

*На правах рукописи*



**Фаттахов Марсель Масалимович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ  
РАЗВЕТВЛЕННЫХ МНОГОЗАБОЙНЫХ СКВАЖИН**

Специальность 25.00.15 - Технология бурения и освоения скважин

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Тюмень – 2020

Работа выполнена в Филиале ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени и Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» на кафедре «Бурение нефтяных и газовых скважин».

Научный руководитель

**Бакиров Данияр Лябипович**

кандидат технических наук, заместитель директора Филиала по научной работе в области строительства скважин, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ - Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени.

Официальные оппоненты:

**Крысин Николай Иванович**

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», профессор кафедры «Горная электромеханика»

**Блинов Павел Александрович**

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», доцент кафедры «Бурения скважин»

Ведущая организация

ТатНИПИнефть - Татарский научно-исследовательский и проектный институт нефти публичного акционерного общества "Татнефть" имени В.Д. Шашина, г. Бугульма

Защита состоится «22» октября 2020 года в 10:00 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.273.11 при ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» по адресу: 625000, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Володарского, д.38, ауд. 219.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотечно-информационном комплексе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» и на сайте [www.tyuiu.ru](http://www.tyuiu.ru).

Автореферат диссертации разослан «07» сентября 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Пономарева Татьяна Георгиевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследований

Западная Сибирь остается и будет основной нефтегазоносной провинцией России еще в течение многих десятков лет. При этом для значительного количества месторождений региона становится актуальным применение новых технологий вовлечения в разработку экономически нерентабельных категорий запасов углеводородов. Кроме того, вновь вводимые месторождения удалены от центров концентрации баз поставки оборудования, инструмента, материалов, в связи с чем, возрастают затраты на разбуривание и обустройство месторождений. К примеру, по месторождениям ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь» из общего фонда скважины с проблемами выработки запасов составляют (Рисунки 1, 2):

- 29 % относится к категории контактных запасов (в условиях тонких глинистых перемычек до водонефтяного контакта (ВНК)), преимущественно по группам пластов А, Б;

- 22 % характеризуется низкой плотностью запасов (высокорасчлененные пласты с большим объемом промытых каналов), преимущественно по группам пластов Б;

- 30 % относится к категории низкопродуктивных запасов (низкопроницаемые, в т.ч. высокотемпературные объекты), преимущественно пласты групп групп Ач, Ю, Т.

В связи с этим задача исследование и внедрение технологий для эффективного вовлечения в разработку трудноизвлекаемых и низкорентабельных запасов углеводородов является актуальной. Многозабойные скважины (МЗС) являются одним из известных инструментов вовлечения в разработку продуктивных пластов, эффективным механизмом повышения охвата залежей дренированием и заводнением. Бурение многозабойных скважин с разветленно-горизонтальными окончаниями (РГС) позволяет повысить степень охвата пласта дренированием, обеспечить меньшую депрессию в системе «скважина-пласт» при дебитах, превышающих дебиты скважин с горизонтальным окончанием (ГС). Эффект от применения РГС значительно возрастает при учете профилей и ориентации их боковых ответвлений в процессе проектировании систем разработки месторождений.

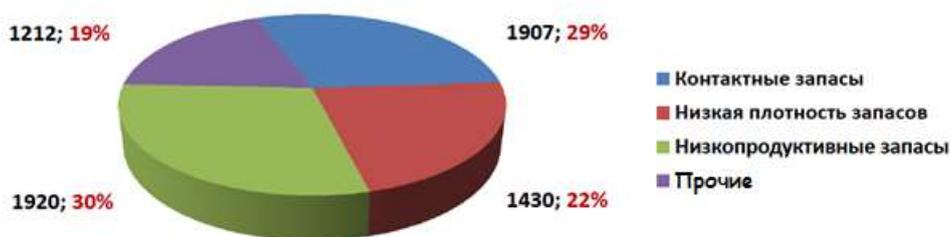


Рисунок 1 – Ранжирование добывающего фонда скважин по проблемам выработки запасов

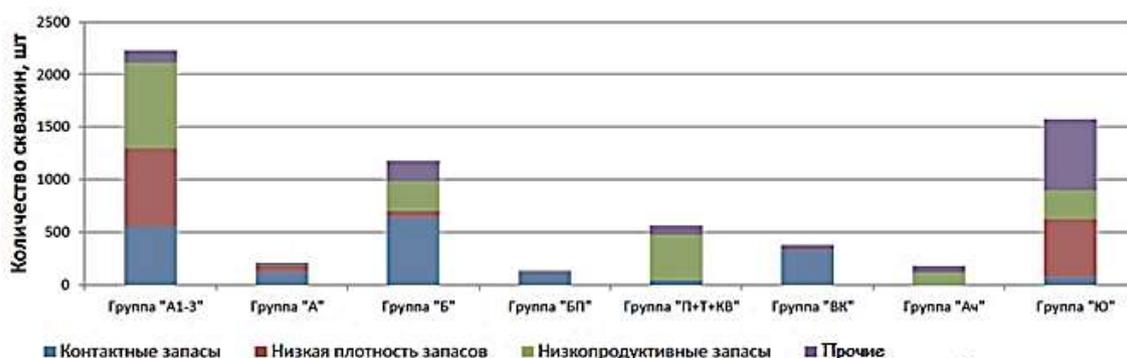


Рисунок 2 – Распределение добывающего фонда скважин по проблемам выработки запасов в разрезе групп пластов

Опыт бурения РГС в Западной Сибири выявил необходимость учета при их проектировании таких факторов, как форма профиля, место и технологии зарезки и бурения ответвлений, а также крепления ствола и последующего освоения. Отсутствие исследований по оценке значимости этих факторов на первоначальном этапе обусловило рост непроизводительного времени строительства РГС на 30-40 и более суток. В частности, отмечены проблемы с зарезкой ответвлений, необходимость многократных спускоподъемных операций (СПО) с целью подбора эффективной компоновки низа бурильной колонны (КНБК) для одновременного бурения и зарезок ответвлений, и ряд других технологических проблем строительства РГС. Поэтому комплексное совершенствование проектирования профилей и технологии бурения РГС является, несомненно, актуальной задачей, решение которой позволит эффективно внедрять многозабойное бурение и повысить эффективность вскрытия продуктивных пластов на месторождениях Западной Сибири и в других нефтегазоносных провинциях.

### **Степень разработанности темы исследования.**

Решение вопросов совершенствования проектирования, бурения и заканчивания многозабойных и многоствольных скважин, формирования новых методов разработки залежей с использованием ГС и МЗС и оценки их эффективности рассматривалось в работах А. М. Григоряна, А. И. Архипова, Д. Л. Бакирова, К. С. Басниева, С. Н. Бастрикова, М. Г. Гейхмана, С. И. Грачева, В. Г. Григулецкого, М. В. Двойникова, Динг Жу (Ding Zhu), Г. И. Зозули, В. А. Иктисанова, Р. А. Исмакова, Н. Ф. Кагарманова, А. Г. Калинина, Е. В. Колесника, В. В. Кульчицкого, А. С. Ларионова, Л. М. Левинсона, С. В. Левковича, И. С. Матиешкина, Т. М. Муртазиной, Н. А. Низамова, Б. А. Никитина, С. А. Обухова, А. С. Оганова, Г. С. Оганова, В. П. Овчинникова, А. С. Повалихина, С. В. Позднышева, А. А. Рощина, Н. Г. Салери (N.G. Salei), В. Х. Самигуллина, К. М. Солодкого, С. Х. Сохошко, Б. З. Султанова, О. О. Тагирова, Л. Х. Фокеевой, И. Н. Хакимзянова, А. Д. Хилла (A.D. Hill), Р. С. Хисамова, В. М. Шенбергера, А. В. Щебетова и других исследователей. Ими обоснованы эффективность и перспективность применения МЗС на месторождениях для увеличения показателей разработки, нефтеизвлечения, представлен опыт строительства МЗС и рассмотрены различные конфигурации МЗС с точки зрения повышения эффективности выработки запасов в различных горно-геологических условиях, изложены технологические решения по совершенствованию отдельных этапов строительства МЗС и ряд технических средств; рекомендованы возможные профили ответвлений, в том числе и из условия создания требуемой депрессии и т.д.

### **Цель работы**

Повышение эффективности строительства РГС совершенствованием технологии их бурения (научным обоснованием, проектированием, реализацией).

### **Основные задачи исследования**

1. Провести анализ используемых в современной нефтегазовой практике профилей МЗС различной конфигурации, технологии их бурения, осуществить их ранжирование по сложности технической реализации.

## 2. Разработать:

- методику определения технически возможной конфигурации РГС: максимального количества ответвлений и минимального расстояния между точками их зарезки, координат её забоев исходя из существующих геолого-технологических ограничений;

- технологию строительства РГС, обеспечивающую технологичность и сокращение процесса зарезки нового ствола в открытом горизонтальном участке (ГУ) и гарантированный спуск хвостовика в основной горизонтальный ствол.

3. Провести апробацию разработанных по итогам исследований методических и технологических решений.

4. Разработать нормативно-техническую документацию для осуществления промышленного внедрения предложенных по результатам исследований решений.

## **Научная новизна**

1. Разработана и научно обоснована методика определения в РГС максимального количества ответвлений и минимально допустимых расстояний между точками их зарезки, допустимых областей заложения забоев ответвлений с учетом существующих геолого-технических ограничений (характеристик КНБК, геолого-геофизических характеристик пласта на участке бурения).

2. Научно обоснована и реализована в промысловых условиях технология строительства РГС с последовательным «сверху-вниз» забуриванием боковых ответвлений вдоль основного горизонтального ствола, повышающая успешность зарезок нового ствола из горизонтального участка на 60 % и обеспечивающая гарантированный безаварийный спуск хвостовика в основной горизонтальный ствол за счет применения в интервалах зарезок специальных профилей основного ствола и ответвлений.

3. Теоретически установлено, что в процессе бурения и зарезки стволов РГС с использованием одной КНБК постоянной «жесткости» площадь контакта вооружения долота с горной породой в нарабатываемом уступе увеличивается до двух раз, в случае применения специального профиля с локальным подъемом траектории открытого ствола и зарезки в нем ответвления с падением зенитного угла (ЗУ).

## **Теоретическая и практическая значимость работы**

1. По сравнению с ГС, кроме геометрического увеличения охвата пласта дренированием за счет бурения ответвлений, до 25 % прироста вскрытых проницаемых нефтенасыщенных интервалов при строительстве РГС обеспечивается за счет осуществления более точного проложения второго и последующих ответвлений по нефтенасыщенным пропласткам, по результатам уточнения геологического разреза в процессе бурения предшествующих ответвлений.

2. По результатам теоретических и опытно-промышленных исследований разработан и внедрен в ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» «Технологический регламент по планированию и строительству многозабойных скважин на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» (Приказ о введении в действие № 23 от 04.02.2015 г.).

3. Разработаны 4 групповых проекта на строительство МЗС в различных условиях вскрытия продуктивного пласта, на основании которых успешно пробурены 15 четырех-шести и 106 трехзабойных РГС на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь».

4. Разработанные в диссертации методические и технологические решения за счет снижения непроизводительных работ позволяют повысить коммерческую скорость строительства РГС на 15%.

5. На основании научных и промысловых исследований изданы монография «Многозабойные скважины: практический опыт Западной Сибири», учебное пособие для ВУЗов «Сооружение боковых отводов при строительстве многозабойных скважин».

## **Методология и методы исследования**

Методика исследований носит экспериментально-теоретический характер и включает анализ теоретических и технологических решений в области строительства ГС и РГС, методов проектирования конструкций таких скважин; использовался комплекс математико-статистических расчетов показателей и критериев оценки сложности технической реализации профилей скважин.

## **Положения, выносимые на защиту:**

1. Технология бурения РГС, предусматривающая применение специального профиля скважины и очередности бурения ответвлений,

повышающая успешность зарезок нового ствола из горизонтального участка на 60% и обеспечивающая гарантированный безаварийный спуск хвостовика в основной горизонтальный ствол.

2. Методика обоснования технически реализуемой на практике конфигурации разветвленной РГС (количество стволов, оптимальные точки зарезки ответвлений и допустимые области заложения их забоев).

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается уровнем и корректностью аналитических исследований, воспроизводимостью полученных данных и результатами опытно-промышленного внедрения.

Результаты диссертационной работы и основные положения докладывались на: III научно-практической конференции «Проблемы нефтегазового комплекса Западной Сибири и пути повышения его эффективности», г. Тюмень, 2011 г.; XX юбилейном Конкурсе на лучшую молодежную научно-техническую разработку по проблемам топливно-энергетического комплекса. – Минэнерго РФ, 2013 г.; Российской технической нефтегазовой конференции и выставке SPE по разведке и добыче, 14-16 октября, 2014 г., Москва, Россия; конференции молодых ученых и специалистов Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени, г. Тюмень, 2014 г.; IV, V и VI международных инновационных форумах «НЕФТЕГАЗТЭК» в г. Тюмень, 2013, 2014, 2015 годы; на семинарах заседаний кафедры «Бурения нефтяных и газовых скважин» УГНТУ, заседаниях Президиума научно-технического совета ПАО «ЛУКОЙЛ» 2014 г. (Протокол № 3 от 18.11.2014), ученого совета ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» 2015 г. (Протоколы заседаний № 10\_13 от 18.11.2013, № 04\_15 от 20.04.2015), семинарах и совещаниях с научными и производственным подразделениями ПАО «ЛУКОЙЛ» 2014 г., 2016 г. (Протокол № ВМ-01сл «Опыт строительства многозабойных и многоствольных скважин в ПАО «ЛУКОЙЛ» от 24.01.2014, Протокол № 13–01П «Выбор объектов, проектирование и строительство многозабойных и многоствольных скважин» от 27.02.2014, Протокол № 17/2–07–129 «Рассмотрение результатов строительства многоствольных и многозабойных скважин в 2013 году и планирование строительства многоствольных и многозабойных скважин на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» в 2014 году» от 08.04.2014,

Протокол № 13–02П по результатам проведения «Тематического семинара по вопросам строительства многоствольных, многозабойных скважин и технологий их заканчивания . . .» от 07–08 июня 2016 г.); на заседаниях кафедр «Бурение нефтяных и газовых скважин» УГНТУ и ТИУ.

### **Публикации**

Основные научные положения и результаты диссертационной работы освещены в 23 научных трудах, из них 11 в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 12 публикаций в изданиях, индексируемых в базе данных РИНЦ, одна монография.

### **Объем и структура работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и основных выводов; изложена на 185 страницах машинописного текста и содержит 79 рисунков, 21 таблицу, 49 формул и список литературы из 93 наименования.

*Автор выражает благодарность научному руководителю, сотрудникам кафедр «Бурение нефтяных и газовых скважин» УГНТУ и ТИУ за ценные замечания при обсуждении работы, коллегам-производственникам за помощь при внедрении разработанных технологических решений.*

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследований, определены цель и основные задачи диссертационной работы, сформулированы научная новизна и практическая ценность работы.

**В первой главе** с учетом обобщения опыта исследований отечественных и зарубежных ученых проведен анализ областей применения ГС и РГС, геолого-технологических особенностей их бурения в различных регионах, выполнена классификация реализованных на практике профилей МЗС.

На основании выполненного анализа сформулированы выводы:

1. С точки зрения успешности реализации одним из технологически сложных процессов при строительстве РГС является зарезка ответвлений в ГУ по причине необходимости доведения требуемой нагрузки в условиях возрастания фактора трения и отсутствия технологической опоры для зарезки (клина-

отклонителя, опорного цементного моста и т. д.). Также актуальна проблема гарантированного попадания в требуемый ствол скважины при СПО в процессе бурения и крепления ствола. В условиях месторождений Западной Сибири (с нефтенасыщенными толщинами от 2-3 м) наиболее востребовано применение РГС, для которых характерны выше обозначенные проблемы. Поэтому вопрос оптимизации профилей РГС принят для дальнейшей проработки как в части методики проектирования, так и технологии резки и бурения ответвлений.

2. Вместе с тем, опыт бурения РГС с тремя и более забоями ограничен, в том числе по причине технологической сложности проведения многочисленных резок ответвлений в горизонтальных участках в условиях пластов с незначительными нефтенасыщенными толщинами.

3. Установлена актуальность и необходимость совершенствования в части разработки методических основ обоснования количества ответвлений, расстояний между точками их резки, расположения забоев, исходя из существующего уровня бурового оборудования и геологических условий залегания целевого пласта.

**Во второй главе** представлены методики исследований, применявшиеся при выполнении диссертационной работы.

Для выполнения расчетов профилей приняты формулы расчета участков стабилизации, набора (падения) параметров кривизны, используемые при расчете профилей наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Для оценки устойчивости КНБК и расчетов напряжений, возникающих в бурильном инструменте, при выполнении различных технологических операций в интервале ГУ (СПО), бурение с забойными двигателями и роторным способом применялось программное обеспечение Landmark. Для реализации в процессе бурения предложенных в работе технико-технологических и методических решений использовались забойные телеметрические системы (ЗТС) с гидравлическим каналом связи, обеспечивающие возможность реализации предложенных в работе решений.

В ходе исследований, с целью снижения затрат, рассмотрена технология бурения и резки ответвлений РГС из необсаженного открытого ствола с применением одной КНБК. Для этого выполнен анализ различных методов наработки желобов. В частности, в качестве базы рассмотрена предложенная

М. Г. Григорьяном технология наработки желоба с использованием компоновок, формирующих профиль нового ствола с интенсивностью большей, чем по ранее пробуренному стволу, за счет забуривания ответвления в направлении, противоположном наклону (кривизне) ранее пробуренного ствола. Данный метод подразумевает использование различных КНБК и, соответственно, требует дополнительных СПО. Применительно к глубокозалегающим пластам месторождений Западной Сибири, исходя из экономической целесообразности, бурение всех стволов РГС необходимо осуществлять одной компоновкой без выполнения промежуточных СПО. Для этого случая было установлено изменение площади контакта вооружения долота с горной породой наработанного уступа при зарезке нового ствола в противоположную сторону относительно направления кривизны предыдущего ствола, из условия бурения обоих стволов КНБК с неизменной «жесткостью» в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3.

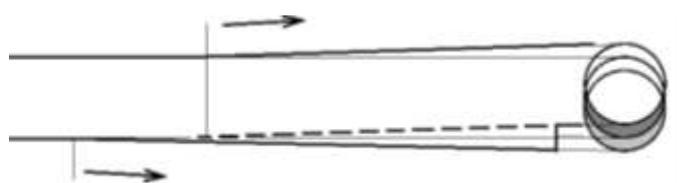


Рисунок 3 – Сравнение схем наработки «уступа» в прямолинейном ГУ и в ГУ с локальным поднятием профиля

Согласно расчетам, выполненным в соответствии с вариантами, представленными на рисунке 4, при таком способе наработки желоба в открытом стволе относительно варианта зарезки в прямолинейном ГУ площадь контакта долота с наработанным «уступом» по предложенной схеме увеличивается до двух раз. Это объясняется тем, что при локальном поднятии профиля и при наработке желоба используют одну и ту же КНБК (СПО не требуется) без изменения угла перекоса в забойном двигателе. При этом гравитационное положение отклонителя GTF (Gravity Tool Face) – угол между верхней точкой ствола и корпусом отклонителя КНБК – в двух рассматриваемых случаях отличается на  $180^\circ$ . В сравнении с наработкой желоба в прямолинейном ГУ, реализацию рассмотренного способа зарезки в РГС нового ствола можно выполнить при меньшей протяженности желоба, нарабатываемого в открытом стволе.

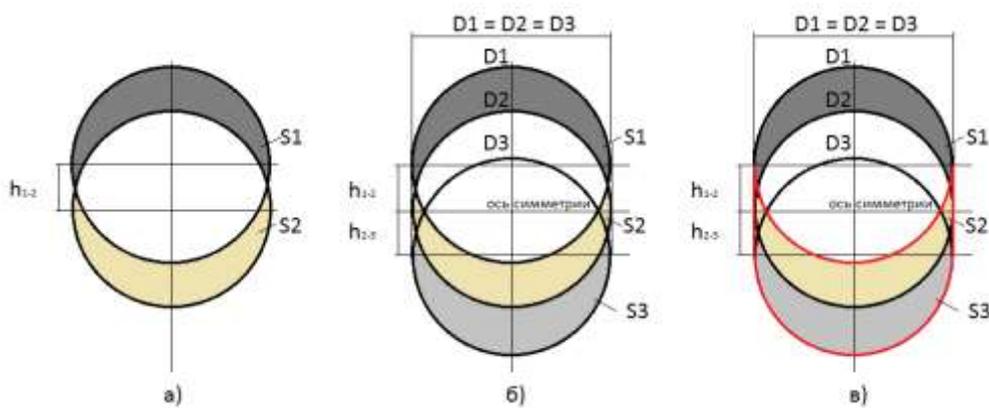


Рисунок 4 – Сопоставление площадей нарабатываемых уступов при различных способах резки:

а, б – соответственно, с формированием и без формирования локального подъема профиля,  
в – площадь уступа, наработанного под вооружением долота (выделена красной линией)

С учетом того, что при использовании традиционных для бурения ГС КНБК для формирования локального подъема и наработки желоба с уступом обычно достаточно 10-20 м проходки, было определено, что для реализации предложенного способа в интервалах резки ответвлений (на 20 м выше и на 20 м ниже по стволу) требуется вертикальный коридор не менее  $\pm 1,5$  м (для остальных участков горизонтального ствола  $\pm 0,7$  м). Следовательно, рассматриваемый метод резки ствола в РГС может использоваться при нефтенасыщенных толщинах от 3 м и более, характерных для большинства месторождений Западной Сибири.

**В третьей главе** приводится обоснование:

- критериев оперативной оценки технологичности профилей РГС;
- методики определения технически допустимой конфигурации разветвленной РГС (максимального технически возможного количества забоев, минимально технически допустимых расстояний между точками резки ответвлений, допустимой области заложения их забоев), определяемой из существующих геолого-технических ограничений.

Для повышения эффективности проводки РГС должно выполняться поэтапное совершенствование профилей из условия обеспечения технологичности процесса их проводки, а также обоснование минимальной

длины ответвления, в том числе из условия минимизации взаимной интерференции между ответвлением и основным горизонтальным стволом РГС.

Для этого профили РГС распределены на две условные категории: тип 1 («технологичный» профиль) – успешно реализуемый с использованием типового для бурения ГС бурильного инструмента; тип 2 («нетехнологичный» профиль) – реализуемый со значительным непроизводительным временем при использовании этого же бурильного инструмента. Также обоснованы критерии оперативной оценки соответствия РГС профилю типа 1 и формулы для оперативной оценки основных параметров профилей, представленные далее (таблица 1).

Таблица 1 – Критерии для выбора РГС с профилем 1-го типа

Критерий выбора скважины (проектных целей)		Оптимальные значения	
		от	до
Толщина нефтенасыщенного интервала на участке бурения		3	> 3
Смещение на точку вскрытия пласта Т <sub>1</sub> , м	Глубина по вертикали 1800 м	600	1700
	Глубина по вертикали 2300 м	650	2300
	Глубина по вертикали 2800 м	700	2900
	Глубина по вертикали 3300 м	750	3500
Отклонение азимута ГУ в точке резки ответвления относительно азимута участка стабилизации в наклонно-направленном (не горизонтальном) участке ствола, град.		-(90...100)°	+(90...100)°
Примечание: при соответствии данным критериям профиль РГС принимается как технологичный с точки зрения процесса бурения (тип 1). При несоответствии параметров профиля РГС данным критериям профиль считается технологически «сложно» реализуемым (тип 2) и для его реализации требуются нестандартные технико-технологические решения..			

**Критерий – смещение точки вскрытия продуктивного пласта.** Анализ успешности выполнения срезов в РГС из ответвлений в основной горизонтальный ствол, представленный на рисунке 5, дает основание утверждать, что при достаточном смещении начала ГУ (точки Т<sub>1</sub>) от устья скважины в  $\frac{3}{4}$  случаев они проходят без осложнений. Рекомендуется определять минимальное смещение точки Т<sub>1</sub> исходя из принципа исключения «ухода профиля под себя» (с ЗУ 10-15° на участке стабилизации наклонно-направленного участка профиля), обеспечивая при этом более равномерное доведение нагрузки на долото и улучшая процесс «срезки». Согласно данным, представленным на рисунках 5 и 6,

при достаточном смещении начала ГУ продолжительность «срезок» может быть сокращена до двух раз, а доля успешных срезок - увеличена с 15% до 75%.

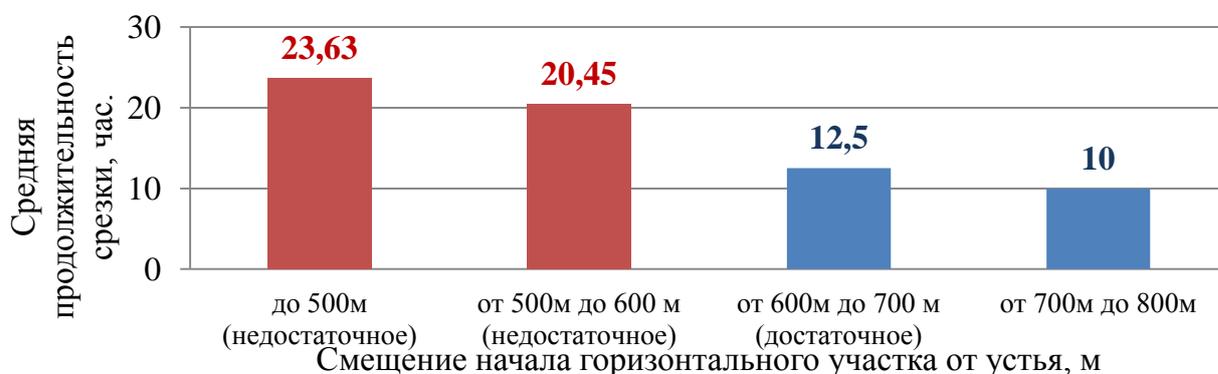


Рисунок 5 – Влияние удаленности точки  $T_1$  от устья скважины на продолжительность срезов в РГС (на примере группы пластов АВ)

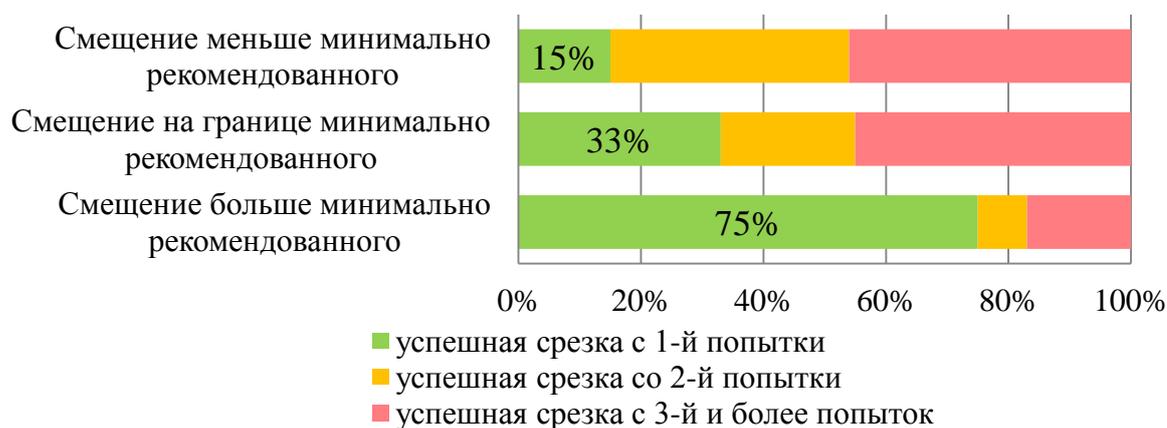


Рисунок 6 – Влияние удаленности точки  $T_1$  от устья на успешность срезов в РГС

Следующий *критерий - разворот горизонтального участка по азимуту* (ниже точки  $T_1$ ) относительно первоначального азимута бурения транспортного участка ствола (до точки  $T_1$ ). Схема для расчетов представлена на рисунке 7; результаты расчетов – на рисунке 8, из которого следует, что при отклонении ГУ от первоначального азимута до 90-100° практически не изменяются напряжения в бурильном инструменте, возникающие в процессе проводки ствола, что обуславливается несущественным влиянием при таком профиле фактора трения и, как следствие, режим наработки желоба и зарезки нового ствола в ГУ является более технологичным, чем при большем азимуте разворота профиля.

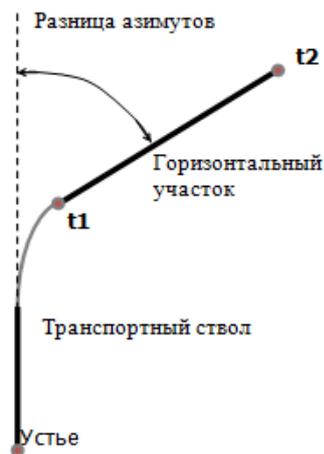


Рисунок 7 – Расчетная схема

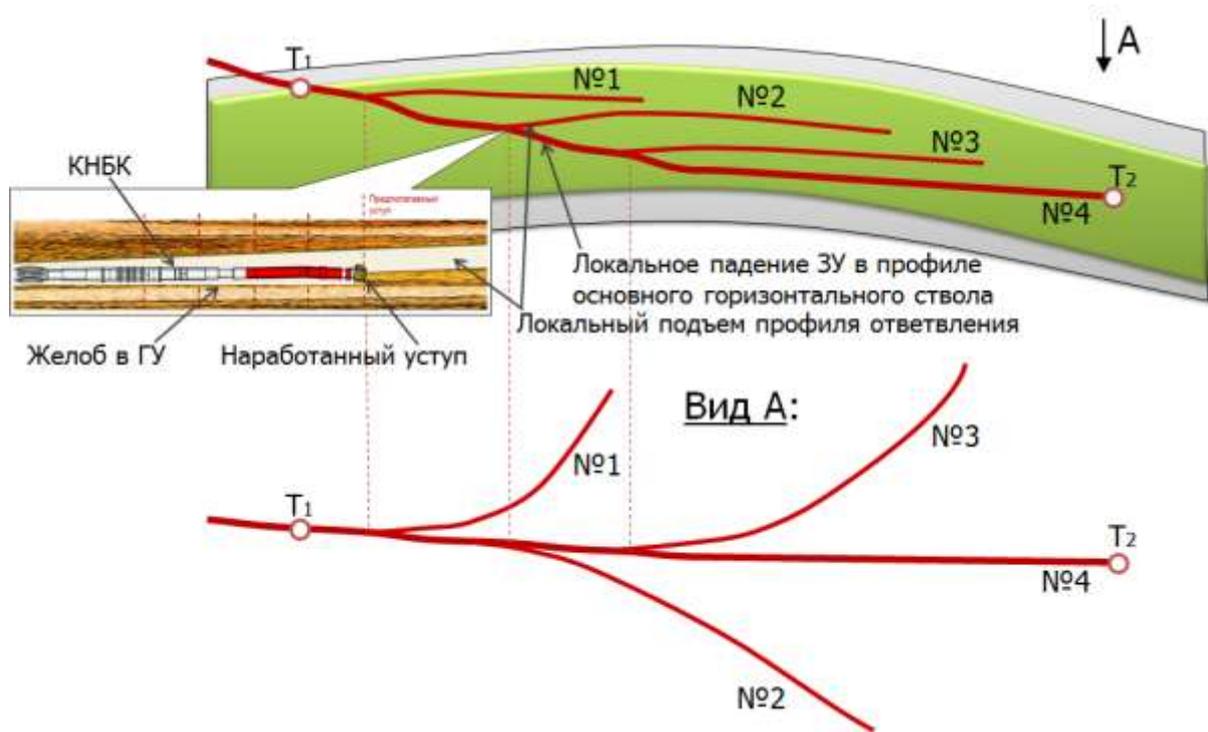


Рисунок 8 – Зависимость напряжений, возникающих в бурильном инструменте при бурении ГУ под хвостовик, от величины разницы азимутального направления бурения транспортного и ГУ профиля

**Основные параметры профиля РГС** – длина основного ГУ, количество забоев, расстояние между забоями скважины – устанавливаются, исходя из проектных решений по разработке залежи, моделирования и уточнения геологических условий по участку бурения. Для этого, в соответствии с разработанной в диссертации методикой, предварительно уточняется технически реализуемая на практике конфигурация РГС, и определяются координаты значимых точек профиля РГС в интервале продуктивного пласта (начало и окончание основного ствола, боковых ответвлений и т. д.).

При разработке методики приняты следующие положения:

А) было обосновано и принято, что при проектировании строительства и эксплуатации РГС, условная схема профиля которой представлена на рисунке 9, с применением геолого-гидродинамических моделей ГУ его основного ствола можно считать условно «прямолинейным» ввиду незначительного отклонения основного ствола № 4 от прямой, соединяющей точки  $T_1$  и  $T_2$ . Исходя из этого условия, в работе *получены формулы для оперативной оценки максимального технически возможного количества ответвлений* при ограниченной длине ГУ (они приведены в таблице 2).



*Примечания*

1.  $T_1, T_2$  – соответственно начало и окончание основного ГУ ствола.
2. №№ 1, 2, 3 и 4 – указывается очередность бурения, стволы для наглядности разведены по вертикали (№ 4 – основной ГУ ствола, №№ 1-3 – боковые ответвления).

Рисунок 9 – Очередность бурения и технология зарезки стволов РГС

Таблица 2 – Формулы для оперативной оценки основных параметров РГС

Типовое звено РГС (между двумя ближайшими точками срезов)	Количество ответвлений (типовых звеньев) в РГС	Длина основного ГУ в РГС
четырёхинтервальное (вариант 1)	$N \approx \frac{A_{z.y.} - 7 \cdot l_{стаб}}{4 \cdot l_{стаб}} \quad (1)^*$	$L_{z.y.} \approx A_{z.y.} \approx (4 \cdot N + 7) \cdot l_{стаб} \quad (5)^{**}$
трехинтервальное (вариант 2***)	$N \approx \frac{A_{z.y.} - 7 \cdot l_{стаб}}{3 \cdot l_{стаб}} \quad (2)$	$L_{z.y.} \approx A_{z.y.} \approx (3 \cdot N + 7) \cdot l_{стаб} \quad (6)^{**}$
трехинтервальное (вариант 3***)	$N \approx \frac{A_{z.y.} - 6 \cdot l_{стаб}}{3 \cdot l_{стаб}} \quad (3)$	$L_{z.y.} \approx A_{z.y.} \approx (3 \cdot N + 6) \cdot l_{стаб} \quad (7)^{**}$
двухинтервальное (вариант 4)	$N \approx \frac{A_{z.y.} - 5 \cdot l_{стаб}}{2 \cdot l_{стаб}} \quad (4)$	$L_{z.y.} \approx A_{z.y.} \approx (2 \cdot N + 5) \cdot l_{стаб} \quad (8)^{**}$
<p>*N - количество ответвлений в РГС, <math>l_{стаб}</math> - длина зоны «непромера» ЗТС, <math>L_{z.y.}, A_{z.y.}</math> - длины соответственно основного ГУ и его проекции на аспидальную плоскость.  **Формулы (5)-(8) являются производными соответственно от формул (1)-(4).  *** ниже точки зарезки по варианту 2 располагается участок набора кривизны, по варианту 3 – участок стабилизации профиля</p>		

К примеру, в зависимости от применяемых КНБК при протяженности основного горизонтального ствола РГС 500-600 м количество ответвлений не должно превышать 4-6 (для формирования большего количества ответвлений требуется использование КНБК, обеспечивающего пространственную интенсивность искривления свыше 3-4°/10 м и имеющую минимальную величину зоны «непромера» ЗТС – расстояния от долота до узла инклинометрии).

Б) *определен основной фактор*, существенно влияющий на конфигурацию РГС: длина зоны «непромера» ЗТС – расстояние от долота до датчиков инклинометрии. Для определения минимального расстояния между точками зарезки соседних ответвлений рекомендовано использовать диаграмму, представленную на рисунке 10 и учитывающую величину «зоны непромера» ЗТС. Данная *номограмма должна учитываться при подборе КНБК*, исходя из исходных параметров профиля РГС. Установлено, что для обеспечения контролируемости процесса проводки в интервале продуктивного пласта максимально допустимая «зона непромера» КНБК должна не превышать 0,25-0,5 ( $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{4}$ ) от величины расстояния между точками зарезки ближайших ответвлений.

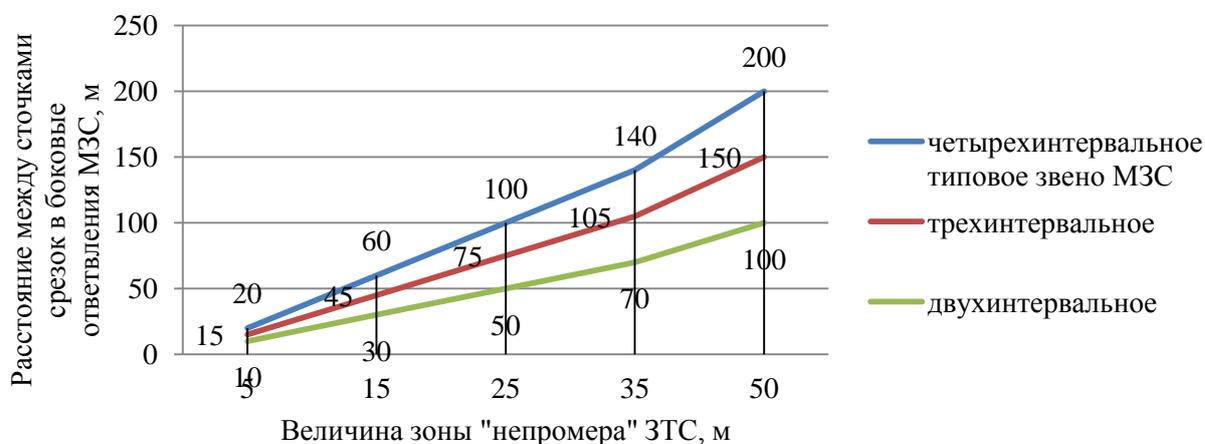


Рисунок 10 – Зависимость расстояния между соседними точками срезов от зоны «непромера» ЗТС

В) *сформулирован алгоритм определения области заложения ответвлений РГС*, в которой любая точка будет технически реализуема и будет располагаться вне зоны интерференции с основным горизонтальным стволом. В предлагаемом алгоритме принят следующий подход: исходя из анизотропии пласта, наличия неоднородностей коллектора, преобладающих векторов

напряжений в скелете горной породы и других факторов, задается радиус зоны интерференции между основным горизонтальным стволом и рассматриваемым ответвлением РГС, расположенными в пределах одного пласта. С учетом данной величины и технических характеристик используемого бурового оборудования (имеющего ограничения по интенсивности набора кривизны) определяется область, в пределах которой профиль ответвления РГС может быть технически реализован, и при этом его забой располагается вне зоны интерференции основного ствола (см. рисунок 11).

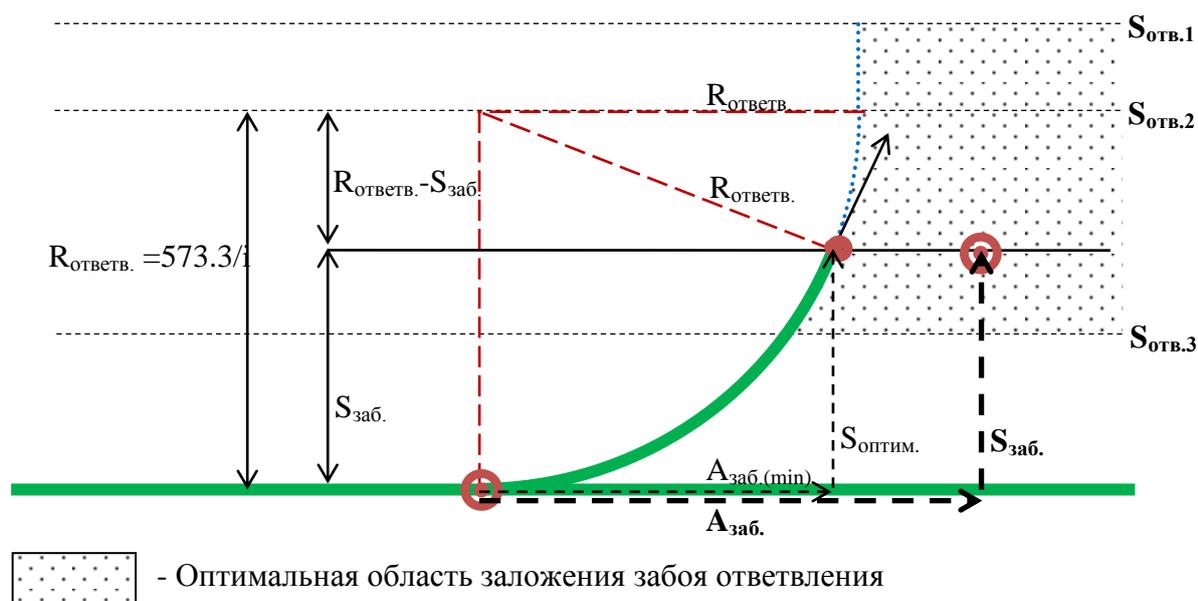


Рисунок 11 – Схема определения координат забоя ответвления РГС (относительно точки его зарезки)

Согласно расчетам минимальная длина ответвления, соответствующая данным условиям, определяется по формуле (9) с погрешностью менее 0,1%:

$$L_{\text{отв.мин.}} \geq L_{\text{отв.интерф.}} = A \cdot i^B, \quad (9)$$

где  $L_{\text{отв.интерф.}}$  – «неработающая» длина ответвления в зоне интерференции;

$i$  – интенсивность набора кривизны в боковом ответвлении, °/10м;

$A, B$  – коэффициенты, определяемые по формулам:

$$A = 33,721 \cdot R_{\text{интерф.}}^{0,502}, \quad (10)$$

$$B = 0,0004 \cdot R_{\text{интерф.}} - 0,5014, \quad (11)$$

$R_{\text{интерф.}}$  – принятая величина радиуса зоны интерференции вдоль основного ствола РГС, определяемая индивидуально для каждого случая, исходя из анизотропии, ФЕС и других характеристик пласта.

Окончательное количество ответвлений, расположение точек их зарезки и забоев определяется согласно геолого-гидродинамической модели по участку бурения, а предложенные методы оперативной оценки являются вспомогательным инструментом при планировании конфигурации РГС (в том числе на этапе формирования проектного документа на разработку залежи системой, предусматривающей использование РГС как один из ее элементов).

В связи с тем, что ответвления бурятся поэтапно, то часть основного ствола первоначально бурится на близком расстоянии от ответвления. К примеру, при интенсивности разворота ответвления по простиранию пласта 2,5 °/10 м, в соответствии с формулами (9) – (11), на протяжении 150 м от точки зарезки ствола будут удалены друг от друга менее, чем на 50 м. Поэтому имеются все предпосылки к тому, что, с учетом результатов каротажа при бурении предыдущего ответвления, новый ствол будет проведен с большей долей вскрытого коллектора относительно предыдущего ствола (ответвления/ответвлений).

**В четвертой главе** на основании результатов исследований, представленных во второй и третьей главах, обоснована методология реализации технологической схемы строительства РГС.

Технология проводки стволов РГС предусматривает следующую последовательность работ: основной ГУ ствола и отходящие от него боковые ответвления бурят в пределах продуктивного пласта, преимущественно параллельно напластованию. При использовании ранее известных решений такие РГС бурились с превышением проектной продолжительности на 30-40 суток. В связи с этим и учитывая результаты исследований, приведенных во второй и третьей главах работы, было предложено реализовать технологию строительства РГС, схема которой представлена на рисунке 7, посредством следующих решений:

1. Ответвления забуриваются в порядке их очередности «сверху вниз» - в процессе бурения ГУ основного ствола от его начала к его окончанию (от точки  $T_1$  к точке  $T_2$ ). После начала бурения ГУ и обеспечения нахождения в интервале

открытого ствола ЗТС производится забуривание первого ответвления (№ 1) с разворотом его профиля по азимуту и добуриванием на проектный забой ответвления, далее выполняется подъем компоновки в точку забуривания ответвления № 1, зарезка и дальнейшее бурение основного ГУ в азимуте к точке  $T_2$ . После подтверждения замерами инклинометрии плановой траектории осуществляется повтор перечисленных операций - для бурения второго и последующих ответвлений (№№ 2 и 3). Ствол № 4 (на представленном примере) является завершающей частью ГУ основного ствола. Проводка ответвлений в процессе бурения основного ствола выполняется таким образом, чтобы интервал выше точки зарезки имел азимут в направлении к точке  $T_2$ , что позволяет обеспечить практически прямолинейность основного горизонтального ствола и попадание в проектный круг допуска окончательного забоя (№ 4), неосложненный спуск в него хвостовика, тогда как забои ответвлений могут располагаться на существенном удалении от основного горизонтального ствола.

2. Бурение основного ГУ из пробуренных ответвлений осуществляется по технологии зарезки нового ствола, имеющей следующие особенности:

- в планируемом интервале зарезки выполняется интенсивный (2,0-3,0°/10 м и более) набор зенитного угла (2-5° на 10-20 м проходки) с последующим разведением ответвления по азимуту от пробуренной части ГУ и бурение до проектной цели;

- осуществляется подъем бурильного инструмента в планируемый интервал зарезки, далее выполняется наработка желоба при поддержании нагрузки на долото 0,5-2,0 т. с формированием «уступа» под вооружением долота для выполнения последующей зарезки нового ствола. За счет локального «подъёма» профиля ответвления в планируемом интервале зарезки процесс формирования «уступа» в желобе облегчается, так как увеличивается контакт вооружения долота с горной породой в наработанном уступе.

3. Для гарантированного спуска хвостовика в основной горизонтальный ствол каждую зарезку ствола из ранее пробуренного ответвления в основной ГУ необходимо выполнять со снижением ЗУ на 2-5° с последующим возвратом к значениям азимута и ЗУ бурения основного ГУ, предшествующим интервалу зарезки.

4. Поскольку ответвления забуриваются с локальным подъёмом профиля и набором ЗУ, а этим интервалам предшествуют интервалы зарезок с локальным падением ЗУ, в процессе спуска под действием гравитационной силы обеспечивается попадание хвостовика в основной горизонтальный ствол. Дополнительно риски недоспуска хвостовика в основной ГУ могут быть оценены при подготовке ствола (шаблонировании), а подтверждением прохождения хвостовика в основной ГУ является мера бурильного инструмента, поскольку он обычно имеет глубину по стволу, отличающуюся от глубины ответвлений.

**В пятой главе** представлены результаты промышленного внедрения предложенных в работе решений на месторождениях в ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» с 2014 г. Если достигнутая в 2013 г. коммерческая скорость бурения РГС (без использования предложенных решений) была ниже, чем в ГС на 200 м/ст.мес. (соответственно 2237 и 2437 м/ст.мес.), то в 2014 г. с учетом предложенных решений коммерческая скорость по РГС превысила коммерческую скорость по ГС на 148 м/ст.мес. (соответственно 2577 и 2429 м/ст.мес.). Рост коммерческой скорости бурения в РГС за год составил более 15%, при этом коммерческая скорость по ГС практически не изменилась. Во всех скважинах, согласно плану работ, спуск хвостовика в основной ствол РГС был выполнен с первого раза, что подтверждено мерой инструмента.

Было установлено, что, по сравнению с ГС, кроме геометрического прироста (охвата пласта дренированием) за счет бурения ответвлений, в РГС протяженность вскрытых проницаемых нефтенасыщенных интервалов увеличивается на 5-25 % за счет осуществления более точного проложения второго и последующих ответвлений по нефтенасыщенным пропласткам, что определяется по результатам уточнения геологического разреза по участку бурения при проводке предшествующих ответвлений. К примеру, в РГС № 8829Г Нивагальского месторождения удельная протяженность проницаемых интервалов по первому ответвлению составила 59,1%, второму – 61,8%, третьему – 80,4%, последнему – 83,3%, что позволило увеличить площадь дренирования скважины. Продолжительность работ, связанных с наработкой желоба и последующей зарезкой новых стволов составляла от 14,6 до 28,8 часов, что на

60% меньше ранее полученных результатов (1-2 сутки), достигнутых без использования разработанных в диссертационной работе решений.

Мониторинг работы скважин по объектам АВ1/3 Нивагальского месторождения (с проницаемостью более 100 мД) свидетельствует, что, в сравнении со стандартными ГС, РГС имеют при сопоставимой либо меньшей депрессии: начальные дебиты выше на 40-100%, при дальнейшей эксплуатации – на 25-100%; обводненность ниже на 25-30% в начале и на 10-20% через год эксплуатации (обе категории скважин эксплуатируются без гидроразрыва пород).

По предложенным решениям разработан и утвержден «Технологический регламент по планированию и строительству многозабойных скважин на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь». На основании указанного регламента спроектированы и успешно пробурены 15 четырех-шести и 106 трехзабойных РГС. С учетом результатов реализации предложенных в диссертационной работе решений технология бурения РГС на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» переведена к промышленному внедрению. В дальнейшем выработанные в диссертации решения позволили повысить эффективность многозабойного бурения и реализовать его технологический потенциал при разработке ряда крупных нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений, таких как Пякяхинское, Нивагальское и другие.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Выполнен анализ используемых на практике профилей и технологий бурения МЗС различной конфигурации, проведено их ранжирование по сложности технической реализации. Установлена актуальность и необходимость совершенствования в части разработки методических основ обоснования количества ответвлений, расстояний между точками их зарезки, расположения забоев с учетом технических ограничений бурового оборудования и геологических условий залегания целевого пласта.

2. Разработаны:

- методика определения технически возможной конфигурации РГС: максимального количества ответвлений и минимального расстояния между точками их зарезки, координат её забоев исходя из существующих геолого-технологических ограничений;

- технология строительства РГС, обеспечивающая высокую технологичность и сокращение процесса зарезки нового ствола в открытом горизонтальном участке и гарантированный спуск хвостовика в основной горизонтальный ствол.

3. Предложенные методики и технико-технологические решения подтверждены промысловыми результатами. Рост коммерческой скорости строительства скважин составил более 15 %, что обеспечено сокращением времени на зарезку ответвлений на 60% и 100% успешным спуском хвостовиков в требуемый ствол РГС. Кроме того, при строительстве РГС обеспечивается до 25 % прироста протяженности вскрытых проницаемых нефтенасыщенных интервалов за счет осуществления более точного проложения второго и последующих ответвлений по нефтенасыщенным пропласткам.

4. Разработан и внедрен «Технологический регламент по планированию и строительству МЗС на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь». С учетом требований регламента технология строительства РГС внедрена на ряде крупных нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Западной Сибири.

**Основные положения и результаты исследований опубликованы в 23 работах, из которых основные:**

***Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:***

1. Фаттахов М. М. Развитие технологий заканчивания скважин с горизонтальным и многозабойным окончанием в ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» / М. М. Фаттахов, Д. Л. Бакиров, В. А. Бурдыга [и др.]. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2016. - № 8. – С. 25-27.

2. Фаттахов М. М. Многозабойные скважины: области эффективного применения, технология работ и задачи планирования / Р. А. Исмаков, М. М. Фаттахов, Д. Л. Бакиров [и др.] – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – № 9. – С. 25–26.

3. Фаттахов М. М. Классификатор многозабойных и многоствольных скважин / М. М. Фаттахов. – Текст : непосредственный // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 4. – С. 22–24.

4. Фаттахов М. М. Поиск новых технологий при эксплуатационном бурении для вовлечения в разработку трудноизвлекаемых запасов / В. В. Юдчиц, Р. Е. Литовар, М. М. Фаттахов [и др.]. – Текст : непосредственный // Нефтепромысловое дело. – 2019. – № 9 (609) . – С. 5-9.

5. Фаттахов М. М. Обоснование требований к профилям разветвленно-горизонтальных стволов / Р. А. Исмаков, Д. Л. Бакиров, П. П. Подкуйко [и др.]. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – № 9. – С. 30–34.

6. Фаттахов М. М. Планирование и строительство многозабойных скважин с большим отходом от вертикали / Д. Л. Бакиров, И. К. Ахметшин, М. М. Фаттахов [и др.] – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 9. – С. 41–50.

7. Фаттахов М. М. Планирование профилей многозабойных скважин / М. М. Фаттахов, Д. Л. Бакиров, П. А. Багаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – № 11. – С. 36–48.

8. Фаттахов М. М. Обоснование и внедрение технологии строительства скважин с разветвленно-горизонтальным окончанием на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» / П. П. Подкуйко, Д. Л. Бакиров, И. К. Ахметшин, М. М. Фаттахов. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – № 9. – С. 27–29.

9. Фаттахов М. М. Техничко-технологические решения для повышения эффективности бурения многозабойных скважин // М. М. Фаттахов, Д. Л. Бакиров, Л. С. Бондаренко [и др.]. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2017. – № 9. – С. 58–63.

10. Фаттахов М. М. К вопросу о заканчивании горизонтальных скважин с открытым забоем в терригенных коллекторах Западной Сибири / Д. Л. Бакиров, М. М. Фаттахов, Д. В. Малютин, Э. В. Бабушкин. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 9. – С. 56–64.

11. Фаттахов М. М. Эффективность внедрения технологии строительства многозабойных скважин с горизонтальным окончанием на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» / Д. Л. Бакиров, М. М. Фаттахов, Л. С. Бондаренко [и др.] – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2014. – № 10. – С. 42–45.

***Монография:***

12. Бакиров Д. Л. Многозабойные скважины: практический опыт Западной Сибири / Д. Л. Бакиров, М. М. Фаттахов. – Тюмень : ОАО «Тюменский дом печати», 2015. – 232 с. – Текст : непосредственный.

**Фаттахов Марсель Масалимович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ  
РАЗВЕТВЛЕННЫХ МНОГОЗАБОЙНЫХ СКВАЖИН**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 20.08.2020. Формат 60×90 1/16. Усл. печ. л. 1,6.  
Тираж 100 экз. Заказ № 1903.

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.