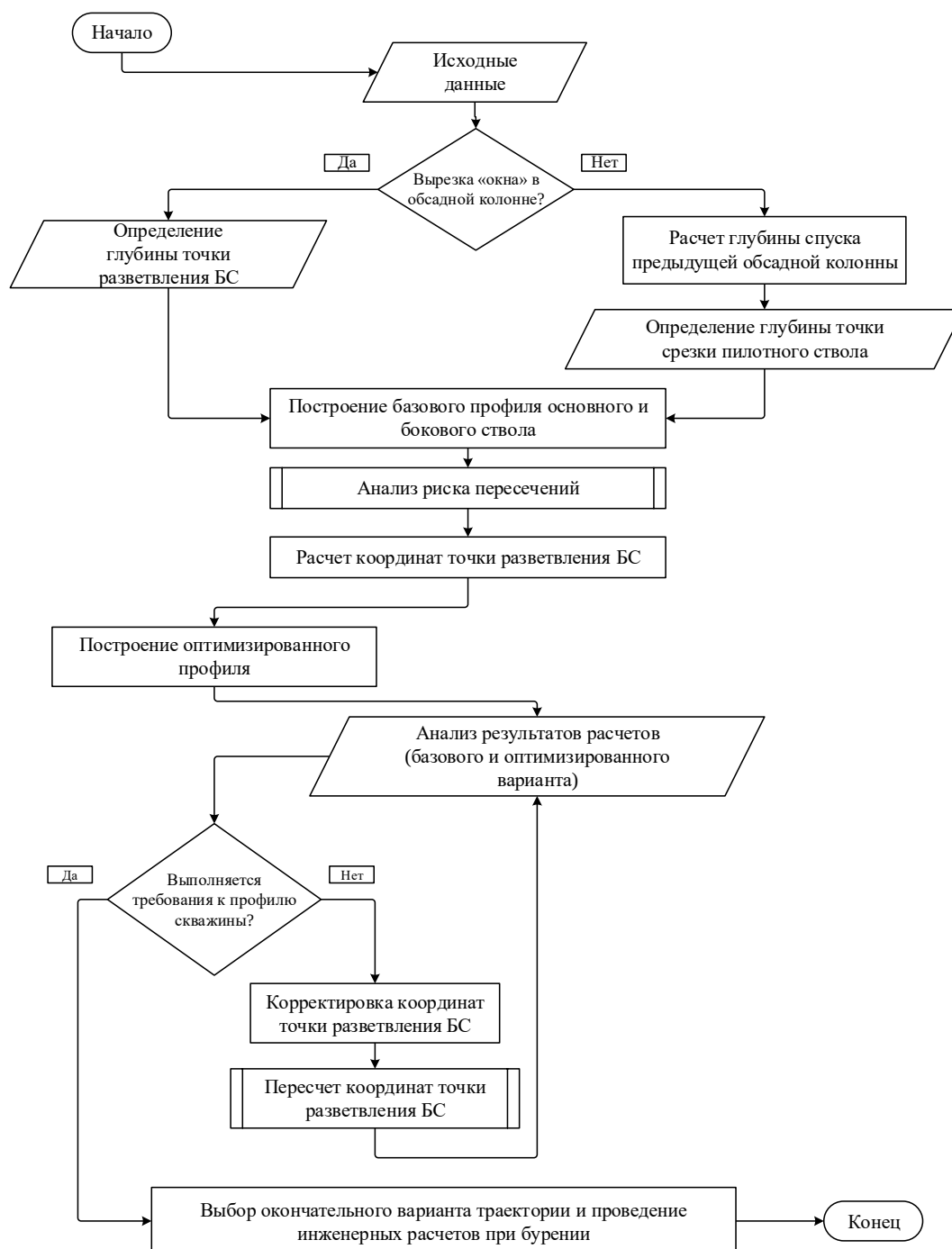


Рисунок 9 – Алгоритм проектирования траектории МФС
Разработан блок проектирования профиля для программного комплекса с использованием базы данных информационно-аналитической системы.

Разработано программное обеспечение для автоматизации и геометрического моделирования расчётов координат точки забуривания БС, основанное на предложенных алгоритмах.

Таким образом, применение методики оптимизации траекторий МФС позволяет снизить затраты на строительство за счёт сокращения общей длины скважин примерно на 3 %. Это подтверждает необходимость дальнейшего развития и применения данной методики в практике бурения скважин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведенного исследования обоснована целесообразность оптимизации траекторий МФС. Определено оптимальное положение точки разветвления БС, обеспечивающее проектирование разветвленной траектории скважины с минимальной длиной без изменения первоначальных координат целевых точек.

2. Разработан алгоритм аналитического расчёта, позволяющий определить оптимальное положение точки разветвления БС в МФС. Предложенное решение обеспечивает минимизацию общей длины скважины при соблюдении заданных параметров профиля (зенитного угла и интенсивности искривления), что обосновано учётом нелинейной зависимости между длиной горизонтальной проекции и параметрами точки разветвления.

3. Предложена методика оптимизации траектории МФС, учитывающая геолого-технические и технологические условия бурения, основанная на нескольких алгоритмах расчета для определения координат точки забуривания БС. Применение методики позволяет оптимизировать положение точки разветвления, что обеспечивает сокращение общей длины скважин примерно на 3%.

4. Апробация разработанной методики (реализованной в программном продукте) на семи скважинах месторождений со сложным

геологическим строением подтвердила её эффективность, обеспечив снижение капитальных затрат на бурение разветвленных скважин примерно на 2,5–6,2 %.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

В журналах, индексируемых в международной реферативной базе Web of Science, Scopus и других:

1. Щербаков, А. В. Изменение профиля наклонно направленных скважин для последующего бурения бокового ствола / А. В. Щербаков, Е. Г. Гречин, В. Г. Кузнецов // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 7. – С. 92-96. – DOI 10.24887/0028-2448-2020-7-92-96.

2. Усовершенствование профиля скважины с горизонтальным боковым стволом / Е. Г. Гречин, В. Г. Кузнецов, Я. М. Курбанов, А. В. Щербаков // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 4. – С. 58-61. – DOI 10.24887/0028-2448-2021-4-58-61.

3. Гречин, Е. Г. Определение оптимального местоположения зарезки бокового ствола наклонно направленной скважины / Е. Г. Гречин, В. Г. Кузнецов, А. В. Щербаков // Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 1. – С. 45-49. – DOI 10.24887/0028-2448-2022-1-45-49.

4. Автоматизация разработки проектной документации на строительство скважин / Д. Л. Бакиров, Э. В. Бабушкин, А. В. Щербаков [и др.] // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2021. – № 5(574). – С. 30-34. – DOI 10.33285/0132-2222-2021-5(574)-30-34.

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ:

5. Щербаков, А. В. Определение места забуривания дополнительного ствола в многоствольной скважине / А. В. Щербаков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 10. – С. 18-23.

6. Особенности проектирования энергосберегающих профилей скважин сложной пространственной конфигурации / А. В. Щербаков, Р. Р. Абдрахманов, Э. В. Бабушкин, В. Г. Кузнецов // Нефтепромысловое дело. – 2019. – № 9(609). – С. 14-17. – DOI 10.30713/0207-2351-2019-9(609)-14-17.

7. Оценка перспектив применения технологии строительства многоствольных скважин без использования механических стыков / Д. Л. Бакиров, Э. В. Бабушкин, А. В. Щербаков [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2020. – № 10(622). – С. 38-42. – DOI 10.30713/0207-2351-2020-10(622)-38-42.

8. Новые подходы к оптимизации схем кустования на поздней стадии разработки месторождений / Д. Л. Бакиров, Э. В. Бабушкин, А. В. Щербаков [и др.] // Бурение и нефть. – 2021. – № 4. – С. 9-12.

9. Щербаков, А. В. Применение нестандартных методов проектирования траектории скважин сложной пространственной конфигурации / А. В. Щербаков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022. – № 5(353). – С. 17-20. – DOI 10.33285/0130-3872-2022-5(353)-17-20.

10. Кузнецов, В. Г. Влияние извилистости материнского ствола скважин на технологическую эффективность бурения бокового ствола / В. Г. Кузнецов, А. В. Щербаков, Е. Е. Красильникова // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2024. – № 11(383). – С. 15-19.

Публикации в прочих научных изданиях:

11. Щербаков, А. В. Особенности построения траекторий разведочных наклонно-направленных скважин с боковым стволом / А. В. Щербаков, В. Г. Кузнецов // Нефть и газ: технологии и инновации : материалы Национальной научно-практической конференции. В 2 томах.

Том I. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. – С. 92-96.

12. Щербаков, А. В. Методика проектирования траекторий скважин сложной пространственной конфигурации / А. В. Щербаков, В. Г. Кузнецов // Технологические решения строительства скважин на месторождениях со сложными геолого-технологическими условиями их разработки : материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Виктора Ефимовича Копылова. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 187-190.

13. Щербаков, А. В. Пути повышения технико-экономических показателей строительства боковых стволов / А. В. Щербаков // Технологические решения строительства скважин на месторождениях со сложными геолого-технологическими условиями их разработки : материалы Международной научно-практической конференции. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. – С. 424-427.

Свидетельство для программы ЭВМ:

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024664270 Российская Федерация. Srezka : № 2024663570 : заявл. 18.06.2024 : опубл. 18.06.2024 / А. В. Щербаков, А. Е. Шестаков, В. Г. Кузнецов ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг».

Подписано в печать 07.07.2025. Формат 60х90 1/16. Усл. авт. л. 1,05.

Тираж 100 экз. Заказ № 3293.

Библиотечно-издательский комплекс
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Тюменский индустриальный университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.