

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

На правах рукописи

Еловых Павел Фёдорович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАБУРИВАНИЯ НОВЫХ
НАПРАВЛЕНИЙ В ОТКРЫТОМ СТВОЛЕ СКВАЖИНЫ С
ИСКУССТВЕННОГО ЗАБОЯ**

Специальность 25.00.14 - «Технология и техника геологоразведочных работ»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Вячеслав Васильевич Нескормных

Красноярск - 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЗАБУРИВАНИЯ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В ОТКРЫТОМ СТВОЛЕ СКВАЖИНЫ С ИСКУССТВЕННОГО ЗАБОЯ	12
1.1. Обзор и анализ применяемых технологий для осуществления забуривания новых направлений	12
1.2. Обзор породоразрушающего инструмента, применяемого для забуривания дополнительных стволов	23
1.3. Анализ проведения работ по забуриванию новых направлений из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой	32
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	48
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАБУРИВАНИЯ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В ОТКРЫТОМ СТВОЛЕ СКВАЖИНЫ С ИСКУССТВЕННОГО ЗАБОЯ.....	50
2.1. Исследование процесса забуривания уступа в стенке скважины с искусственного забоя.	50
2.2. Исследование фрезерующей способности отклоняющей системы. ...	58
2.3. Исследование и анализ искусственных забоев, применяемых для осуществления забуривания новых направлений.	69
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	79
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПО ЗАБУРИВАНИЮ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ С ОПОРОЙ НА ИСКУССТВЕННЫЙ ЗАБОЙ.....	82
3.1. Разработка и совершенствование породоразрушающего инструмента, применяемого при осуществлении работ по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины с искусственного забоя.	82
3.2. Разработка и описание технологии, применяемой при осуществлении работ по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой.....	94

3.3. Проведение апробации применения долот с запаянным торцевым вооружением при производстве работ по забуриванию новых направлений в твердых и крепких горных породах.....	102
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3	105
ГЛАВА 4. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПО ЗАБУРИВАНИЮ НОВОГО СТВОЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНО ПОДГОТОВЛЕННОГО ДОЛОТА.	107
4.1. Экономический эффект за счет применения специально подготовленного долота при производстве работ по забуриванию дополнительного ствола.....	107
4.2. Экономический эффект применения специально подготовленного долота за счет сокращения затрат времени на наработку уступа.	123
4.3. Экономический эффект за счет сокращения затрат времени на выполнение вспомогательных и спускоподъемных операций при осуществлении забуривания нового направления ствола скважины. ..	128
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4	130
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	131
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.	135

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. При осуществлении работ по бурению геологоразведочных скважин, забуривание новых стволов из уже пробуренного ствола скважины находит свое применение при осуществлении работ по строительству многозабойных и многоствольных скважин, с целью получения более точной информации о залегании рудного тела с меньшими затратами. Многоствольное бурение, особенно, при разведке крутопадающих рудных тел, при значительной глубине разведочных скважин способно обеспечить значительное сокращение объема буровых работ и поэтому остается одним из самых перспективных методов проведения геологоразведочных работ. Многозабойное бурение на твердые полезные ископаемые позволяет резко сократить объем бурения по вмещающим породам и время на проведение поисковых и разведочных работ. Использование этого способа бурения повышает технико-экономическую эффективность геологоразведочных работ. Кроме того, забуривание нового ствола является одним из основных способов ликвидации тяжелых аварий (оставленный в скважине инструмент, нарушение целостности обсадной колонны и пр.) и геологических осложнений (обвалообразование горных пород, значительное естественное искривление скважины, требующее корректировки траектории и пр.). К данной операции обычно прибегают, когда проведение сложных аварийных и исправительных работ не приводит к положительному результату и ликвидации внештатных ситуаций. Операция по забуриванию нового направления из уже пробуренного ствола скважины является одной из наиболее сложных задач при бурении геологоразведочных скважин, особенно при производстве данных работ в условиях Восточной Сибири, где геологический разрез представлен в основном твердыми и крепкими породами по условиям буримости.

Для минимизации затрат времени и материалов на производство процесса забуривания нового ствола, наиболее подходящим методом будет являться метод забуривания нового направления в открытом стволе скважины с искусственного

забоя. При реализации данного метода исключаются дополнительные затраты на приобретение клина-отклонителя, не создаются потенциально аварийно-опасные ситуации, связанные с установкой клина-отклонителя, а также снижаются затраты времени на ожидание его доставки и установки в скважине. Ожидание доставки необходимых технических и технологических приспособлений, в условиях сложных логистических и транспортных схем месторождений Восточной Сибири (большая удаленность от основных транспортных узлов, слабое развитие транспортной инфраструктуры), особенно при геологоразведочном бурении, могут составлять довольно длительный промежуток времени.

Известно, что при осуществлении забуривания нового направления в открытом стволе с искусственного забоя основным способом выполнения данной технологической операции является установка цементного моста в месте зарезания нового ствола скважины и последующее проведение работ по забуриванию с применением породоразрушающего инструмента и отклонителя непрерывного действия.

Тем не менее, сложность задачи забуривания нового ствола скважины бесклиновым отклонителем с искусственного забоя возрастает при проведении работ в твердых и крепких горных породах, так как условия забуривания в данном случае усложняются.

Поэтому актуальность приобретают разработки, направленные на повышение эффективности при проведении работ по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины сложенного крепкими и твердыми породами с искусственного забоя, и состоящие в том, чтобы подобрать такой породоразрушающий инструмент для осуществления забуривания, который бы обеспечил наработку необходимого уступа и дальнейшее бурение нового ствола скважины без возврата в старый ствол, а также в подборе материала искусственного забоя, обеспечивающего снижение скорости его разбуривания используемым зарезным породоразрушающим инструментом.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности и снижение затрат времени при проведении работ по забурированию новых направлений из открытого ствола скважины с искусственного забоя, особенно в твердых и крепких горных породах, с применением специально подготовленного породоразрушающего инструмента и материала искусственного забоя.

Идея работы заключается в применении специально подготовленного долота при производстве работ по забурированию нового направления из открытого ствола скважины, позволяющего произвести забурирование нового ствола скважины в крепких и твердых горных породах с искусственного забоя, и продолжить дальнейшее бурение скважины без проведения дополнительных спускоподъемных операций. А также, в применении при осуществлении забурирования, такого искусственного забоя, физико-механические свойства и характер воспринимаемого разрушения которого кардинально не будет соответствовать характеру разрушения реализуемому применяемым породоразрушающим инструментом, тем самым повышая отношение скорости фрезерования к скорости бурения материала искусственного забоя.

Объект исследования: технические средства, применяемые технологии, инструменты и материалы, обеспечивающие проведение работ по забурированию нового направления из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой.

Предмет исследования: процесс проведения работ по забурированию нового ствола скважины с искусственного забоя в открытом стволе скважины, сложенном горными породами средней и высокой категории твердости.

Основные задачи исследований:

- обзор и анализ применяемых инструментов и технологий для осуществления операции по забурированию нового ствола скважины из открытого ствола;
- обзор и анализ опыта производства работ по забурированию новых стволов скважины в горных породах высокой категории твердости;

- анализ современных технических средств для проведения операций по забуриванию новых стволов;
- разработка методики определения оптимального расположения и высоты нанесения дополнительного покрытия на торцевую часть породоразрушающего инструмента, применяемого для осуществления забуривания нового ствола;
- анализ и оценка применяемых материалов для создания искусственных забоев при осуществлении забуривания нового направления из открытого ствола скважины;
- подбор «идеальных» условий для осуществления забуривания нового направления;
- исследование процесса забуривания нового направления и наработки уступа;
- разработка и описание технологии производства работ по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой с применением специально доработанного долота.

Методы решения поставленных задач. Анализ и обобщение имеющихся теоретических и промысловых материалов по данной тематике. Работа выполнена в соответствии с общепринятыми методами теоретических и экспериментальных исследований. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с помощью методов математической статистики.

Личный вклад автора состоит в обзоре и анализе литературных источников по тематике осуществления забуривания нового направления из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой, а также по тематике создания искусственных забоев при осуществлении забуривания новых направлений; в разработке методики расчета для оптимального расположения и высоты нанесения дополнительного покрытия на торцевую часть породоразрушающего инструмента, применяемого для осуществления забуривания нового ствола; в разработке и обосновании основных критериев

подбора забурочного инструмента и материала искусственного забоя для осуществления забуривания в твердых породах; в обзоре и анализе опыта производства работ по забуриванию новых стволов из открытого ствола скважины; в описании проведения испытания технологии забуривания с применением долот с дополнительным покрытием торцевой части долота; в разработке и описании технологических операций процесса забуривания нового ствола скважины в горных породах высокой категории твердости с опорой на искусственный забой; в формулировании защищаемых научных положений.

В работе защищаются следующие научные положения:

1. Повышения оперативности и надежности при осуществлении забуривания нового направления из открытого ствола скважины в твердых и крепких горных породах, с опорой на искусственный забой, достигается за счет применения долота, часть породоразрушающих элементов среднего венца каждой шарошки которого, «прикрываются» пластичным легко изнашиваемым материалом (латунь, олово, термостойкая холодная сварка, металлокерамическое покрытие).

2. Для повышения эффективности забуривания нового направления из открытого ствола с искусственного забоя, необходимо обеспечить применение таких материала искусственного забоя и породоразрушающего инструмента, которые будут не соответствовать друг другу по характеру разрушения. Данное решение позволит минимизировать скорость разрушения материала искусственного забоя, тем самым увеличив соотношение механической скорости фрезерования стенки скважины и механической скорости разбуривания материала искусственного забоя без ограничения режимов бурения, а также обеспечить повышение механической скорости по мере забуривания и углубления за счет уменьшения на забое материала искусственного забоя.

3. Для повышения эффективности при производстве работ по забуриванию новых стволов скважины с опорой на искусственный забой, необходимо учитывать коэффициент фрезерующей способности отклоняющей системы, который необходимо определять, исходя не только из геометрических

параметров долота, которые определяют коэффициент фрезерующей способности самого долота, но и учитывать геометрические параметры применяемой компоновки (диаметр применяемых винтовых забойных двигателей (ВЗД), утяжеленных и бурильных труб, расстояние от долота до узла искривления, угол перекоса, установка центрирующих элементов) и ствола скважины в интервале забуривания (диаметр ствола скважины, его разработанность, данные профилометрии).

Научная новизна:

Установлена аналитическая зависимость механической скорости бурения, при забуривании нового направления из открытого ствола скважины с искусственного забоя, от количества породоразрушающих элементов среднего венца шарошек трехшарошечного долота и глубины их внедрения в разрушаемый искусственный забой, позволяющая получить наиболее благоприятное соотношение скоростей фрезерования и бурения, за счет регулирования высоты нанесенного дополнительного покрытия (частично или полностью) на средний венец шарошки.

Установлено, что процесс забуривания нового направления из открытого ствола скважины с искусственного забоя, можно оптимизировать за счет применения такого материала искусственного забоя, физико-механические свойства и характер воспринимаемого разрушения которого не будут соответствовать характеру разрушения реализуемому применяемым породоразрушающим инструментом, вследствие чего удастся добиться снижения механической скорости бурения материала искусственного забоя и обеспечить благоприятное соотношение скоростей фрезерования и бурения при осуществлении забуривания.

Установлено, что коэффициент фрезерующей способности отклоняющей системы будет максимальным, при использовании отклоняющей системы, реализующей совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное

разрушение забоя за счет совпадающих по направлению действия данных процессов.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена результатами теоретических и экспериментальных исследований, достаточной сходимостью расчетных величин с фактическими данными, воспроизводимостью результатов, а также результатами натурных наблюдений.

Практическая значимость работы:

1. Разработана полезная модель долота для забуривания нового направления ствола скважины с искусственного забоя.
2. Разработана технология производства работ по зарезанию нового направления из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой с применением специально подготовленного долота.
3. Сформулированы основные требования к применяемому материалу искусственного забоя и долоту для осуществления забуривания нового направления, обеспечивающие не совпадающие по характеру разрушения материала искусственного забоя и применяемого долота условия, и как следствие значительное повышение результативности производства работ по забуриванию нового направления.
4. Введен новый термин: коэффициент фрезерующей способности отклоняющей системы.

Реализация результатов работы.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы неоднократно представлялись в докладах на I–IV Международных научно-практических конференциях «Булатовские чтения», в 2017-2020 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ, в том числе 4 из перечня рекомендованных ВАК РФ и 1 патент на полезную модель РФ.

Объем и структура работы. Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 97 наименований; содержит 146 страниц машинописного текста, 17 рисунков и 17 таблиц.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность своему научному руководителю, д.т.н., проф., член.-кор. РАЕН Нескоромных Вячеславу Васильевичу, а также сотрудникам кафедры технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых института горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского Федерального Университета за помощь и поддержку при выполнении данной научной работы.

Автор также выражает признательность и благодарность сотрудникам кафедры «Современные технологии бурения скважин» МГРИ имени Серго Орджоникидзе за оказанную поддержку и рекомендации при выполнении и оформлении диссертационной работы.

Глава 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЗАБУРИВАНИЯ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В ОТКРЫТОМ СТВОЛЕ СКВАЖИНЫ С ИСКУССТВЕННОГО ЗАБОЯ

1.1. Обзор и анализ применяемых технологий для осуществления забуривания новых направлений

Забуривание новых стволов при строительстве геологоразведочных скважин и отклонение скважин в заданном направлении – является одной из наиболее технологически сложных задач, выполняемых при осуществлении строительства многозабойных и многоствольных скважин (бурение дополнительных стволов). Строительство многозабойных скважины при разведочном бурении позволяет резко сократить объем бурения по вмещающим породам и время на проведение поисковых и разведочных работ. Использование этого способа бурения повышает технико-экономическую эффективность геологоразведочных работ. Кроме того, зарезание и дальнейшее бурение нового ствола является одним из основных путей ликвидации тяжелых осложнений (обвалообразование горных пород подверженных контакту с буровым раствором, значительное естественное искривление скважины, требующее корректировки траектории и пр.) и аварий (оставленный в скважине инструмент, нарушение целостности обсадной колонны и пр.) при строительстве скважин и доведения их до проектной глубины. К данной операции обычно прибегают, когда проведение сложных аварийных и исправительных работ не приводит к положительному результату и ликвидации внештатных ситуаций. Операция по забуриванию нового направления из уже пробуренного ствола скважины является одной из наиболее сложных задач при бурении разведочных скважин, особенно при производстве данных работ в горно-геологических условиях Восточной Сибири, где геологический разрез представлен в основном твердыми и крепкими породами по условиям буримости.

Теоретическими и практическими исследованиями в области процесса производства работ по забуриванию новых стволов и направленного бурения при осуществлении строительства скважин занимались многие российские и зарубежные ученые: Басарыгин Ю.М., Безумов В.В., Булатов А.И., Вудс Г., Гаджиев Н.Р., Гержберг Ю.М., Гладков В.И., Гулизаде М.П., Григорян Н.А., Жеребкин А.И., Зиненко В.П., Калинин А.Г., Колесников А.Е., Костин Ю.С., Кривошеев В.В., Кульчицкий В.В., Курочкин Б.М., Лубинский А., Мельничук И.П., Морозов Ю.Т., Музапаров М.Ж. Нескоромных В.В., Никитин Б.А., Оганов А.С., Перминов В.В., Повалихин А.С., Страбыкин И.Н., Сулакшин С.С., Султанов Б.З., Фикрет Сеид-Рза оглы и другие [12, 14, 24, 25, 26, 47, 49, 31, 45, 44, 52, 53, 56, 57, 48, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 70, 71, 69, 68, 50, 80, 81, 85, 86, 92, 93, 94].

Известны различные способы бурения дополнительных направлений из необсаженного ствола скважины с искусственных забоев. Рассмотрим некоторые из них.

Наиболее часто и широко применяемые способы забуривания новых направлений основаны на применении отклонителей непрерывного действия и забойных гидродвигателей (винтовых забойных двигателей (ВЗД), турбобуров). На сегодняшний момент, наиболее известны следующие схемы реализации забуривания новых направлений скважины из открытого ствола с опорой на искусственный забой:

1. Над ВЗД 1 устанавливается «кривой» переводник 2 – переводник, имеющий несоосные соединительные резьбы (угол несоосности $1-3^\circ$) (рис. 1, а, б);

2. Перекос долота в скважине обеспечивается фиксированным изгибом корпуса забойного двигателя посредством соединения верхнего узла – турбины 1 с нижним узлом – шпинделем 3 через регулятор угла перегиба осей 2, а валов турбины и шпинделя через специальный шарнир (рис. 1, в);

Возможно комбинированное применение 1 и 2 схем, при условии сборки кривых переводников, установленных над ВЗД и над шпинделем таким образом, чтобы искривление компоновки было реализовано в одной плоскости.

3. Перекос турбобура 1 и долота обеспечивается «кривым» переводником 2 и накладкой на корпусе турбобура 3 (рис. 1, г). Высота накладки выбирается таким образом, чтобы она не выдавалась за габаритные размеры долота;

4. На нижний ниппель турбобура или ВЗД 1 устанавливают накладку 2, для создания поперечного усилия на долоте для фрезерования стенки скважины (рис. 1, д);

5. На нижний ниппель гидродвигателя 1 устанавливают накладку 2 с плашками 3 и резиновой опорой, толщина которой позволяет регулировать интенсивность искривления (рис. 1, е).

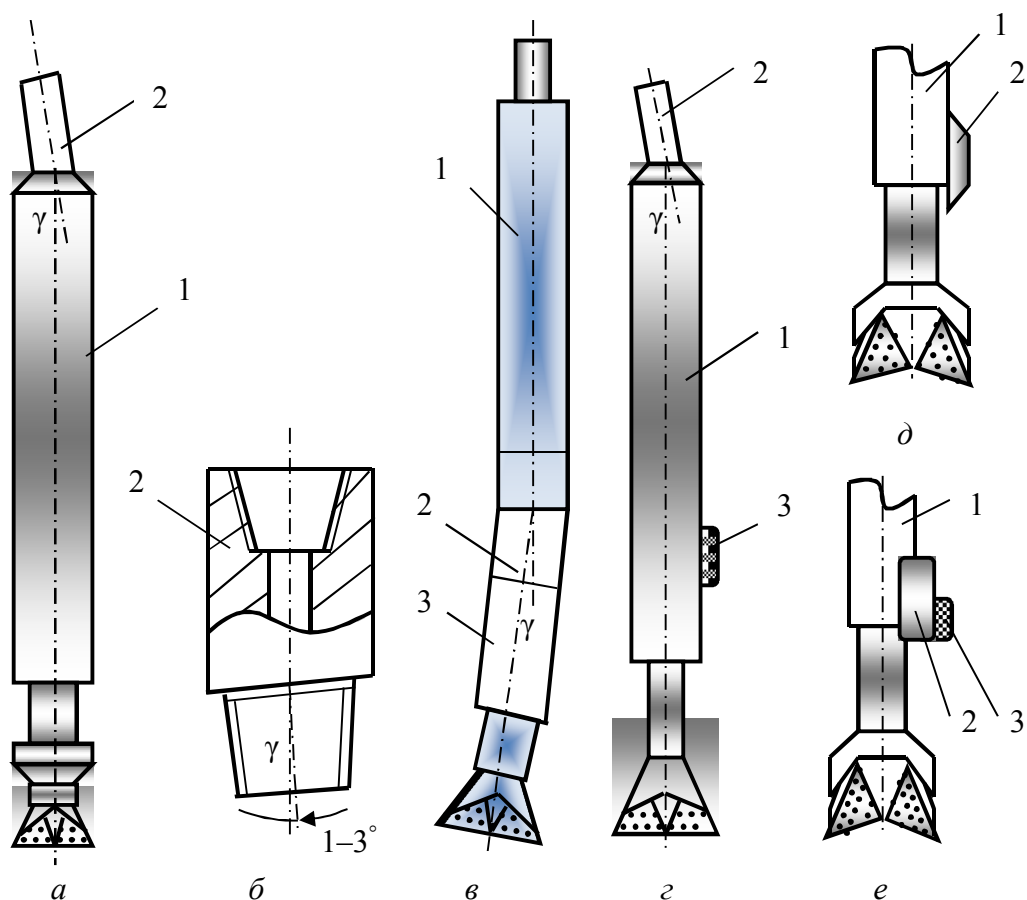


Рис. 1. Схемы отклонителей на базе забойных гидродвигателей

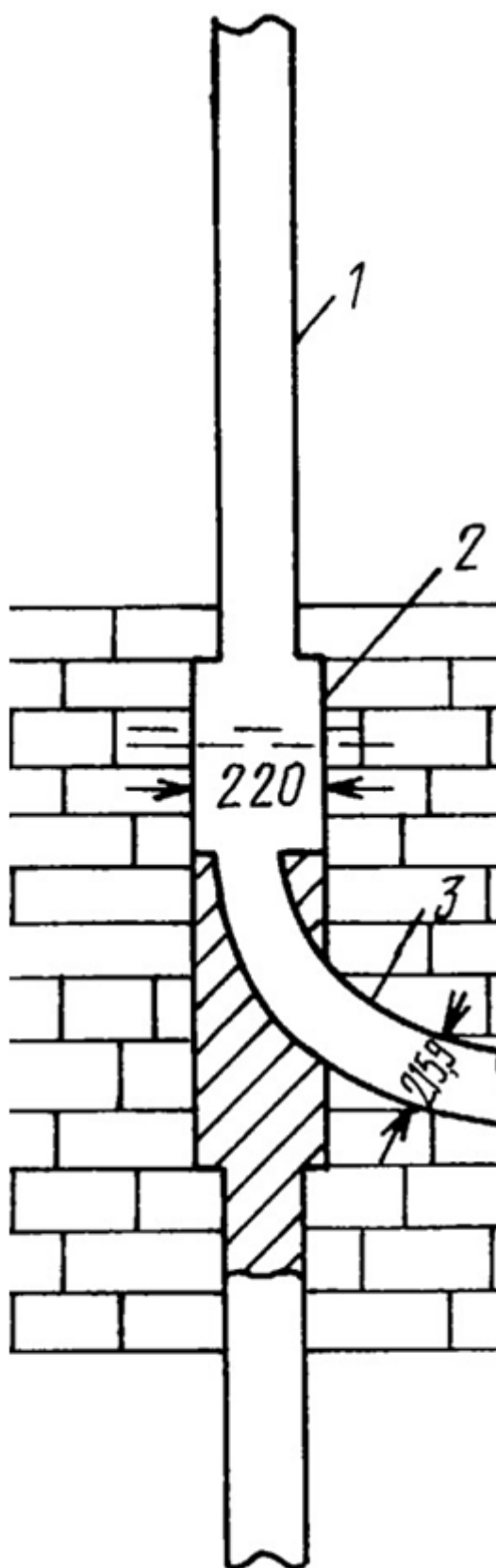


Рис. 2. Схема забуривания с раздвижным долотом.

При забуривании дополнительных стволов с искусственного забоя в твердых и крепких породах повышение надежности операции может достигаться за счет увеличения угла встречи породоразрушающего инструмента со стенкой скважины [75]. Увеличение угла встречи может достигаться местным расширением ствола скважины, например, при помощи локального взрывного воздействия или при помощи гидравлических расширителей и бицентричных долот. Бицентричные долота позволяют подготовить интервал скважины для зарезания над установленным искусственным забоем большего диаметра, чем диаметр основного ствола скважины и внутренний диаметр спущенной обсадной колонны.

Известен способ бурения дополнительного ствола из обсаженной эксплуатационной колонной скважины [83] заключающийся в том, что участок обсадной колонны вырезают, удаляют и устанавливают в этом интервале цементный мост (в связи с этим данный способ можно охарактеризовать как способ забуривания из открытого ствола скважины), забуривают из

него дополнительный ствол за счет перекоса в корпусе нижней секции винтового двигателя, к которому прикреплено **раздвижное долото**, которое раздвигают и

фиксируют под давлением прокачиваемой жидкости, при этом перед забуриванием дополнительного ствола расширяют до первоначального диаметра ствол скважины выше точки забуривания в интервале удаленного участка эксплуатационной колонны. На рис. 2 схематически показана данная технология при забуривании диаметром 215,9 мм.

Митяевым А.Д. предложен следующий способ забуривания нового ствола скважины (а.с. 142241) [5], заключающийся в том, что забуривание нового ствола производится в месте образования каверны, которая образуется местным локальным взрывным воздействием (спуск и взрыв торпеды определенной длины). Образовавшуюся каверну заливают цементным раствором и после его отверждения производят забуривание из образовавшейся полости.

В этих случаях угол встречи долота с горными породами, за счет увеличения диаметра открытого ствола в интервале зарезания, увеличивается и соответственно возрастает вероятность успешного забуривания дополнительного ствола скважины. Данный способ требует проведения взрывных работ, а также дополнительных затрат на проведение кавернометрии, до взрыва торпеды и после.

Бесклиновой способ забуривания дополнительного ствола предложен Мельничуком И.П. и др. (а.с. 956728) [9]. Способ заключается в установке искусственного моста из вяжущих материалов (цементный раствор, синтетические или эпоксидные смолы) в интервале предполагаемого забуривания и в установке обратного клина (наклонная плоскость клина обращена к забою) непосредственно в вяжущий материал до момента его отверждения. Материал клина изготавливается из легко разбуриваемого материала. Забуривание производят после отверждения вяжущего материала. Отклонение происходит за счет разрушения легко разбуриваемого материала клина обычным буровым снарядом, а направление искривления задается наклонной поверхностью искусственного забоя из отверждённого вяжущего материала, имеющего большую прочность чем материал клина.

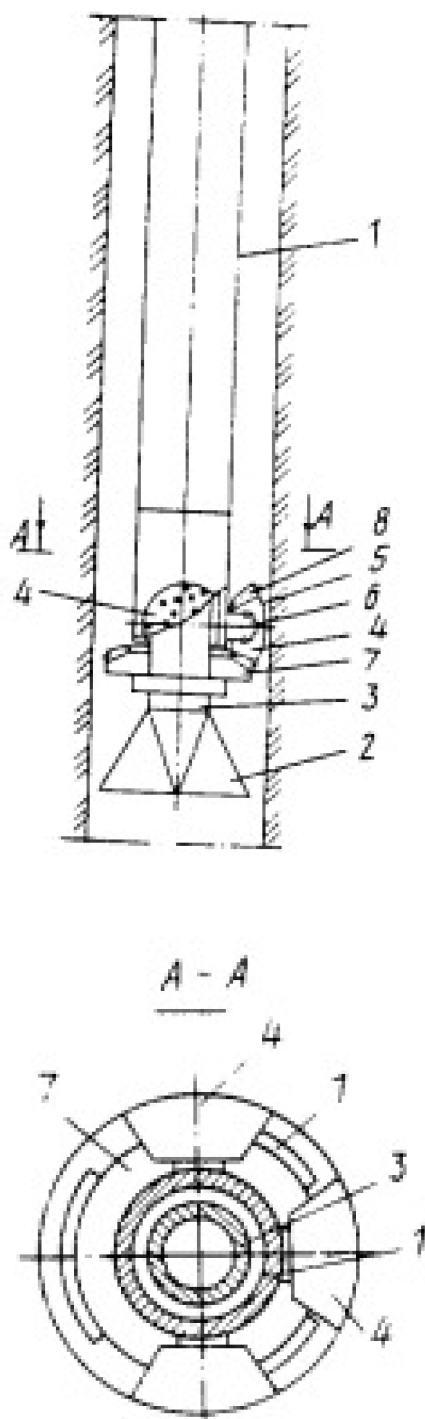


Рис. 3. Схема устройства для
забурирования доп. ствола
Куртова В.Д..

Известно устройство для забурирования дополнительного ствола предложенное Куртовым В.Д. (а.с. 1627637) [6]. Данное устройство предназначено для повышения эффективности забурирования дополнительного ствола в твердых горных породах. Работа устройства для забурирования дополнительного ствола скважины (рис. 3) осуществляется следующим образом: устройство спускается в скважину и устанавливается в интервал забурирования дополнительного ствола скважины, после чего запускается забойный двигатель 1. При этом за счет взаимодействия шестерни 7, жестко связанной с валом 3, с зубьями 8 на боковой поверхности шарошек 4 последние вращаются вокруг оси цапф 6. При возвратно-поступательном перемещении устройства путем фрезерования горной породы породоразрушающими элементами 5 шарошек 4 формируют желоб и уступ в стенке ствола скважины. После выработки желоба и уступа приступают к забурированию дополнительного ствола, путем установки долота 2 на уступ в стенке скважины и

последующего углубления скважины в заданном направлении. Данное устройство подчеркивает необходимость создания уступа дополнительным боковым вооружением для реализации успешного процесса забурирования дополнительного ствола скважины.

Коллективом авторов, Гержберг Ю.М., Никитин Б.А., Дюсуше С.А., Старцева Т.Г. и Скворцов К.И., предложен следующий способ забуривания нового ствола скважин в заданном направлении (а.с. 1086103) [1], заключающийся в фиксировании компоновки в стволе скважины во время образования уступа. Компоновку включающую долото, отклонитель, искривленный переводник, специально подготовленные бурильные трубы (в бурильных трубах устанавливаются в ряд плашки по образующим компоновки напротив друг друга) спускают в скважину после установки искусственного забоя в месте забуривания нового ствола. После спуска компоновки в скважину и ее ориентирования, возвратно-поступательным движением инструмента с амплитудой, равной расстоянию между верхней и нижней плашками формируют продольные канавки в стволе скважины. После чего запускают забойный двигатель и производят углубление скважины наработку желоба с целью образования уступа. При этом нижние плашки выходят из канавок, а верхние продолжают находиться в них, исключая тем самым поворот компоновки в скважине под действием реактивного момента забойного двигателя. После углубления скважины на величину несколько меньшую, чем расстояние между верхней и нижней плашками, бурение прекращают и при неработающем забойном двигателе возвратно-поступательными движениями продолжают формирование канавок. Верхние плашки остаются в выработанных канавках, поскольку ствол скважины периодически углубляют, на величину, не превышающую расстояния между верхней и нижней плашками каждого ряда, таким образом отклонитель фиксируется в заданном направлении.

Данный способ направлен на исключение проворота компоновки при работе забойного двигателя, за счет его реактивного момента, во время наработки уступа и забуривания нового направления ствола скважины. Недостатками данного способа является требования к точности установки плашек таким образом, чтобы они работали в прижатом состоянии к стенкам скважины, проведение расчета жесткости применяемых бурильных труб и длины

образования полуволны. Также нужна точная кавернометрия с привязкой к пространственному расположению ствола скважины, для выбора интервала наработки канавок и соответственно выбора места зарезания.

С увеличением прочностных показателей горных пород отклоняющая сила на долоте, необходимая для эффективного фрезерования стенки скважин, также должна увеличиваться. Кроме этого, малые поперечные размеры и их низкая жесткость не позволяют получать высокие значения отклоняющей силы на долоте.

С ростом глубины и уменьшением диаметра скважины прочность камня цементных мостов, устанавливаемых в интервале зарезания, ухудшается. Это является следствием отрицательного влияния температуры и давления, а также добавки в цементный раствор замедлителей сроков схватывания. Низкая прочность цементного камня отрицательно влияет непосредственно на интенсивность искривления нового ствола, так как скорость разрушения цементного камня (осевая скорость движения долота) значительно выше скорости разрушения породы (скорость фрезерования стенки скважины).

Такое положение зачастую приводит к тому, что новый ствол в процессе забурирования отклоняющей компоновкой не формируется и долото, разбуривая цементный камень, движется по старому стволу. В результате возникает необходимость повторения всей операции забурирования нового ствола, включая установку цементного моста, что приводит к дополнительным материальным затратам. С увеличением глубины скважин количество затрат возрастает.

Для повышения твердости искусственного забоя и исключения возврата в старый ствол скважины при забурировании, коллективом авторов Бергштейн О.Ю., Великосельский М.А., Ворожбитов М.И. и Гриневский И.Н. предложен следующий способ создания направления для бурового снаряда в скважине (а.с. 1280104) [4]. На поверхности формируют искусственный забой с увеличивающейся по глубине твердостью его материала. В качестве материалов для изготовления используются цемент и синтетические смолы, кроме того искусственный забой дополнительно армируется (например, сплав Д16Т). После

формирования искусственного забоя осуществляется его установка в интервале забуривания нового направления путем спуска искусственного забоя оборудованного распорным узлом, на бурильных трубах, связанных с искусственным забоем резьбой левого направления. Затем в скважину спускают необходимую компоновку и производят забуривание бокового ствола скважины. Контроль забуривания дополнительного ствола скважины в данном способе, предусмотрено вести с помощью индикаторов различного цвета, заранее помещенных в материал искусственного забоя. Недостатком данного способа является большая трудоемкость при создании искусственного забоя на поверхности, а также необходимость подготовки ствола скважины для его спуска и установки в интервал забуривания нового ствола, требующие значительных производительных затрат времени.

При осуществлении строительства сверхглубоких параметрических скважин Тюменской СГ-6 (7502 м) и Ен-Яхинской СГ-7 (8250 м), расположенных на севере Западной Сибири, для увеличения прочности создаваемого опорного моста была использована арматура из алюминиевых бурильных труб диаметром 147 мм [51]. Попытки забуривания нового ствола с установленного цементного моста не увенчались успехом, в связи с превышением прочности горных пород над прочностью цементного камня установленного искусственного забоя, большой глубины (6480 – 6797 м) и жестких термобарических условиях скважины (температура 180-185 °С, коэффициент аномальности пластового давления – 1,8). При установке цементного моста с применением арматуры из алюминиевых труб диаметром 147 мм в теле создаваемого искусственного забоя, последующие забуривания были произведены успешно. Стоит отметить, что при производстве работ по забуриванию с установленного цементного моста с алюминиевой арматурой, в стволе скважины пробуренным долотом 215,9 мм, были применены бурголовки диаметром 212,7 мм, таким образом помимо повышения прочности забоя, было использовано и увеличение угла встречи зарезного инструмента и стенки

скважины, а, следовательно, и повышение коэффициента фрезерующей способности компоновки [39] для интенсификации процесса забуривания.

На сегодняшний день в основном применяемая технология по забуриванию новых направлений из необсаженного ствола скважины с искусственного забоя заключается в следующем [36]. По данным геофизических исследований и фактических данных о составе горных пород, механической скорости проходки, полученных при бурении основного ствола скважины производится выбор участка, в котором наиболее целесообразно осуществлять забуривание нового направления. На выбранном интервале ствола скважины создается искусственная пробка, образованная в основном отверждением каких-либо смесей (цементный раствор, синтетические и эпоксидные смолы с наполнителями, пенополиуретан и др.). Чаще всего производится установка именно цементного моста, мощностью не менее 30 метров, с расчетной кровлей в интервале забуривания. Выдерживается необходимое время для затвердевания и набора прочности цементного камня, обычно оно составляет не менее 24 часов. Для того что бы убедиться в достаточной прочности искусственного забоя, определяется кровля искусственного забоя, цементный мост опрессовывается статической разгрузкой бурильного инструмента, при необходимости производится его разбуривание до требуемой глубины. После чего собирается компоновка включающая в себя забойный двигатель с регулятором угла перекоса осей. На двигателе устанавливается максимальный угол, обеспечивающий прохождение компоновки по стволу скважины. Данной компоновкой, до забуривания нового направления, осуществляется наработка желоба (уступа), путем ограничения скорости бурения в интервале забуривания до 0,3-1 м/ч и многократной проработки интервала зарезания. Во время наработки уступа контролируется содержание горной породы в вымываемом шламе. После наработки уступа вышеописанным методом, дальнейшее забуривание нового направления осуществляется также с ограничением скорости бурения до 0,2-1 м/ч, до того момента пока содержание горной породы в вымываемом шламе не составит 100 %, а содержание материала

искусственного забоя не снизится до 0 %, что свидетельствует об успешности операции по забуливанию. После чего дальнейшее углубление скважины производится при нормальных режимах бурения, без ограничения нагрузки и скорости углубления скважины.

Успешное проведение данной технологической операции зависит от многих факторов и причин. Основными факторами, влияющими на успешность забуливания нового направления можно определить:

1. Применяемый породоразрушающий инструмент для осуществления забуливания нового ствола (геометрические размеры, работоспособность, торцевое и боковое вооружение).
2. Материалы и технические средства, применяемые для создания искусственного забоя.
3. Горные породы, слагающие интервал зарезания нового ствола.
4. Технологические способы и методы забуливания нового ствола.

1.2. Обзор породоразрушающего инструмента, применяемого для забуривания дополнительных стволов

Очень значительная роль, при производстве технологической операции по забуриванию дополнительного ствола скважины с опорой на искусственный забой в интервале, сложенном твердыми и крепкими породами, отводится применяемого бурильному инструменту.

Работоспособность, геометрические размеры и фрезерующая способность породоразрушающего инструмента в значительной степени определяют эффективность и технические возможности производства работ по забуриванию новых стволов скважины при забуривании дополнительного ствола скважины с искусственного забоя в твердых породах.

Для долот, применяемых для забуривания боковых стволов основным показателем является боковая фрезерующая способность, т.е. способность долота к фрезерованию стенки скважины под действием отклоняющей силы направленной к стенке скважины. Чтобы процесс забуривания проходил с фрезерованием стенки скважины, необходимо создание следующих условий:

- наличие на долоте достаточной для разрушения породы отклоняющей силы;
- долото должно обладать боковой фрезерующей способностью;
- деформация отклонителя, его прогиб, не должен быть таким, при котором теряется способность к фрезерованию стенки скважины.

Если в процессе бурения с отклонителем одно из этих условий будет нарушено, то углубление скважины будет происходить без фрезерования стенки скважины.

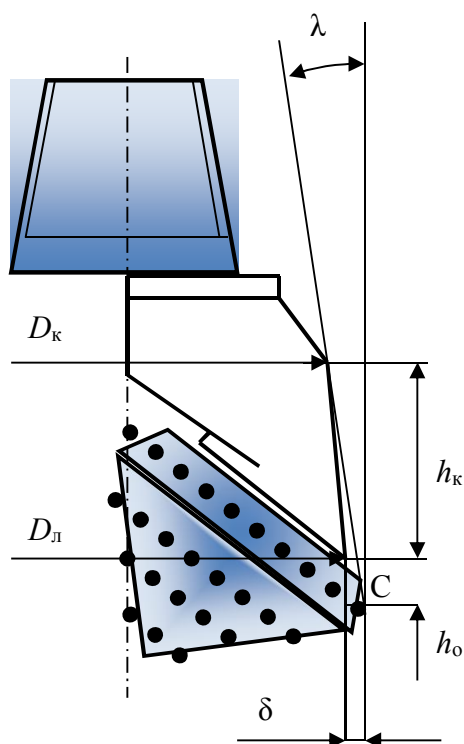


Рис. 4. Параметры шарошечных долот, определяющих величину коэффициента фрезерования по углу λ

В качестве параметра оценки фрезерующей способности долота применяют коэффициент боковой фрезерующей способности долота K_{ϕ} . Данный коэффициент представляет собой тангенс угла наклона λ к оси долота касательной к его корпусу, проходящей через верхнюю калибрующую точку С (рис. 4):

$$K_{\phi} = \operatorname{tg} \lambda = \frac{\delta + \Delta}{h_o + h_k}, \quad (1)$$

где δ – завес шарошек, м; Δ – полуразность диаметров корпуса долота у козырьков лап ($D_{\text{л}}$) и у спинки (в конце первого участка корпуса – $D_{\text{к}}$); h_o – расстояние от верхней

калибрующей точки шарошки до козырьков лап; h_k – высота первого участка корпуса от козырьков лап.

Формула (1) определяет расчет коэффициента фрезерования для шарошечного долота. Для долот иного типа данный коэффициент определяется также – угол λ рассчитывается как угол между вертикалью, проходящей через точку калибрования на боковой рабочей поверхности долота, и линией, проведенной из этой же точки к корпусу долота.

Коэффициент K_{ϕ} характеризует способность долота производить боковое разрушение ствола, ограниченное корпусом долота, поскольку при углублении долота с отклонением возможность отклонения ограничивается его размерами. Угол бокового фрезерования долота характеризует половину приращения угла искривления ствола при углублении скважины на величину $(h_o + h_k$ – рис. 4), ограничиваемого корпусом долота.

В соответствии с РД 39-0148052-550-88 Инструкция по забурированию дополнительных стволов из обсаженной эксплуатационной колонной скважины [89], выбор применяемого долота для осуществления забурирования дополнительного ствола, после вырезания части обсадной колонны и установки цементного моста (что эквивалентно забуриванию из открытого ствола с опорой на искусственный забой), зависит от твердости горных пород слагаемых интервал забурирования и рекомендованного, данной инструкцией, для данных пород контактного давления на стенку скважины P_k . С учетом необходимого контактного давления на стенку скважины P_k и площади контактной поверхности долота S_k осуществляется расчет необходимой отклоняющей силы $F_{от}$:

$$F_{от} = P_k \times S_k,$$

и производится дальнейший подбор режимов и параметров осуществления забурирования, исходя из полученного значения отклоняющей силы $F_{от}$. Данное обстоятельство отмечает важность создания отклоняющей силы на долоте в процессе осуществления зарезания бокового ствола достаточной для успешного забурирования. Можно также отметить, что в соответствии с данной инструкцией, большее предпочтение при выборе инструмента для зарезания бокового ствола, отдается типовым трехшарошечным долотам в сравнении с типовыми алмазными долотами ИСМ, в связи с меньшей контактной поверхностью S_k трехшарошечных долот. Тем не менее, алмазные долота также применяются для производства работ по забурированию новых направлений.

Применение алмазных долот для осуществления забурирования нового ствола с искусственного забоя обуславливает специфические требования к их конструкции (рис. 5):

- особая форма торца долота с определенным углом конусности ε , который обычно составляет $150-160^\circ$;
- высота торца матрицы h ;

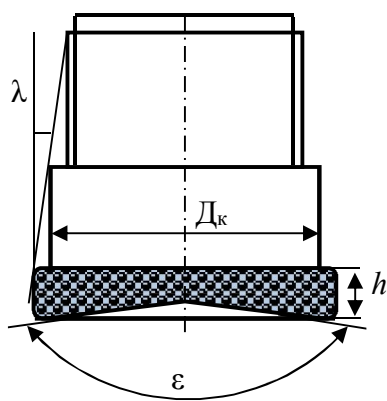


Рис. 5. Параметры алмазного долота

- соотношение вооруженных площадей торцевой (S_T) и боковой (S_6) частей матрицы, которое рекомендуется выбирать по соотношению осевого и отклоняющего усилий, действующих на долото при искривлении;

- угол бокового фрезерования λ .

Калибрующая часть алмазных долот, площадь которой определяется высотой матрицы h , при искусственном искривлении скважин, помимо общей функции по сохранению диаметра инструмента, выполняет работу по фрезерованию стенки скважины под действием отклоняющего усилия. Поэтому калибрующая часть должна выполняться таким образом, чтобы последний нижний ряд подрезных алмазов находился на кромке цилиндрической части матрицы. При этом обязательным условием для долот, предназначенных для забуривания новых направлений и искусственного искривления скважин, должно быть наличие угла бокового фрезерования λ . Для повышения угла бокового фрезерования долото должно иметь корпусную часть D_k меньшего диаметра и небольшую общую высоту.

Угол бокового фрезерования, определяющий K_f , важен для всех типов долот, предназначенных для искусственного искривления скважин, особенно для долот чье предназначение – формирование резких искривлений при забуривании новых направлений ствола скважины с искусственного забоя.

Долото, применяемое для забуривания дополнительных стволов скважины в твердых породах должно соответствовать следующим требованиям:

- высокая фрезерующая способность долота и стойкость фрезерующих элементов, поэтому при проведении работ в твердых породах фрезерующие элементы долота должны быть выполнены из алмазов или резцов PDC;

- торец долота должен иметь равномерное устойчивое опирание на забой для снижения вероятности соскальзывания с уступа и возвращения в основной ствол;

- угол бокового фрезерования должен быть максимальным;
- торец долота должен обладать острой режущей кромкой для интенсификации фрезерования и иметь плоскую или вогнутую форму.

Рассмотрим специальные долота для забуривания дополнительных стволов. Данные долота могут иметь ряд особенностей, позволяющих интенсифицировать процесс зарезания нового ствола скважины и особую схему установки породоразрушающих элементов.

Например, известно долото (а.с. 386118) [8], корпус которого выполнен в виде усеченного конуса, конусность боковой поверхности которого меньше конусности внутренней проточки, причем обе эти поверхности пересекаются. Интенсификация зарезания в данном случае, обусловлена созданием острой режущей кромки, которая врежется в стенку скважины и выбуривает в ней уступ, который удерживает долото от скольжения вниз.

Коллективом авторов (Безумов В.В., Раджиев Н.Р.) данное долото было доработано (а.с. 1813871 А1) [7]. Сущность усовершенствования заключается в увеличении износостойких элементов на каждом последующем ряду от рабочего забурочного торца долота. Целью данного изобретения является повышение долговечности работы долота и сохранение в процессе забуривания нового ствола скважины, постоянно действующей удельной контактной нагрузки на долото.

Также известно долото с установкой резцов на торце по спирали Архимеда, направление которой противоположно направлению вращения долота, что позволяет при вращении долота в момент забуривания обеспечить появление активной поперечной силы, действующей в направлении забуривания [97]. При работе таких долот возникает эффект «винтовой нарезки», за счет которого долото «подтягивается» в направлении формируемого нового ствола.

Долото (а.с. 1239250) [3], созданное коллективом авторов Гержберг Ю.М., Дюсуше С.А. и Старцева Т.Г., предусматривает интенсификацию процесса забуривания путем объединения создания острой режущей кромки (а.с. 386118) [8] и установки резцов на торце для создания дополнительной реактивной силы

возникающей при разрушении забоя и действующей на долото в сторону забуриваемого ствола скважины.

Для искривления в твердых и крепких породах в ряде случаев используют долота, изготовленные из шарошечного долота и алмазной коронки [73, 55, 54] (рис. 6).

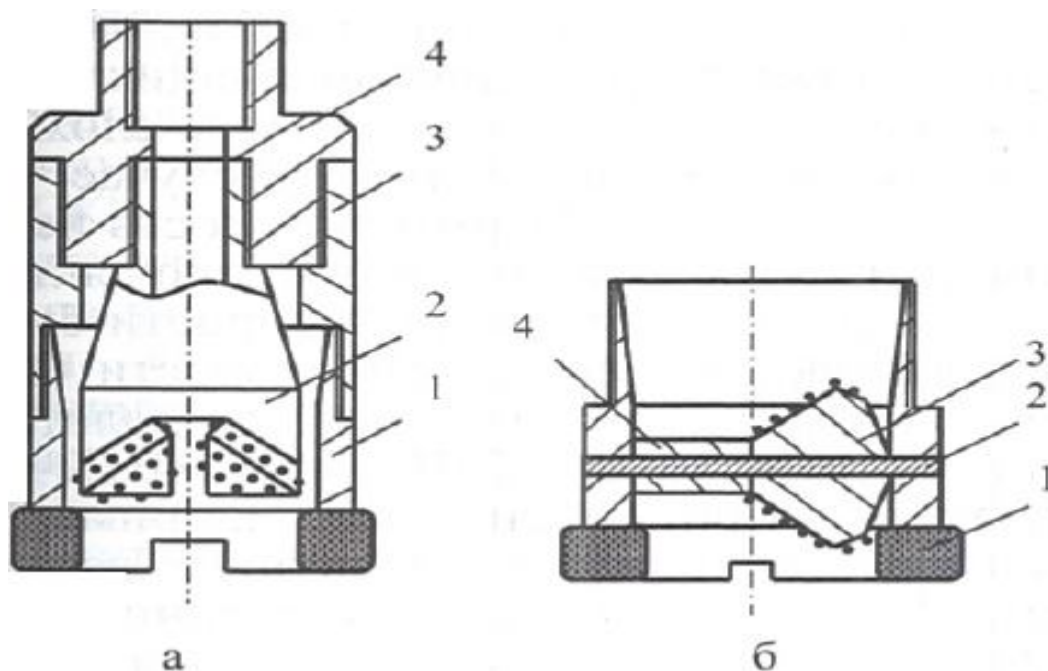


Рис. 6. Комбинированные шарошечно-алмазные долота для искусственного искривления скважин: ДША (а), АШК (б).

Долото ДША (рис. 6, а) включает алмазную коронку 1, шарошечное долото 2 меньшего размера, чем алмазная коронка, соединительный ниппель 3 и переводник 4.

Долото АШК, конструкции В.Р. Бруева (рис. 6, б) изготавливается из алмазной коронки 1, с установкой на оси 2, шарошки от долота 3. Между шарошкой 3 и корпусом коронки 1 устанавливается втулка 4.

Долота ДША и АШК позволяют производить искривления в достаточно твердых и абразивных горных породах.

При проведении работ по забуриванию нового ствола в мягких и средних по твердости горных породах процесс формирования уступа нового направления по своим характеристикам схож с процессом искусственного искривления скважины при обычных условиях, так как твердость искусственного забоя мало отличается от твердости горных пород.

Наиболее простым и эффективным инструментом для забуривания дополнительного ствола в твердых породах являются шарошечные долота, шарошки которых с торца покрываются пластичным легко изнашиваемым материалом [70, 74]. Покрытие шарошек следует выполнять напаиванием латунного или оловянного припоя. Породоразрушающие вставки на торце шарошек покрываются припоем частично и по высоте, и по площади торцевой части, что снижает эффект дробления и скалывания материала искусственного забоя и снижает скорость его разрушения.

Процесс искривления отклонителями фрезерующего типа зависит от соотношения скоростей фрезерования стенки скважины v_ϕ и углубления забоя v_δ ($\frac{v_\phi}{v_\delta}$). Таким образом, для интенсификации процесса забуривания следует понижать скорость бурения забоя и повышать скорость фрезерования породы стенки скважины. Именно этого удастся достигать, «прикрывая» часть породоразрушающих вставок на торце шарошек. Для расчета площади покрытия шарошек припоем можно использовать расчет, основанный на определении удельных контактных напряжений действующих в направлении фрезерования q_ϕ и углубления забоя q_δ . Например, если взять в качестве начального условия расчета равенство удельных напряжений под торцевыми и боковыми элементами вооружения ($q_\phi = q_\delta$) то, учитывая, что, например, твердость горной породы выше твердости материала искусственного забоя в K раз, можно получить зависимость для определения площади покрытия на каждой из шарошек.

Из равенства $q_\phi = \frac{P_{от}}{S_\phi K} = q_\delta = \frac{P_{ос}}{S_\delta}$, следует, что

$$S_\delta = \frac{P_{ос}}{P_{от} K N} S_\phi, \quad (2)$$

где S_ϕ , S_δ – площади породоразрушающих элементов взаимодействующих с породой стенки скважины при фрезеровании и материалом забоя при углублении соответственно, м^2 ; $P_{от}$, $P_{ос}$ – осевая нагрузка и отклоняющая сила,

воздействующие на буровой инструмент при забурировании дополнительного ствола, даН; N – количество шарошек у долота.

При забурировании дополнительного ствола наиболее сложными являются условия, связанные с созданием уступа. После того как уступ шириной не менее 0,25–0,5 диаметра долота [69, 70] уже сформирован, процесс забурирования дополнительного ствола мало отличается от обычного искривления с естественного забоя. Следовательно, на втором этапе забурирования торцевые элементы вооружения долота, запаянные перед забурированием и не участвовавшие в полной мере в работе долота, должны включаться в процесс разрушения забоя, который теперь частично сложен из горных пород, а частично из материала искусственного моста. С этой целью следует покрытие припоем осуществлять таким образом, чтобы происходило своевременное изнашивание пластичного сплава, а элементы вооружения на торце шарошек обнажались к моменту внедрения долота в горную породу. С этой целью можно варьировать видом припоя (олово более легко изнашиваемый материал, чем латунь), толщиной и площадью наносимого слоя, в зависимости от горных пород в интервале которых производится забурирование нового ствола.

Критерием выбора или уточнения расчетного значения площади покрытия вставок на шарошках может быть механическая скорость бурения. При забурировании уступа скорость бурения не должна превышать 0,5 м/ч, а после образования уступа должна находиться в пределах 0,8–1,0 м/ч. Контроль процесса забурирования следует осуществлять как по шламу (соотношение в шламе кусочков породы и материала забоя), так и по скорости бурения.

Анализируя применяемый породоразрушающий инструмент для производства работ по забурированию новых направлений с искусственного забоя, а также научные разработки направленные на интенсификацию производства данных работ, особенно в твердых и крепких горных породах, можно выделить следующие направления в создании резного инструмента [38]:

- повышение фрезерующей способности;

- обеспечение появления поперечной отклоняющей силы на забое скважины направленной в сторону забуривания (расположение резцов на торцевой части долота по спирали Архимеда);
- понижение скорости разбуривания материала искусственного забоя;
- повышение скорости фрезерования стенки скважины;
- усиление бокового фрезерующего вооружения.

1.3. Анализ проведения работ по забуриванию новых направлений из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой

При проведении работ по строительству глубоких разведочных скважин, основным методом по осуществлению работ по забуриванию нового направления в необсаженном стволе скважины с искусственного забоя является метод, включающий в себя установку цементного моста над предполагаемым интервалом зарезания и непосредственно забуривание нового ствола с использованием забойного двигателя с регулятором угла перекоса осей либо с установленным над двигателем «кривым» переводником. Рассмотрим проведение операций при реализации данного метода более подробно.

По данным геофизических исследований и фактических данных о составе горных пород, механической скорости проходки, полученных при бурении основного ствола скважины производится выбор участка, в котором наиболее целесообразно осуществлять забуривание нового направления. Производится установка цементного моста, мощностью не менее 30 метров, с расчетной кровлей в интервале забуривания. Выдерживается необходимое время для затвердевания и набора прочности цементного камня, обычно оно составляет не менее 24 часов. Для того что бы убедиться в достаточной прочности искусственного забоя, цементный мост опрессовывается статической разгрузкой бурильного инструмента, при необходимости подбуривается до требуемой глубины. После чего собирается компоновка включающая в себя забойный двигатель с регулятором угла перекоса осей. На двигателе устанавливается максимальный угол, обеспечивающий прохождение компоновки по стволу скважины. Данной компоновкой, до забуривания нового направления, осуществляется наработка желоба (уступа), путем ограничения скорости бурения в интервале забуривания до 0,3-1 м/ч и многократной проработки интервала зарезания. Во время наработки уступа контролируется содержание горной породы в вымываемом шлеме. После наработки уступа вышеописанным методом, дальнейшее забуривание нового направления осуществляется также с

ограничением скорости бурения до 0,2-1 м/ч, до того момента пока содержание горной породы в вымываемом шламе не составит 100 %, что свидетельствует об успешности операции по забуриванию. После чего дальнейшее углубление скважины производится при нормальных режимах бурения.

Рассмотрим в качестве примеров опыт производства работ по забуриванию новых направлений при строительстве разведочных скважин на территории Восточной Сибири [36].

Разведочная скважина № 51 Собинского газоконденсатного месторождения была заложена с целью доразведки нефтяной оторочки пластов ВН-1, ВН-2 Ванаварской свиты и уточнения положения водонефтяного контакта на Собинском месторождении, а также с целью проведения опытно-промышленных испытаний продуктивного горизонта, вскрытого горизонтальным стволом. Особенностью данной скважины является то что она была запроектирована как наклонно-направленная вскрывающая продуктивный горизонт сначала пилотным стволом, для уточнения глубины залегания продуктивных горизонтов и их испытания в открытом стволе при помощи испытателя пластов на трубах (ИПТ), после чего пилотный ствол ликвидируется, производится установка цементного моста и осуществляется бурение второго наклонно-направленного ствола с горизонтальным окончанием (300 метров) по продуктивному горизонту. Фактически при осуществлении строительства разведочной скважины № 51 Собинского газоконденсатного месторождения, было произведено забуривание четырех новых стволов.

Первое забуривание. После достижения пилотным стволом скважины забоя 2947 метров и вскрытия целевых продуктивных горизонтов ванаварской свиты, была произведена запись завершающего комплекса геофизических исследований скважины, проведены работы по испытанию пласта на бурильных трубах, после чего были начаты работы по забуриванию второго ствола скважины с глубины 2650 метров. Был установлен цементный мост в интервале 2947-2650 метров, время ожидания затвердевания цемента (ОЗЦ) составило 48 часов. При определении кровли цементного моста бурильным инструментом

ТБПК-127 оборудованным муфтой-воронкой, на глубине 2652 метра были отмечены «посадки» до 3 – 4 тн, при увеличении нагрузки бурильный инструмент продолжал движение по стволу, разгрузка отсутствовала. Верхняя граница установленного цементного моста была зафиксирована на глубине 2736 метров, разгрузкой бурильной колонны на 10 тн. Были проведены работы по наращиванию цементного моста до глубины 2635 метров, время ОЗЦ – 48 часов. При дальнейшем разбурировании цементного моста в интервале 2636 – 2665 метров, на следующих режимах: нагрузка – 0-3 тн; частота вращения – 60 об/мин; производительность бурового насоса – 25 л/с, механическая скорость разбурирования составила более 40 м/ч, что не позволило принять решение о продолжении работ по забурированию нового ствола с цементного моста низкой прочности, время ОЗЦ было продлено еще на 24 часа, но при дальнейшем разбурировании цементного камня в интервале 2665 – 2724 метра, механическая скорость бурения снова превысила 40 м/ч. В связи с этим на скважине был установлен очередной цементный мост в интервале 2724 – 2600 метров, время ОЗЦ – 48 часов. После ОЗЦ цементный мост был разбурен до глубины 2630 метров и опрессован разгрузкой бурильного инструмента на 12 тн. Забурирование второго ствола скважины осуществлялась с глубины 2630 метров с применением следующей КНБК: долото трехшарошечное с фрезерованным вооружением Ø215,9 мм С-ГВ; забойный двигатель Д5М1-176 с установленным углом 1°30' (7,26 м); Телесистема MWD650 (12,02 м); ТБПК-127 – остальное. В интервале зарезки зенитный угол скважины составлял 28°. Работы по зарезанию второго ствола производились следующим образом: на глубине 2630 метров компоновка была сориентирована в требуемом азимутальном направлении, после чего были выполнены работы по забурированию нового ствола скважины в соответствии с таблицей № 1:

Таблица № 1.

Режимы забурирования первого нового ствола.

Интервал, м	Мощность, м	Время бурения, ч	Скорость, м/ч	Режимы	Кол-во породы в шламе, %
2630-2638	8	8	1	Р – 0-2 тн (с навеса); Q = 25 л/с.	0
2638-2644	6	14	0,43		5-15
2644-2656	12	20	0,6		20-90
2656-2666	10	25	0,4	Р – 3-5 тн (с навеса); Q = 25 л/с.	90-100
ИТОГО:	36	67			

При проведении работ по забурированию нового ствола скважины, предварительной наработки желоба не производилось, зарезание осуществлялось с ограничением механической скорости до 0,4 м/ч, для совмещения процесса углубления скважины и фрезерования ее стенки.

Общие затраты времени на осуществление забурирования нового ствола на скважине № 51 Собинской площади, с учетом повторной установки цементных мостов и ограниченных режимах при осуществлении забурирования составили 14 суток.

Второе забуривание было произведено вследствие встреченного геологического осложнения, связанного с обвалообразованием горных пород (аргиллиты) в наклонном стволе скважины. В скважине был установлен цементный мост в интервале 2965-2830 метров, время ОЗЦ составило 48 часов. После ОЗЦ цементный мост был разбурен до глубины 2852 метра и опрессован статической разгрузкой инструмента на 12 тн. Зарезание нового ствола осуществлялось без предварительной подготовки желоба с применением долота РДС следующей КНБК: долото У215,9 ST-57; забойный двигатель Д5М1-176 с установленным углом $1^{\circ}20'$ (7,26 м); Телесистема MWD650 (12,81 м); УБТС178 диамагнитное (9,51 м); ТБПК-127 – остальное. Зенитный угол на глубине 2852 метра составлял $53^{\circ}48'$. Режимы и параметры забурирования представлены в таблице № 2:

Таблица № 2.

Режимы забурирования второго нового ствола

Интервал, м	Мощность, м	Время бурения, ч	Скорость, м/ч	Режимы	Кол-во породы в шламе, %
2852-2855	3	8,5	0,35	Р – 0-2 тн (с навеса); Q = 25 л/с.	0-5
2855-2864	9	24	0,37		5-35
2864-2869	5	24	0,2		35-70
2869-2880	11	22	0,5	Р – 3-6 тн; Q = 25 л/с.	70-90
2880-2882	2	2	1		90-100
ИТОГО:	30	80,5			

Зарезание данного ствола было, также как предыдущее, осуществлено с ограничением механической скорости бурения до 0,2 м/ч для совмещения процесса фрезерования стенки скважины и ее углубления. Затраты времени составили около 7 суток.

Третье забурирование было вызвано необходимостью ликвидации аварии связанной с заклиниванием бурильного инструмента в скважине. В интервале 2907 – 2795 метров был установлен цементный мост, время ОЗЦ составило 48 часов. После ОЗЦ цементный мост был разбурен до глубины 2810 метров. Забурирование осуществлялось с применением долота PDC, следующей КНБК: долото У6215,9 ST-47; забойный двигатель Д5М1-176 с установленным углом $1^{\circ}30'$ (7,26 м); Телесистема MWD650 (12,17 м); ТБПК-127 – остальное. Зенитный угол на глубине 2810 метра составлял 48° . При забурировании была осуществлена наработка желоба в интервале 2800-2816 метров методом «сверху-вниз», данные по наработке желоба представлены в таблице № 3.

Таблица № 3.

Режимы наработки уступа при забурировании третьего ствола

Интервал, м	Мощность, м	Время бурения, ч	Скорость, м/ч	Режимы	Кол-во породы в шламе, %
2800-2802	2	4	0,5	Р – 0-2 тн (с навеса); Q = 25-30 л/с.	-
2800-2804	4	4	1		-
2800-2806	6	4	1,5		-
2800-2808	8	4	2		-
2800-2810	10	5	1		-
2800-2812	12	6	2		-
2800-2814	14	7	2		5
2800-2816	16	8	2		10
ИТОГО:	16	42			

Как видно из представленной таблицы № 3, работы по наработке желоба не позволили наработать необходимый уступ (10 % горной породы в шламе с глубины 2816 метров). Дальнейшее зарезание в интервале 2816-2834 метра осуществлялось также с ограничением механической скорости до 0,3 м/ч (затраты времени на бурение данного интервала составили 50 часов). Процентное содержание горной породы (доломит глинистый) в вымываемом шламе возросло до 45-50 % к достижению глубины 2830-2832 метра, однако при бурении в интервале 2832-2834 метра было снижено до 20 %. В связи с чем был произведен подъем и смена КНБК, для увеличения угла компоновки при зарезании (над забойным двигателем был установлен дополнительный кривой переводник с углом перекоса 1° с направлением перекоса в одной плоскости с перекосом двигателя). Работы по забурированию нового ствола были продолжены следующей КНБК: долото У6215,9 ST-47; забойный двигатель Д5М1-176 с установленным углом $1^{\circ}30'$ (7,26 м); Кривой переводник 1° , Телесистема MWD650 (12,17 м); Немагнитное УБТС178 (9,51 м); ТБПК-127 – остальное. Была произведена наработка желоба в интервале 2829-2834 метра, путем многократного фрезерования данного интервала со скоростью от 0,3 до 1 м/ч, в течение 28 часов. При окончании фрезерования ствола скважины процентное содержание горной породы составило 50 % (доломит глинистый, доломит).

Режимы и параметры проведения работ по дальнейшему забуливанию представлены в таблице № 4:

Таблица № 4.
Режимы забуливания третьего ствола

Интервал, м	Мощность, м	Время бурения, ч	Скорость, м/ч	Режимы	Кол-во породы в шламе, %
2829-2834 (наработка желоба)	5	28		Р – 0-2 тн (с навеса); Q = 28-30 л/с.	30-50
2834-2842	8	24	0,33		40-50
2842-2848	6	24	0,25		50
2848-2853	5	20	0,25		50
2853-2858	5	24	0,2		50-80
2858-2867	9	24	0,4	Р – 5 тн; Q = 30 л/с.	80-100
ИТОГО:	38	144			

Общие затраты производительного времени на производство операции по данному забуливанию нового направления составили около 16 суток, из них 236 часов ушло на наработку желоба и зарезание нового ствола на ограниченных режимах с контролем процентного содержания горной породы в шламе.

Четвертое забуливание было произведено, также, как и предыдущее, в связи с аварийной ситуацией в скважине, связанной с потерей подвижности бурильного инструмента в скважине. В интервале 2779-2665 метров был установлен цементный мост, время ОЗЦ – 48 часов. После ОЗЦ цементный мост был разбурен до глубины 2703 метра, при нагрузке на долото 4 тн, со средней скоростью 10 м/ч. После рзабуливания цементный мост был опрессован статической разгрузкой инструмента на 10 тн. Зарезание осуществлялось с применением следующей КНБК: долото PDC 215,9 FM; забойный двигатель GV 172 с установленным углом 2°7' (6,92 м); Телесистема MWD650 (12,47 м); ТБПК-127 – остальное. Забуливание осуществлялось без предварительной наработки желоба над цементным мостом. Интервал 2690 – 2703 метра был отфрезерован в течении 30 минут, после чего были начаты работы по забуливанию с ограничением механической скорости до 0,5 м/ч, на

ограниченных режимах, для наработки уступа в интервале 2703-2715 метров. Продолжительность работ по углублению скважины с фрезерованием стенки скважины составила 34 часа. С глубины 2715 метров отмечено 100 % содержание горной породы в вымываемом шламе, произведен подъем КНБК для изменения угла забойного двигателя на $1^{\circ}9'$ и продолжены работы по бурению нового ствола скважины. Режимы и параметры наработки уступа и забуривания четвертого ствола представлены в таблице № 5.

Таблица № 5
Режимы забуривания четвертого ствола

Интервал, м	Мощность, м	Время бурения, ч	Скорость, м/ч	Режимы	Кол-во породы в шламе, %
2690-2703 (фрезерование стенки)	13	0,5	26	Р – 0-2 тн (с навеса); Q = 25 л/с.	30-50
2703-2705	2	4	0,5		40-50
2703-2707	4	4	1		50
2703-2709	6	4	1,5		50
2703-2711	8	6	1,3		50-80
2703-2713	10	8	1,25	Р – 5 тн; Q = 30 л/с.	80-90
2703-2715	12	8	1,5		90-100
ИТОГО:		34,5			

Затраты времени на осуществление работ по забуриванию четвертого ствола составили около 5 суток.

Анализ затрат времени на производство работ по забуриванию новых стволов при осуществлении строительства разведочной скважины № 51 Собинской площади представлен в таблице № 6 и на диаграмме рисунка № 7.

Таблица № 6

Анализ производительного времени при осуществлении забурирования новых стволов на разведочной скважине № 51 Собинской площади

№ п/п	Осуществляемое забуривание	Затраты времени, час			
		Установка цементного моста, ОЗЦ	Наработка уступа, бурение с ограничением режимов	Спуско-подъемные операции, работа с КНБК	Итого
1	Первое	229	67	40	336
2	Второе	72	80,5	20	172,5
3	Третье	72	236	60	368
4	Четвертое	70	34,5	16	120,5
5	Итого:	443	418	136	997

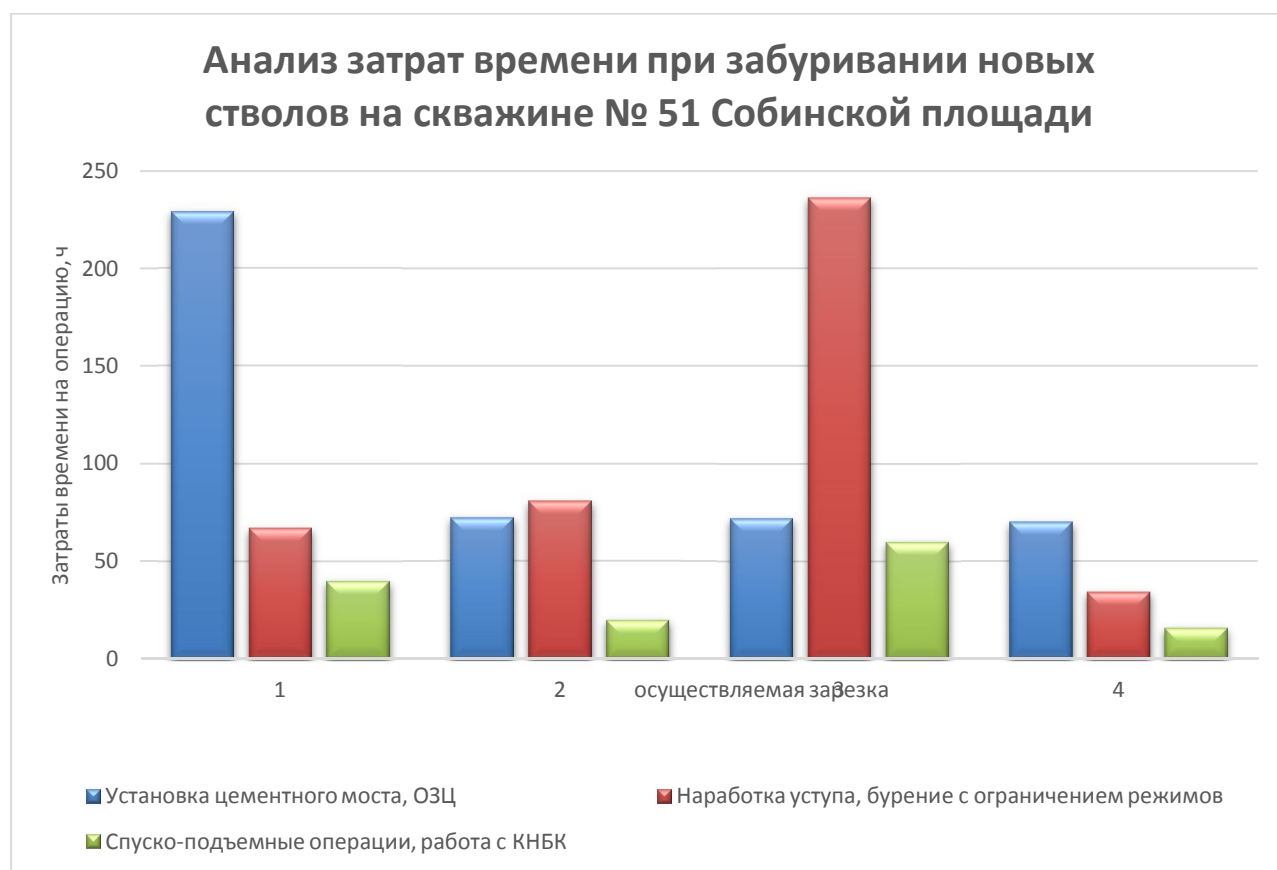


Рис. 7. Анализ затрат времени при забурировании новых стволов на разведочной скважине № 51 Собинской площади

На разведочной скважине № 71 Ковыктинского газоконденсатного месторождения производились работы по бурению скважины под техническую колонну Ø245 мм с применением долота Ø295,3 мм. С глубины 879 метров бурение велось с наличием катастрофического поглощения бурового раствора.

При достижении забоя 1012 метров, при выполнении работ по ликвидации поглощения методом очередной закачки в зону поглощения вязко-упругой смеси с введенными кольматантами, во время подъема инструмента была получена потеря подвижности бурильного инструмента при нахождении долота на глубине 838 метров. Проведенные работы по расхаживанию прихваченного инструмента с использованием гидравлического ударного механизма двухстороннего действия (Э1-ГУМД 215М) к положительному результату не привели. Было принято решение об оставлении прихваченной КНБК, установке цементного моста и проведению работ по забуливанию нового ствола скважины.

В интервале 757 метров (верхняя часть аварийной КНБК) – 628 метров был установлен цементный мост (плотность цементного раствора $1,83 \text{ г/см}^3$). После ОЗЦ (24 часа) «голова» цементного моста определена на глубине 657 метров, произведено разбуривание цементного моста до глубины 658 метров и его опрессовка статической разгрузкой бурильного инструмента на 15 тн. Далее была собрана компоновка для осуществления зарезания бокового ствола: трехшарошечное долото Ø 295,3 мм с фрезерованным вооружением (0,31 м); переводник Ø 203 мм (0,49 м); ВЗД 240 с установленным углом $1^\circ 30'$ (11,56 м); переливной клапан Ø 203 мм (0,46 м); УБТС203 (8,2 м); переводник Ø 203 мм (0,38 м); УБТС165 (28,41 м); ТБПК 127 - остальное. Общая длина КНБК составила 49,81 м. Проведены работы по разбуливанию цементного моста до глубины 670 метров, с целью тестирования качества установленного цементного моста по определению скорости его разбуивания. С глубины 670 метров начаты работы по наработке желоба для дальнейшего забуивания нового ствола. Нарботка желоба производилась методом снизу-вверх следующим образом:

1. Мера бурильного инструмента подобрана таким образом, чтобы при нахождении долота на глубине 670 метров, заход ведущей трубы составлял 14 метров (для исключения наращивания при производстве работ по наработке желоба);

2. При заходе ведущей бурильной трубы на 14 метров, долото подается на 1 метр вверх и с ограниченной скоростью 1 м/ч производится фрезерование стенки скважины в интервале 669 – 670 метров;

3. После чего долото поднимается до глубины 668 метров и производится фрезерование интервала 668-670 метров со скоростью 2 м/ч.

Дальнейшие операции по наработке желоба приведены в таблице № 7:

Таблица № 7

Режимы наработки желоба при забурировании нового ствола на скважине
№ 71 Ковыктинского ГКМ

Интервал наработки, м	Интервал захода вед. трубы, м	Время фрезерования, ч	Скорость фрезерования, м/ч	Режимы фрезерования
669-670	13-14	1	1	Нагрузка=0-2тн, Q=35 л/с, P=50-55 кгс/см ²
668-670	12-14	1	2	
667-670	11-14	1	3	
666-670	10-14	2	2	
665-670	9-14	2	2,5	
664-670	8-14	2	3	
663-670	7-14	2	3,5	
662-670	6-14	3	2,7	
661-670	5-14	3	3	
660-670	4-14	3	3,3	
ИТОГО:		20		

Литологический разрез в интервале зарезания нового ствола был представлен мелко и средне-кристаллическими известняками, доломитами и аргиллитами средней плотности и слабой крепости.

Общие затраты времени на производство работ по наработке желоба составили 21 час 15 минут.

Уже при наработке желоба был отмечен выход измельченной горной породы, что говорит о том, что фрезерование стенки скважины проходит успешно. После наработки желоба, при забурировании нового ствола с глубины 671 метр отмечено следующее процентное содержание горной породы/цемента – 60/40, что также подтверждает наработку уступа. Полный выход цемента прекратился с глубины 690 метров, при забое 708 метров была проведена запись инклинометрии подтверждающая необходимый набор угла и забуривание

нового ствола. Бурение в интервале 670-708 метров осуществлялось с ограничением нагрузки до 5 тн при средней скорости бурения 0,58 м/ч, при прохождении данного интервала первым стволом средняя скорость бурения составляла 10 м/ч (бурение первого ствола велось с применением ВЗД и долота PDC).

Общие затраты производительного времени на производство операции по наработке желоба и забуриванию второго ствола до глубины 708 метров составили 92 часа 15 минут.

При производстве данных работ значительное время заняла операция по наработке желоба и последующее бурение интервала 670-708 метров, с ограниченной нагрузкой на долото, для минимизации риска возвращения в старый ствол.

При осуществлении строительства разведочной скважины № 1 Троицкой площади операция по забуриванию нового ствола производилась дважды.

Первое забуривание нового ствола было вызвано прихватом бурильного инструмента. Во время проработки ствола скважины, при забое 3696 метров, перед спуском испытателя пластов на бурильных трубах, следующей КНБК: долото PDC Ø215,9 мм; УБТС165 (16,86 м); КЛС 215,9 (1,0 м); УБТС165 (157,7 м); ТБПК 127 – остальное, была получена подклинка бурильного инструмента с последующей потерей подвижности бурильного инструмента. Проведение аварийных работ по освобождению прихваченной КНБК к положительному результату не привели, было принято решение об оставлении аварийной КНБК в скважине и перебуривании части ствола.

Забуривание второго ствола осуществлялось с применением комплекса технических средств «КФ-Ц» производства НПП «Буринтех», состоящего из цементируемого якоря Я-216Ц (предназначен для крепления клина отклонителя цементным раствором в открытом стволе скважины) и клина-отклонителя КОС-216Ц. Для размещения в скважине данного комплекса оборудования был установлен опорный цементный мост в интервале 3585 (верхняя часть аварийной КНБК) – 3513 метров. Затем, после ОЗЦ, была произведена подготовка

цементного моста к установке клина-отклонителя, путем его разбуривания до глубины 3555 метров и опрессовки статической нагрузкой инструмента на 18 тн в течении 10 минут. После чего были проведены работы по спуску клина-отклонителя и якоря в скважину на глубину 3555 метров и их цементированию в интервале 3555-3481 метров, «голова» клина отклонителя расположена на глубине 3545 метров. При разбуривании цементного моста с применением следующей КНБК: Фрез КФО Ø210 мм; фрез КФР Ø216 мм; ТБПУ-127 – остальное, в шламе с глубины 3528 – 3529 метров было обнаружено повышенное содержание горной породы (мергель доломитистый – 55-80%; цемент – 45-20%), что говорило о том, что осуществляется не разбуривание цементного моста по старому стволу, а происходит забуривание нового ствола с цементного моста. В связи с этим были проведены работы по замене КНБК для разбуривания цементного моста (долото 215,9 GX-44G; УБТС 165 (16,53 м); КЛСВ 215,9 (0,5 м); УБТС 165 (49,82 м); ТБПК-127 – остальное) и его разбуривание до глубины 3546 метров (голова клина). Затем продолжили работы по зарезке с головы клина с применением предыдущей КНБК (Фрез КФО Ø210 мм; фрез КФР Ø216 мм; ТБПК-127 – остальное), однако при достижении глубины 3550,2 метров в выносимом шламе увеличилось содержание металла (до 70%), в связи с чем был произведен подъем КНБК, исключение из нее фрезы КФР Ø216 мм и добавлено УБТС 165 (фрез КФО Ø210 мм; ТБПК-127 (24,91 м); УБТС 165 (99,54 м); ТБПК-127 – остальное). Однако при попытке продолжить забуривание нового ствола в интервале 3550,2 – 3551 метр снижения выноса металлической стружки не отмечено (содержание металла – до 80%). Был произведен очередной подъем и замена КНБК: долото Ø215,9 мм трехшарошечное с фрезерованным вооружением (IADC 117); ТБПК-127 – остальное. Данной КНБК было произведено расширение интервала работы фрезы КФО Ø210 мм 3550-3551 метр в течении 4 часов 45 минут, при попытке продолжить зарезание нового ствола скважины отмечены подклинки бурильного инструмента и отсутствие проходки в течение 2 часов. Произведена смена КНБК, с уменьшением диаметра применяемого фреза: ФО Ø186 мм; ТБПК-127 (24,91 м); УБТС 165 (99,54 м);

ТБПК-127 – остальное. Данной КНБК произведены работы по зарезанию в интервале 3551 – 3553,2 метра в течении 30 часов, средняя скорость 0,1 м/ч, с последующей потерей проходки до 0, что вызвало необходимость в очередном подъеме и осмотре КНБК. После подъема выявлен износ по боковому вооружению фреза и потеря диаметра на 2 мм. Собрана КНБК: Фрез КФО Ø210 мм; фрез КФР Ø216 мм; ТБПК-127 (24,91 м); УБТС 165 (99,54 м); ТБПК-127 – остальное, произведено расширение интервала работы ФО 186 до глубины 3553 метра, при попытке продолжить забурирование нового направления отмечена потеря проходки. Произведена замена КНБК (долото 215,9 GX-44G; КЛС 215,9 (0,48 м); УБТС 165 (24,73 м); ТБПК-127 – остальное), и продолжены работы по зарезанию нового ствола скважины в интервале 3553,2 – 3568,5 метров, на следующих режимах: нагрузка 10 тн; обороты ротора – 60 об/мин; производительность насосов – 30-32 л/с, со средней скоростью 0,6 м/ч.

Затраты производительного времени на зарезание нового ствола с использование клина-отклонителя составили более 20 суток. Была произведена установка 2 цементных мостов (опорный мост и цементирование клина-отклонителя), смена КНБК осуществлялась восемь раз, что и послужило основной причиной по увеличению времени на производство данных работ. Таким образом, использование комплекса технических средств, состоящего из цементируемого якоря и клина-отклонителя, не только не упростило процесс забурирования нового ствола скважины, но и потребовало большого количества исправительных работ при осуществлении данных работ.

Второе забуривание нового ствола на разведочной скважине № 1 Троицкой площади было вызвано также произошедшим прихватом бурильного инструмента при забое 4305 метров. Во время подъема КНБК на глубине 3743 метра, была получена затяжка инструмента на 20 тн выше собственного веса с последующей потерей подвижности бурильного инструмента. Проведение работ по освобождению прихваченной КНБК к положительному результату не привело, был произведен отворот от аварийной КНБК на глубине 3642 метра и установлен цементный мост в интервале 3641-

3489 метров. Цементный мост был подготовлен к забуливанию нового направления путем его разбуривания до глубины 3552 метров и опрессовкой статической разгрузкой инструмента на 10 тн. В связи с тем, что предыдущая обсадная колонна Ø 245 мм спущена в интервале 0-3485 метров, и на скважине уже была реализована установка клина отклонителя в интервале 3555-3545 метров, а так же учитывая наличие двух стволов с оставленными КНБК, было принято решение осуществлять зарезание нового ствола с использованием комплекса телеметрического оборудования (Sperry Sun MWD650) и забойного двигателя с углом перекоса для контроля траектории нового ствола скважин и исключения возвращения в один из старых стволов. Время на доставку необходимого оборудования на скважину составило около 7 суток. Далее была собрана ориентируемая КНБК: долото Ø215,9 PDC (Q506F); ВЗД 172 с установленным углом 1° 56' (9,67 м); Телесистема MWD650 (11,96 м); ТБПК-127 – остальное, произведено ориентирование телесистемы при доходе до искусственного забоя и произведены работы по зарезанию нового ствола скважины в интервале 3552,5 – 3566,5 метров. Забуливание нового ствола скважины в этом интервале было осуществлено с ограничением скорости углубления до 0,3 м/ч, для совмещения углубления ствола и фрезерования стенки скважины, и постоянным контролем процентного соотношения порода/цемент в вымываемом шламе. На глубине 3566,5 метров содержание горной породы увеличилось до 90%, что свидетельствовало о забуливании нового ствола. После достижения забоя 3566,5 метров был произведен подъем и изменение угла перекоса двигателя на 1° 25' для осуществления дальнейшего направленного бурения. При бурении в интервале 3574-3584 метра было отмечено увеличение механической скорости с 0,7 м/ч до 12 м/ч и увеличение процентного содержания в выбуренной породе цемента до 100 %, что свидетельствовало о возвращении в старый ствол и потребовало проведения очередной операции по забуливанию нового направления. Был осуществлен подъем и смена КНБК (долото 215,9 GX-44GDX; УБТС 165 (96,02 м); ТБПК-127 остальное) для разбуривания цементного моста до глубины 3600 метров. В интервале 3600-3615 метров были проведены

работы по зарезанию нового ствола с применением КНБК: долото Ø215,9 PDC (Q506F); ВЗД 172 с установленным углом $1^{\circ} 56'$ (9,67 м); Телесистема MWD650 (11,96 м); ТБПК-127 – остальное. Забурирование также осуществлялось после ориентирования КНБК с ограничением механической скорости до 0,2-0,3 м/ч. Время работ по зарезанию в интервале 3600-3615 метров составило 60 часов, процентное содержание породы/цемент в вымываемом шламе с глубины 3615 метров составило 20/80. После подъема КНБК выявлен значительный износ бокового (фрезерующего) вооружения долота и потеря диаметра долота на 3 мм была произведена замена долота на трехшарошечное (код по IADC 547) и продолжены работы по забурированию нового ствола с ограничением механической скорости до 0,2-0,3 м/ч в интервале 3615-3625 метров, процентное содержание породы в шламе увеличилось до 100% при глубине 3617 метров. После достижения глубины скважины 3625 метров произведено изменение угла перекоса забойного двигателя на $1^{\circ} 25'$ и продолжены работы по направленному бурению до глубины 3689 метров, после чего была произведена проработка ствола скважины и последующее бурение осуществлялось без применения телесистемы.

Общие затраты времени на проведение работ по забурированию нового направления в интервале 3552-3625 метров составили около 18 суток и около 7 суток на ожидание завоза необходимого оборудования.

Таким образом, анализируя затраченное время на проводимые работы по осуществлению забурирования новых стволов, можно отметить большие затраты времени на выполнение работ по наработке уступа и углублению скважины с ограничением режимов бурения.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

На основании приведенного изучения научно-технической, информационной и патентной литературы, а также учитывая фактический накопленный опыт проведения работ по осуществлению забуривания новых стволов установлено, что современный уровень развития технических и технологических средств для производства работ по забуриванию новых направлений с опорой на искусственный забой в условиях залегания твердых и крепких пород имеет следующие принципиальные направления:

- Обеспечение увеличения соотношения механических скорости фрезерования стенки скважины и скорости углубления по материалу искусственного забоя;
- Повышение прочности материала искусственного забоя;
- Ограничение скорости углубления скважины при производстве работ по забуриванию нового направления;
- Важность создания необходимого уступа в стенке скважины при забуривании нового направления ствола скважины;
- Повышение коэффициента фрезерования применяемого долота;
- Увеличение угла встречи торцевой части долота и искусственным забоем;
- Обеспечение наличия на долоте достаточной отклоняющей силы для фрезерования стенки скважины;
- Обеспечение азимутального ориентирования компоновки при производстве работ по наработке уступа;

Основываясь на опыте производства работ по забуриванию новых направлений ствола скважины с искусственного забоя на территории Восточной Сибири, в условиях залегания твердых и крепких пород, по традиционной технологии с применением забойного двигателя с узлом искривления, большие затраты времени уходят для производства работ по наработке уступа с применением ограниченных режимов бурения, и далеко не всегда такая

наработка уступа будет гарантировать успешность операции по зарезанию нового направления в целом (возвращение в «старый» ствол).

Таким образом, можно сформулировать основные направления дальнейших исследований по разработке технических средств и технологий для повышения эффективности производства работ по забурированию новых направлений ствола скважины из необсаженного ствола с опорой на искусственный забой в твердых и крепких горных породах:

- Произвести исследование процесса образования уступа в стенке скважины при осуществлении забурирования нового направления ствола скважины с опорой на искусственный забой;
- Произвести исследования фрезерующей способности компоновки низа бурильной колонны, определить основные факторы, влияющие на повышение данного показателя;
- Провести анализ и оценку применяемых материалов для создания искусственных забоев при осуществлении забурирования нового направления из открытого ствола скважины;
- Разработать технологию забурирования нового ствола, обеспечивающую повышение механической скорости фрезерования стенки скважины сложенной горными породами и снижение механической скорости углубления по материалу искусственного забоя;
- Разработать технологию производства работ по зарезанию нового направления ствола скважины, обеспечивающую снижение затрат времени и средств на производство работ;
- Разработать методику доработки применяемого для зарезания нового направления долота, в зависимости от горно-геологических условий;
- Выполнить экспериментальные исследования при осуществлении работ по забурированию нового направления ствола скважины;

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАБУРИВАНИЯ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В ОТКРЫТОМ СТВОЛЕ СКВАЖИНЫ С ИСКУССТВЕННОГО ЗАБОЯ

2.1. Исследование процесса забуривания уступа в стенке скважины с искусственного забоя.

Забуривание уступа в стенке скважины при опоре на забой, образованный из искусственного материала, представляет собой процесс по разбуриванию материалов различной твердости, причем при наиболее сложных условиях, так как угол встречи породоразрушающего инструмента со стенкой скважины очень мал. По мнению многих исследователей это соответствует условиям исследования процесса искривления скважин при углах встречи с напластованием горных пород различной твердости меньше критических величин [67, 72, 45, 94]. Условия этой задачи (рис.8) состоит в том, что при встрече контакта материалов различной твердости, т.е. когда твердости контактируемых материалов (горной породы - H_T , искусственного забоя H_M) имеют отношение [40, 71]:

$$\frac{H_T}{H_M} = \kappa > 1, \quad (3)$$

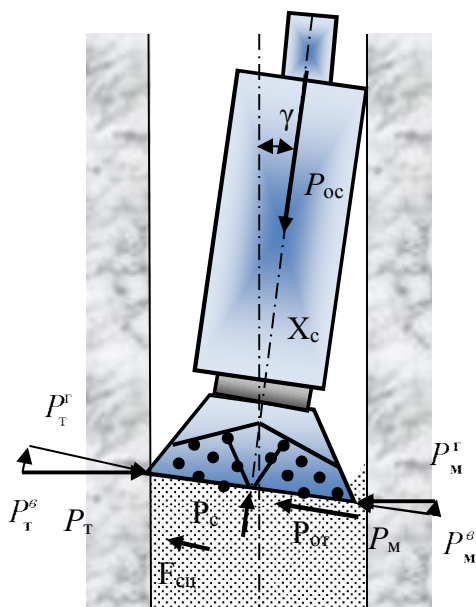


Рис.8. Схема для определения условий образования уступа в стенке скважины

на торец породоразрушающего инструмента оказывают действие реакция со стороны твердого слоя P_T , направленная по нормали к плоскости контакта, и реакция со стороны мягкого слоя P_M .

Реакции P_T и P_M можно разложить на вертикальные P_T^v , P_M^v и горизонтальные P_T^r , P_M^r составляющие, обеспечивающие искривление в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Для этих реакций будет справедливо отношение

$$\frac{P_T^B}{P_M^B} = \frac{P_T^r}{P_M^r} = K \quad (4)$$

Реакции P_T^B и P_M^B имеют свою равнодействующую P_c , которая смещена от центра инструмента в сторону твердого слоя на расстояние X_c . Равнодействующая, равная по величине осевой нагрузке P_{oc} , создает изгибающий момент $M_B = P_c * X_c$, который способен ориентировать торец породоразрушающего инструмента в сторону твердого слоя. В начальный период забуривания, M_B имеет незначительную величину. Усилия P_T^r и P_M^r напротив значительны в начальный момент формирования уступа и их влияние является основным. Реакции P_T^r и P_M^r определим по формулам, приведенным в работах В.В. Нескоромных:

$$P_T^r = \frac{P_{oc}K}{(1+K)tg\gamma}; \quad (5)$$

$$P_M^r = \frac{P_{oc}}{(1+K)tg\gamma}; \quad (6),$$

где γ – угол встречи бурового инструмента со стенкой скважины, град; P_{oc} – осевое усилие на инструмент, даН.

Многими исследователями (Безумов В.В., Гилязов Р.М., Мамедов Н.Г., Нескоромных В.В., Фикрет Сеид-Рза оглы и др.) подтверждено, что успешное забуривание нового ствола зависит не только от применяемой компоновки и применяемого резного инструмента, но и от физико-механических свойств горных пород и материала искусственного забоя [30, 59, 70, 95].

Условием образования уступа и забуривания дополнительного ствола будет соотношение сил (Нескоромных В.В.):

$$P_{oc}\sin\gamma + P_{от} + P_M^r + F_{сц} \geq P_T^r; \quad (7)$$

где $P_{от}$ – отклоняющая сила со стороны отклонителя, даН;

$F_{сц}$ – сила сцепления торца бурового инструмента с забоем, даН.

Решение уравнения (7) позволяет найти значение отклоняющего усилия со стороны стенки скважины:

$$P_{гп} = \frac{P_{oc}(K-1)}{(K+1)tg\gamma} - H_M\mu_M S_{п}; \quad (8)$$

и определить значение K , при котором возможно забуривание уступа при определенных значениях входящих параметров:

$$K = \frac{P_{oc} + (P_{от} + H_M \mu_M S_{\Pi} + P_{oc} \sin \gamma) \operatorname{tg} \gamma}{P_{oc} - (P_{от} + H_M \mu_M S_{\Pi} + P_{oc} \sin \gamma) \operatorname{tg} \gamma} \quad (9)$$

где μ_M – коэффициент трения торца бурового инструмента о забой; S_{Π} – площадь породоразрушающих элементов бурового инструмента, опирающихся на забой, м^2 .

Полученный коэффициент K , полученный из условия равновесия сил, позволяет оценить ряд технико-технологических параметров, оказывающих влияние на забуривание уступа в стенке скважины.

Из формулы (9) следует, что значительное влияние на процесс забуривания уступа оказывает угол между стенкой скважины и осью бурового инструмента γ , величина отклоняющего усилия со стороны отклонителя и сила сцепления торца

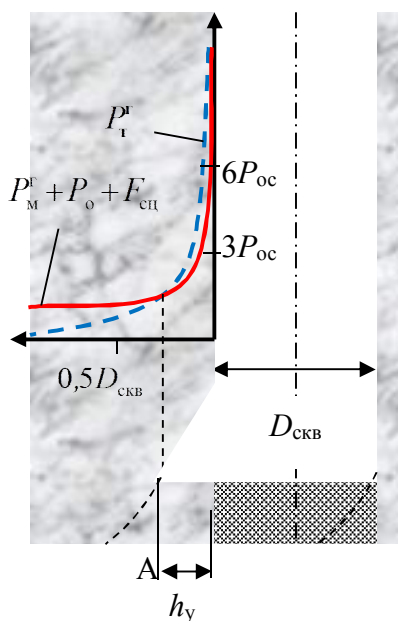


Рис. 9. Графическое решение уравнения равновесия сил при забуривании, определяющее ширину уступа h_y

долота с забоем, повышение которых способно увеличить вероятность успешного забуривания уступа.

Осевое усилие в соответствии с условиями успешного забуривания нового направления ствола скважины, напротив, должно быть минимальным.

Таким образом, комплекс условий успешного формирования уступа в стенке скважины с искусственного забоя можно представить в следующем виде [70, 72]:

$$\begin{aligned} (+\gamma \rightarrow \max; P_{от} \rightarrow \max; \\ F_{сц} \rightarrow \max; P_{oc} \rightarrow \min.) \end{aligned} \quad (10).$$

Графическое решение уравнения (7)

позволяет подчеркнуть необходимость образования уступа в стенке скважины, как неперемногого условия приведения действующих сил к равновесию и соответственно успешного забуривания нового направления ствола. Как следует из схемы на рис. 9 равновесие сил наступает только при

внедрении бурового инструмента на некоторый интервал в стенку скважины (точка А). Этот интервал может составлять 0,2–0,25 диаметра торца бурового инструмента. Действие отклоняющей силы со стороны стенки скважины прекращается при забурировании в стенку скважины на расстояние равное $(D/2 - X_c)$, где D – диаметр породоразрушающего инструмента, X_c – расстояние от центральной оси торца породоразрушающего инструмента до точки приложения реакции забоя P_c .

Как следует из рассмотренной теории, условия забурирования нового направления из открытого ствола крайне сложны. На первом этапе забурирования породоразрушающий инструмент и отклонитель воспринимает отклоняющее усилие со стороны стенки скважины ($P_{гп}$), величина которого в несколько раз превышает значение осевого усилия ($P_{ос}$). Данное отклоняющее усилие со стороны стенки скважины представляется важным фактором, усложняющим процесс забурирования и наработку уступа. Однако, по мере наработки уступа, $P_{гп}$ быстро снижается, а при ширине уступа равной 0,2 - 0,25 диаметра долота становится настолько мала, что не оказывает большого влияния на процесс забурирования бокового ствола скважины.

В соответствии с выявленными условиями успешного формирования уступа наиболее эффективным, для решения задачи забурирования дополнительного ствола с искусственного забоя, будут технологии забурирования реализующие набор кривизны фрезерованием и асимметричным разрушением забоя при совпадении процессов по направлению, т. е. при наличии положительного угла встречи инструмента со стенкой скважины.

Формирование уступа фрезерованием стенки скважины под действием отклоняющего усилия будет наиболее эффективным, так как в направлении забурирования будет действовать активная сила, что сокращает сроки и повышает надежность забурирования уступа в твердых породах. При этом можно отметить, что темп формирования уступа и искривления при забурировании дополнительного ствола пропорционально возрастает при повышении скорости

фрезерования стенки скважины, уменьшении скорости углубления забоя и длины жесткой базы отклонителя.

Поэтому при оснащении отклонителя фрезерующего типа долотом с активным боковым вооружением и при регулировании механической скорости в пределах, не превышающих 0,5–1,0 м/ч можно добиться гарантированного забуривания уступа и нового направления ствола скважины с любых малопрочных забоев в твердых породах.

Проблема здесь заключается в том, насколько и каким образом можно ограничить и регулировать скорость бурения легко разрушаемого материала искусственного забоя при забуривании уступа и формировании кривизны.

Забуривание уступа отклонителями на базе забойных двигателей рекомендуется производить фрезерованием под действием отклоняющего усилия за счет упругих сил деформирования отклонителя и труб над ним, а затем уже, имея надежный уступ в стенке скважины, асимметричным разрушением

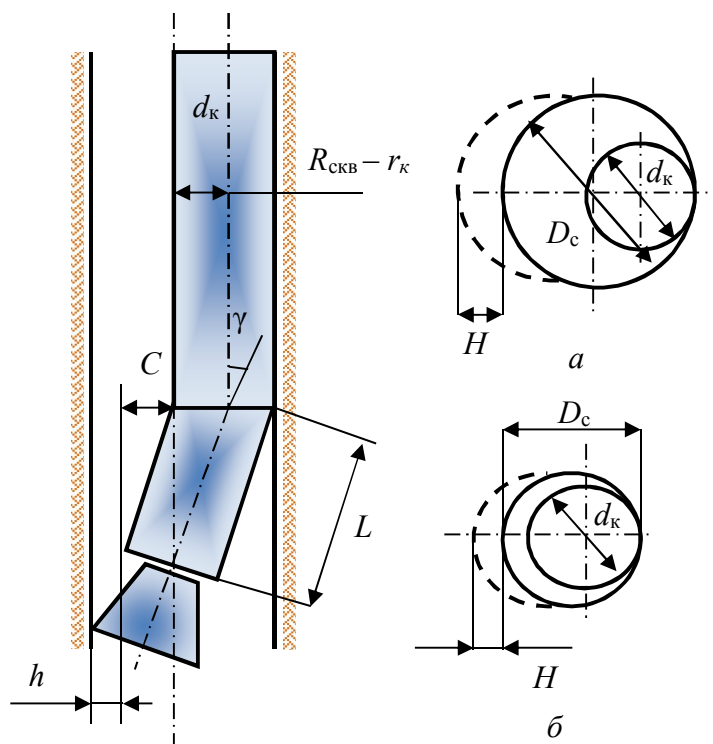


Рис. 10. Схема работы отклонителя на базе забойного двигателя с искривленным корпусом в скважине

забоя, с опиранием породоразрушающего инструмента отклонителя на уступ. Это связано, прежде всего, с тем, что в скважине отклонитель на базе забойного двигателя с искривлённым корпусом или с эксцентричной накладкой на корпусе изгибаясь, создает отклоняющее усилие, которое по мере забуривания уступа уменьшается.

При этом важно понимать следующие обстоятельства:

- в скважине с разработанностью ствола по диаметру величина отклоняющей силы будет снижаться и при определенном диаметре ствола будет отсутствовать;

- по мере образования уступа, процесс расширения ствола скважины также приведет к снижению отклоняющей силы, вплоть до её падения до нуля.

Рассмотрим схему на рис. 10, на которой представлены два варианта забуривания (рис. 10, а и б). Первый соответствует случаю, когда разработанность ствола очень значительная, второй случай соответствует условию, когда ствол имеет номинальный диаметр, равный диаметру долота компоновки с отклонителем.

Определим размеры. В соответствии с рис. 10.

Диаметр скважины связан с другими размерами соотношением:

$$D_c = C + h + d_k = L \sin \gamma + 0,5(D_{\text{при}} - d_k) + d_k.$$

Таблица 8

Расчетные данные				
L, м	$\gamma = 1$ град		$\gamma = 2$ град	
	D_c , мм	H, мм	D_c , мм	H, мм
1	198,5	4	207	8,25
2	207	8,25	242	25,75
3	224	17	277	43
4	242	26,75	312	60,5
5	268	38,75	347	78,25
6	276	43	381	90,5

В таблице 8 приведены данные расчета для долота диаметром 190,5 мм и забойным двигателем с диаметром корпуса равным 172 мм.

Из табличных данных следует, что буровая компоновка с забойным двигателем и кривым переводником вписываются в ствол скважины без деформации и без создания отклоняющего усилия при определенном диаметре ствола скважины. При этом диаметр скважины, при котором отсутствует отклоняющая сила на долоте, увеличивается по мере увеличения расстояния L и угла перекоса γ .

В соответствии с работой [46] повышение диаметра ствола скважины в 1,4–1,5 раза приводит к снижению отклоняющей силы на долоте компоновки забойным двигателем с кривым переводником в 2 и более раз.

При формировании уступа H возвратно-поступательным способом образуется боковая выработка в стволе скважины в направлении перекоса долота, что снижает прогиб буровой компоновки с кривым переводником, снижается по мере уменьшения изгиба компоновки и отклоняющая сила на долоте и соответственно способность к фрезерованию стенки скважины. В результате темп формирования уступа снижается и прекращается при определенном размере уступа.

Учитывая, что ширина уступа H , которая обеспечивает забуривание нового направления ствола скважины из ствола диаметром 190,5 мм, составляет 0,25–0,5 диаметра долота, т. е. 47–95 мм, условиям формирования уступа могут соответствовать компоновки (табл. 8) с углом перекоса $\gamma=2^\circ$ при длине $L = 4, 5$ и 6 м.

В остальных случаях формирование уступа будет неэффективно, так как отклоняющая сила будет снижаться по мере формирования уступа и исчезнет при определенной ширине уступа. При этом полученная ширина уступа будет недостаточной для эффективного забуривания нового направления ствола скважины.

Таким образом, технология забуривания нового направления ствола скважины с образованием уступа возвратно-поступательным перемещением компоновки в скважине часто оказывается совершенно не эффективной.

Основной проблемой при формировании уступа отклонителем на базе забойного двигателя являются провороты и смещения плоскости подработки забоя, особенно при вращающемся долоте, что значительно увеличивает объем фрезеруемой породы и как следствие - сроки забуривания, требует дополнительного ориентирования отклонителя, а также негативно отражается на точности ориентирования и вызывает дополнительный износ долота [27].

Следовательно, для повышения эффективности при осуществлении забуривания нового направления из открытого ствола скважины с искусственного забоя, необходимо минимизировать смещение плоскости наработки уступа. Добиться этого можно путем сохранения режимов забуривания (равномерная подача инструмента, нагрузка, расход промывочной жидкости, давление в нагнетательной линии и т.д.) на протяжении всей операции зарезания нового направления, а также исключения дополнительных подрывов компоновки и проведения спускоподъемных операций при производстве полного цикла работ по забуриванию нового направления.

2.2. Исследование фрезерующей способности отклоняющей системы.

Как было показано в главе 1.2. основным показателем для долот, применяемых для забуривания боковых стволов, является боковая фрезерующая способность долота, с применяемым $K_{фд}$, в качестве параметра ее оценки.

В таблице 9 приведены ориентировочные сведения о значениях коэффициента фрезерующей способности долот [71].

Таблица 9

Значения коэффициентов боковой фрезерующей способности шарошечных долот

Диаметр долота, мм	139,7	190,5	215,9	244,5	269,9	295,3	349,2	393,7
Тип долота: трехшарошечное; одношарошечное	0,19 0,251	0,22 0,295	0,236	0,262	0,265	0,284	0,316	0,337

Однако, данный коэффициент боковой фрезерующей способности применим непосредственно к долоту и не охватывает в целом применяемую компоновку низа бурильной колонны при производстве работ по направленному бурению.

Современные применяемые компоновки для проведения работ по управлению траекторией скважины, по реализуемым ими процессам набора кривизны во время осуществления направленного бурения, разделены на следующие [70]:

- Реализующие асимметричное разрушение забоя, вследствие перекоса породоразрушающего инструмента (отклонители на базе турбобуров (винтовых забойных двигателей – ВЗД) с кривым переводником при условии шарнирного соединения расположенного выше кривого переводника, Rotary steerable system (RSS) – роторные управляемые системы (РУС) с изменением направления перекоса долота (point-the-bit)). При работе таких

отклонителей набор кривизны осуществляется за счет перекоса породоразрушающего инструмента на забое.

Интенсивность искривления для них определяется зависимостью

$$i_a = \frac{57,3(D_c - d_k)}{l^2}, \quad (11)$$

где D_c , d_k – диаметры скважины и корпуса отклонителя в месте контакта со стенкой скважины при перекосе, м; l – расстояние от забоя до точки контакта корпуса отклонителя со стенкой скважины при перекосе нижней части отклонителя, м.

- Реализующие фрезерование стенки скважины породоразрушающим инструментом под действием отклоняющего усилия (Rotary steerable system (RSS) – роторные управляемые системы (РУС) с отклонением долота (push-the-bit)).

Интенсивность искривления, реализуемая отклоняющими системами фрезерующего типа, определяется следующей зависимостью:

$$i_\phi = \frac{57,3v_\phi}{v_b L_{\text{ж}}}, \quad (12)$$

где v_ϕ – скорость фрезерования стенки скважины под действием отклоняющего усилия, м/ч; v_b – скорость углубления забоя, м/ч; $L_{\text{ж}}$ – длина жесткой базы отклонителя, м.

- Реализующие совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя. Причем совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя может происходить за счет совпадающих по направлению процессов фрезерования стенки скважины и асимметричного разрушения забоя и за счет не совпадающих по направлению данных процессов.

Для отклонителей, реализующих совместное фрезерование и асимметричное разрушение забоя при несовпадающих по направлению действия процессов, интенсивность искривления, в соответствии с формулами (11), (12) может определяться по зависимости:

$$i_{\phi-a} = 57,3 \left(\frac{v_{\phi}}{v_{\phi} L_{\text{ж}}} - \frac{D_c - d_k}{l^2} \right), \quad (13)$$

Для отклоняющих систем, реализующих совместное фрезерование и асимметричное разрушение забоя при совпадающих по направлению действия процессов, соответственно, интенсивность искривления может определяться по формуле:

$$i_{\phi+a} = 57,3 \left(\frac{v_{\phi}}{v_{\phi} L_{\text{ж}}} + \frac{D_c - d_k}{l^2} \right), \quad (14)$$

Как следует из формул (13) и (14), для наиболее успешной реализации изменения траектории в планируемом направлении, необходимо, что бы процессы фрезерования и асимметричного разрушения забоя совпадали по направлению.

В соответствии с исследованиями, проведенными [46, 69], для любой отклоняющей системы, реализующей совместное фрезерование и асимметричное разрушение забоя, искривление ствола под действием фрезерования проявляется в 4,84 раза более активно в сравнении с неравномерным разрушением забоя скважины.

При забурировании нового направления с искусственного забоя представляется важным обеспечение максимального коэффициента боковой фрезерующей способности отклоняющей системы определяемой суммой тангенсов, угла,

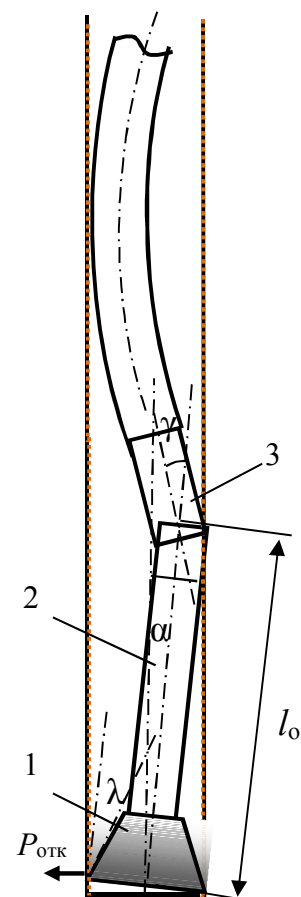


Рис 11. Схема, поясняющая определение $K_{\text{фс}}$ для системы, реализующей совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя в одном направлении: 1 – долото; 2 – забойный двигатель; 3 – кривой переводник.

определяющего коэффициент фрезерования самого долота и угла, учитывающего асимметричное расположение долота на забое (угол между центральной осью долота и центральной осью скважины).

Для проведения анализа влияния боковой фрезерующей способности отклоняющей системы при проведении работ по забурированию бокового ствола скважины с искусственного забоя рассмотрим следующие примеры:

1. Отклоняющие системы, реализующие совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя в одном направлении, основанные на применении КНБК с забойным двигателем и установленным кривым переводником с постоянным углом перекоса γ (рис. 11).

Коэффициент фрезерующей способности данной отклоняющей системы, исходя из формулы (1) и учитывая, что искривление ствола скважины будет вестись под действием как фрезерования стенки скважины так и за счет асимметричного разрушения забоя, учитывая увеличение угла λ (угол определяющий коэффициент фрезерования) на величину угла α , который характеризует угол между центральной осью скважины и центральной осью долота, можно будет определить по следующей формуле:

$$K_{\text{фс}} = \operatorname{tg}(\lambda + \alpha), \quad (15)$$

угол α , ввиду малых его значений, можно определить исходя из размеров применяемого отклонителя и долота, в радианах, по следующей формуле:

$$\alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{D_{\text{д}} - d_0}{l_0}, \quad (16)$$

где $D_{\text{д}}$ – диаметр долота, м; d_0 – диаметр отклонителя, м; l_0 – расстояние от забоя до точки контакта отклонителя со стенкой скважины (место установки кривого переводника), м.

2. Отклоняющие системы, реализующие фрезерование стенки скважины за счет отклоняющей силы при отсутствии асимметричного разрушения забоя.

В данном случае, коэффициент фрезерующей способности компоновки, будет определяться геометрическими особенностями непосредственно самого породоразрушающего инструмента, так как отклонение ствола скважины будет производится под действием отклоняющей силы. Коэффициент фрезерующей способности компоновки будет равен коэффициенту фрезерующей способности долота:

$$K_{\text{фс}} = K_{\text{фд}};$$

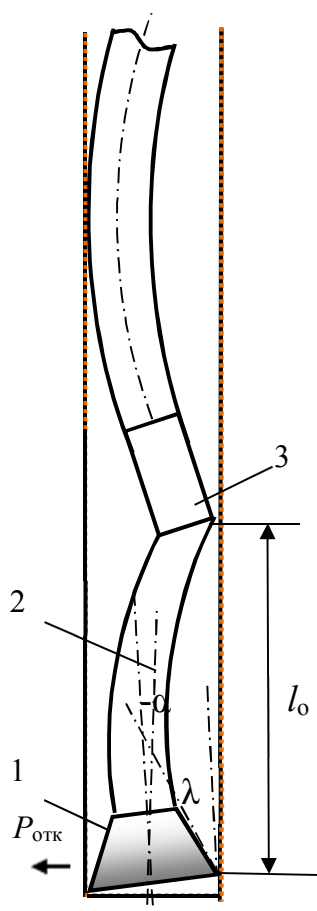


Рис 12. Схема, поясняющая определение $K_{\text{фс}}$ для системы, реализующей совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя в противоположных направлениях: 1 – долото; 2 – забойный двигатель; 3 – кривой переводник.

3. Отклоняющие системы реализующие совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя при несовпадающих по направлению действия процессов за счет действия отклоняющей силы возникшей в результате прогиба вала-ротора забойного двигателя, что приводит к перекосу долота на забое в сторону, противоположную направлению фрезерования стенки скважин (рис. 12).

Коэффициент фрезерующей способности долота для данной компоновки, в связи с тем, что угол λ и α будут направлены в противоположные стороны, будет определяться как тангенс разности углов λ и α , и составит:

$$K_{\text{фс}} = \text{tg}(\lambda - \alpha); \quad (17)$$

Таким образом, при применении такой КНБК, коэффициент фрезерования отклоняющей системы уменьшится на величину тангенса угла α .

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что коэффициент фрезерующей способности отклоняющей системы будет максимальным при использовании отклоняющей системы, реализующей совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя за счет совпадающих по направлению действия данных процессов. Соблюдение данных условий особенно важно при проведении работ по зарезанию новых стволов в горных породах высокой твердости с искусственных забоев, так как данные работы производятся в экстремальных условиях (горные породы, слагающие стенки скважины, значительно прочнее материала искусственного забоя, угол встречи породоразрушающего инструмента и контакта горных пород различной твердости очень мал, а поперечные реакции на буровой инструмент очень значительны).

Отклоняющая сила $P_{отк}$, за счет деформации бурильных труб, расположенных над узлом искривления, может быть определена по формуле [46, 70]:

$$P_{отк} = \frac{2EJ_T}{3al} \sin^2(\Delta_n - \gamma_T), \quad (18)$$

где EJ_T - жесткость бурильных труб, размещенных над кривым переводником, даН·м²;

a – смещение бурильных труб при их деформации в стволе скважины, м;

Δ_n и γ_T – углы перекоса соответственно осей резьбовых соединений кривого переводника и забойного двигателя в скважине, град;

l – длина забойного двигателя с долотом, м.

$$a = D_d - \frac{d_T + d_б}{2}, \quad (19)$$

где D_d , d_T , $d_б$ – диаметры соответственно долота, турбобура и бурильных труб, м;

Угол γ определяется размерами турбобура:

$$\gamma = \frac{D_d - d_r}{l_r}, \quad (20)$$

Как следует из формулы (18), для увеличения отклоняющей силы следует увеличивать жесткость бурильных труб, устанавливаемых над кривым переходником и винтовым забойным двигателем, использовать кривые переводники с большими углами перекоса осей резьбовых соединений. Определенное влияние на величину отклоняющей силы оказывает длина и диаметр забойного двигателя.

Для повышения отклоняющей силы или её определенного регулирования, в практике буровых работ над турбобуром с кривым переводником обычно устанавливают утяжеленные бурильные трубы (УБТ).

Под действием $P_{отк}$ происходит фрезерование стенки скважины, а долото, находящееся в состоянии перекоса, обеспечивает набор кривизны за счет асимметричного разрушения забоя. Для повышения надежности забуривания нового ствола скважины не малое значение будет иметь также и создаваемая под действием нагрузки на инструмент полуволна бурильных труб, установленных над забойным двигателем. При достаточно малой нагрузке на долото, в прямолинейной скважине, колонна остаётся также прямолинейной. По мере увеличения осевой нагрузки бурильная колонна изгибается и соприкасается со стенкой скважины – это явление называется продольным изгибом первого порядка, при дальнейшем увеличении осевой нагрузки бурильная колонна изгибается повторно – это изгиб второго порядка и т.д. [64]. Таким образом, при изменении осевой нагрузки длина полуволны бурильного инструмента будет изменяться, тем самым возможна дезориентация отклоняющей системы, реализующей совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя от совпадающих по направлению действий данных процессов до несовпадающих, в результате прогиба вала-ротора забойного двигателя под действием высокой осевой нагрузки.

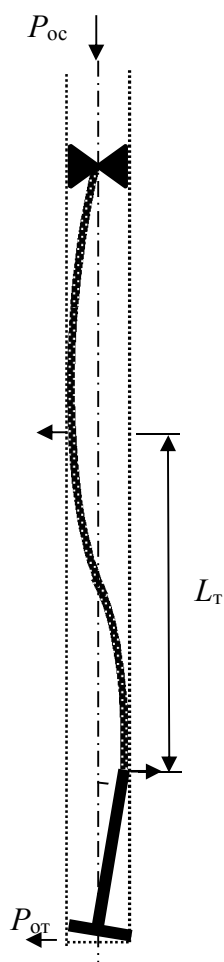


Рис. 13. Схема, показывающая деформацию инструмента и расположение ОЦЭ.

Для минимизации влияния изменения полуволны бурового инструмента на пространственное положение породоразрушающего инструмента, необходимо учитывать текущий зенитный угол скважины и применяемую КНБК, определить, в некоторых пределах, значения осевой нагрузки при бурении наклонного ствола скважины, и исходя из данных показателей подобрать оптимальное расположение опорно-центрирующих элементов в КНБК. Опорно-центрирующие элементы расположить таким образом, чтобы между местом контакта отклонителя со стенкой скважины (в месте установленного узла искривления) и установленной опорой создавалась полуволна бурового инструмента с касанием противоположенной стенки скважины, что позволит создать оптимальное соотношение осевой нагрузки и отклоняющей силы, под воздействием которой производится фрезерование боковой стенки скважины в требуемом направлении (рис. 13).

Для определения места расположения промежуточного опорно-центрирующего элемента и расчета длины полуволны буровой колонны используем методику Г. Вудса и А. Лубинского [24] с использованием номограммы Б.З. Султанова (представленной в [46]), учитывающих в расчете такой показатель как зенитный угол. Длина нижней полуволны L_T , по предложенной методике будет зависеть от осевой нагрузки и зенитного угла скважины θ :

$$\frac{\theta \times m}{r}, \quad (21)$$

Где θ – зенитный угол, рад; m – длина безразмерной единицы веса в метрах; r – кажущийся радиус ствола скважины, м.

Для нашего случая, учитывая, что мы производим расчет образовавшейся полуволны утяжеленных бурильных труб от места контакта отклонителя со стенкой скважины, а не от долота, выражение для определения нижней полуволны примет вид:

$$\frac{\theta \times m}{2r}; \quad (22)$$

Под кажущимся радиусом ствола подразумевается стрела прогиба колонны в скважине определенного диаметра. Величина кажущегося радиуса скважины r , определяется из выражения:

$$r = \frac{D_c - d_{бк.}}{2}; \quad (23)$$

Где D_c и $d_{бк.}$ – соответственно диаметры скважины и бурильной колонны.

Длина одной безразмерной единицы (б.е.) веса в метрах, определяется следующим выражением:

$$m = 10^{-2} \sqrt[3]{\frac{E \times I}{10^{-2} \times P_{бкпж}}} \quad (24)$$

Где E – модуль Юнга для стали, даН/см²; I – момент инерции поперечного сечения бурильной трубы, см⁴; $P_{бкпж}$ – вес 1 метра бурильной трубы в промывочной жидкости, даН/м.

Вес 1 метра бурильной трубы в промывочной жидкости определяется следующим образом:

$$P_{бкпж} = P_{бк} \times \frac{\gamma_{мет} - \gamma_{бр.}}{\gamma_{мет}}; \quad (25)$$

Где $P_{бк}$ – вес 1 метра бурильной трубы, м; $\gamma_{мет}$ и $\gamma_{бр.}$ – соответственно удельный вес металла бурильной трубы и промывочной жидкости, г/см³;

После определения длины полуволны и места касания колонны утяжеленных бурильных труб с противоположенной стенкой скважины, опорно-центрирующий элемент предлагается разместить на двукратном расстоянии длины полуволны от места соприкосновения отклонителя со стенкой скважины,

что позволит создать оптимальное соотношение осевой нагрузки и отклоняющей силы.

Рассмотрим пример применения данных расчетов на практике. Необходимо рассчитать длину полуволны, для установки опорно-центрирующего элемента для следующей КНБК: долото 215,9 мм (высота долота 0,3 м), забойный двигатель ДГР-172 длиной 8,6 м с регулируемым узлом искривления ($\gamma = 1,5^\circ$) на расстоянии 1,9 м от присоединительной резьбы к долоту, УБТС-165х57 [96] – 200 метров, при создаваемой нагрузке при углублении наклонного ствола скважины 100 – 200 кН. Плотность минерализованного полимерглинистого раствора составляет 1,25 г/см³. Зенитный угол ствола скважины составляет 30° (0,5236 рад).

Вес 1 метра УБТС-165х57 в воздухе составляет 144 даН.

Вес 1 метра УБТС-165 в буровом растворе плотностью 1,25 г/см³ составит:

$$P_{\text{бкпж}} = 144 \times \frac{7,85-1,25}{7,85} = 122 \text{ даН};$$

Длина безразмерной единицы веса УБТС-165 в буровом растворе составит:

$$m = 10^{-2} \sqrt[3]{\frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot (16,5^4 - 5,7^4)}{10^{-2} \times 122 \cdot 64}} = 18,34 \text{ м};$$

Вес одной безразмерной единицы составит: $18,34 \times 122 = 2237,5 \text{ даН} = 22,38 \text{ кН}$.

Для заданных осевых нагрузок количество безразмерных единиц составит: $100:22,38 = 4,5 = 5 \text{ б.е.}$; $200:22,38 = 8,9 = 9 \text{ б.е.}$

Кажущийся радиус скважины будет равен:

$$r = \frac{0,216-0,165}{2} = 0,0255 \text{ м};$$

Для определения длины полуволны, в данных условиях, выражение примет вид:

$$\frac{\theta \times m}{2r} = \frac{0,5236 \cdot 18,34}{2 \cdot 0,0255} = 189;$$

Таким образом, для наших условий, согласно номограмме по Б.З. Султанову, длина полуволны составит:

для нагрузки 100 кН – 0,58 б.е. – 10,6 м;

для нагрузки 200 кН – 0,55 б.е. – 10,1 м;

Для создания наиболее благоприятных условий при бурении наклонного ствола данной скважины опорно-центрирующий элемент необходимо будет разместить на расстоянии равном двукратной длине полуволны, т.е. $20,2 \div 21,2$ м от узла искривления (кривой переводник).

2.3. Исследование и анализ искусственных забоев, применяемых для осуществления забуривания новых направлений.

Одной из проблем забуривания дополнительных стволов скважин из необсаженных открытых стволов является создание искусственных забоев высокой твердости, которая должна быть выше или близка к твердости горных пород, слагающих стенку скважины в интервале забуривания. К материалам, используемым для создания искусственного забоя можно сформулировать следующие требования [41, 70]:

- сформированный искусственный забой должен обладать высокой адгезией с горной породой, для исключения смещения искусственного забоя в процессе забуривания;
- материал искусственного забоя должен противостоять ударным и вибрационным нагрузкам;
- материал искусственного забоя должен обладать возможностью доставки, размещения и закрепления его в стволе скважины;
- сроки схватывания твердеющих смесей, должны обеспечивать набор необходимой твердости за минимальный промежуток времени;
- скорость разбуривания искусственного забоя должна быть ниже скорости бурения достигнутой при углублении в интервале забуривания нового ствола.

При забуривании дополнительного ствола в твердых и крепких породах данное требование довольно сложно выполнить, так как применяемые материалы для создания искусственных забоев не превышают, в лучшем случае VII-VIII категории по буримости [91], при применении в качестве материала искусственного забоя эпоксидных композиций, технология установки которых достаточно сложна, трудоемка, требует значительных затрат времени на установку и отверждение смеси и высокой квалификации исполнителей. Кроме этого, при забуривании нового направления ствола скважины задача

усложняется вследствие чрезмерного увеличения действия отклоняющих сил со стороны стенки скважины, из которой забуривается ствол, и забоя нового ствола.

В настоящее время для создания искусственных забоев, необходимых для забуривания новых стволов в глубоких скважинах, в основном, используются цементные, цементно-песчаные, шлакопесчаные смеси на основе портландцемента и шлакового цемента [10]. Проводятся исследования и усовершенствование цементных смесей, направленные на повышение прочностных и адгезионных характеристик образуемого цементного камня. Коллективом авторов (Кузнецова О.Г., Фефелов Ю.В., Чугаева О.А. и др.) предложен тампонажный состав для установки зарезных опорных мостов [84]. Данный тампонажный состав отличается повышенной прочностью образующегося цементного камня при одновременном обеспечении прокачиваемости и достижении оптимальных сроков твердения при низком водоцементном соотношении. Пределы прочности данного цементного камня на изгиб/сжатие через 24 часа ожидания затвердевания цемента (ОЗЦ) составили: Предел прочности на изгиб – 4,3 – 7,6 МПа, Предел прочности на сжатие – 9,5-29 МПа. Тампонажный состав был разработан для установки цементных мостов в интервалах, сложенных известняками окского и верейского горизонтов, предел прочности при сжатии, полученный при испытании образцов керна которых, составил 18,9 МПа и 20,7 МПа, соответственно. Таким образом данный тампонажный состав также не решает проблемы забуривания в горных породах высокой категории твердости.

При осуществлении забуривания нового ствола скважины между собой взаимодействуют три компонента, это разбуриваемый искусственный забой, фрезеруемая горная порода, которой сложены стенки скважины (создание нового направления), и непосредственно породоразрушающий инструмент, применяемый для зарезания нового ствола скважины. Задача успешного забуривания зависит не только от применяемой компоновки, но и от физико-механических свойств горных пород и материала искусственного забоя. Таким

образом, одной из задач создания благоприятных условий для забуривания нового ствола, можно считать повышение механической скорости фрезерования и углубления в горную породу (взаимодействие породоразрушающего инструмента и горной породы, слагающей стенки скважины), и одновременное снижение механической скорости разрушения и углубления по материалу искусственного забоя (взаимодействие породоразрушающего инструмента и материала искусственного забоя) [69, 78]. Этого можно достичь путем подбора этих трех компонентов таким образом, чтобы выполнялось данное условие. При осуществлении забуривания в горных породах, прочность которых меньше прочности цементного камня, данная задача решается путем установки цементного моста. Как показывает практика, в таких условиях успешность забуривания нового направления довольно высока. При забуривании с установленного цементного моста в интервале, сложенном крепкими и твердыми горными породами, напротив, успешность забуривания дополнительного ствола с установленного цементного моста снижается.

Для повышения прочностных характеристик создаваемого искусственного забоя скважины известны следующие методы, некоторые из которых мы уже рассматривали в первой главе, как методы забуривания новых направлений в открытом стволе скважины.

Использование кернавого материала при создании искусственного забоя путем его размещения в вяжущем материале до отверждения последнего [69, 94]. Куски керна, после выдавливания из контейнера занимают в скважине соосное положение и практически перекрывают сечение ствола. В этом случае удастся получить практически по всей площади сечения ствола забой высокой прочности. Данное решение может быть применено при равенстве (либо при превышении) прочностных характеристик используемого керна и горных пород, слагающих стенки скважины в интервале забуривания.

Максимальной прочности при создании искусственных забоев, согласно работам [69, 91, 2, 15, 90, 94], можно достичь при применении эпоксидных

композиций из смол ЭИС-1А, ЭД-16, 20 с различными отвердителями для водной среды – ГМД (гексамителендиамин), УП-583, ПП (полителенполиамин), УП-0633. Наряду с пластификаторами в состав композиций вводится инертный наполнитель – песок или цемент. Использование таких наполнителей повышает прочность композиции.

Создание искусственного забоя на поверхности [4] с увеличивающейся по глубине прочностью его материала (в начале забоя – цемент, в конце забоя – синтетические смолы). В качестве материалов для изготовления используются цемент и синтетические смолы, кроме того искусственный забой дополнительно армируется (например, сплав Д16Т). После формирования искусственного забоя осуществляется его установка в интервале забуривания нового направления путем спуска искусственного забоя оборудованного распорным узлом, на бурильных трубах, связанных с искусственным забоем резьбой левого направления. Затем в скважину спускают необходимую компоновку и производят забуривание бокового ствола скважины. Контроль забуривания дополнительного ствола скважины в данном способе, предусмотрено вести с помощью индикаторов различного цвета, заранее помещенных в материал искусственного забоя. Основным недостатком способов изготовления искусственного забоя с применением эпоксидных смол является большая трудоемкость данного процесса, требующая высокого мастерства исполнителей, а также необходимость подготовки ствола скважины для его спуска и установки в интервал забуривания нового ствола, требующие значительных производительных затрат времени.

И.П. Мельничуком и др. предложен бесклиновый способ забуривания дополнительного ствола скважины [9], заключающийся в установке искусственного моста из вяжущих материалов (цементный раствор, синтетические или эпоксидные смолы) и интервале предполагаемого забуривания и в установке обратного клина (наклонная плоскость клина обращена к забою) непосредственно в вяжущий материал до момента его

отверждения. Материал клина изготавливается из легко разбуриваемого материала. Забуривание производят после отверждения вяжущего материала. Отклонение происходит за счет разрушения легко разбуриваемого материала клина обычным буровым снарядом, а направление искривления задается наклонной поверхностью искусственного забоя из отверждённого вяжущего материала, имеющего большую прочность чем материал клина.

При прочностных характеристиках материала искусственной пробки меньших, чем у горной породы, данная технология также не гарантирует успешности забуривания нового ствола. Данный технологический способ забуривания нового направления можно доработать. При применении в качестве погружаемого в вяжущий материал обратного клина, например, ствола листовенного дерева длиной до 5 метров и диаметром на 5-10 мм меньшим, чем номинальный диаметр ствола скважины и использования в качестве породоразрушающего инструмента трехшарошечного долота для крепких пород типа ТЗ и ОК с агрессивным фрезерующим вооружением.

Учитывая сложность создания искусственного забоя высокой категории прочности, а также высокую важность процесса формирования уступа при осуществлении забуривания нового направления в твердых и крепких горных породах, и то, что формирование уступа на необходимую ширину во многом определяет результативность забуривания нового ствола скважины, предлагается применение такого искусственного забоя, материал которого по своим физико-механическим свойствам будет кардинально отличаться от свойств твердых упруго-хрупких горных пород. В этом случае при использовании буровых долот, предназначенных для бурения твердых и очень твердых горных пород — шарошечных и алмазных долот, удастся ограничить механическую скорость бурения и таким образом интенсифицировать интенсивность формирования кривизны [77]. В качестве подобного материала можно рассмотреть древесину. Выбор древесины, как материала искусственного забоя продиктован его невысокой стоимостью, экологичностью, легкостью в обработке и что крайне важно, набухаемостью в водной среде. Способность к

набуханию сухой древесины может в достаточно сжатые сроки обеспечить увеличение объема древесного образца до 20%.

При этом крайне важно то, что древесина имеет высокую степень сопротивляемости при разбуливании вдоль волокон именно шарошечными и алмазными долотами при невысокой, относительно горных пород, твердости материала. В качестве такого инструмента могут выступать алмазные и шарошечные долота типа К и ОК, т. к. при бурении алмазным инструментом разрушение горной породы осуществляется в основном раздавливанием и скалыванием, а при бурении шарошечным инструментом типа К и ОК — дроблением и скалыванием. При воздействии этих видов породоразрушающего действия на волокнистый и пластичный материал, такой как древесина, ориентированная волокнами вдоль оси скважины, скорость разрушения будет незначительна, т.е. эффект оптимального соотношения скорости фрезерования стенки скважины и скорости углубления достигается за счет кардинального несоответствия породоразрушающего действия со стороны вооружения долота и физико-механических свойств древесины. Также при анализе учитывается и такой известный факт, что деревянная пробка, при необходимости может разбуливаться твердосплавными коронками или долотами с резцовым вооружением, что в случае необходимости позволит удалить искусственный забой достаточно оперативно.

Для получения достоверных данных о скорости бурения при разбуливании деревянной пробки различными долотами был осуществлен следующий эксперимент [79]. Опытное бурение осуществлялось на буровом стенде, который оборудован буровым станком СКБ-4 и буровым насосом НБ-3 с возможностью подачи очистного агента от 15 до 120 л/мин. Силовой агрегат станка имеет мощность 22 кВт, скорость вращения породоразрушающего инструмента 155-1600 об/мин. Буровой станок установлен на эстакаде высотой около 2 м. Под станком оборудован приямок для размещения деревянной заготовки длиной 0,7 метра, диаметром 250 мм и средств закрепления деревянной пробки.

Бурение деревянной пробки было осуществлено с применением в качестве промывочной жидкости воды. Режимы для бурения во всех опытах были одинаковые: осевая нагрузка $P_{oc} = 1000$ даН, частота вращения $\omega = 280$ мин⁻¹, расход промывочной жидкости $Q = 120$ л/мин. В процессе бурения фиксировалось время бурения интервала с помощью секундомера и параллельно велась фиксация механической скорости проходки. В результате эксперимента были получены достоверные данные о механической скорости бурения различными долотами по деревянной пробке. Результаты проведенного опыта представлены в таблице 10.

Таблица 10.

Результаты замера механической скорости при бурении деревянной пробки

п/п	Применяемое долото	Осевая нагрузка, даН	Частота вращения, мин ⁻¹	Расход промывочной жидкости, л/мин	Механическая скорость, м/ч
1.	3-х шарошечное долото 59 мм с вооружением типа К	1000	280	120	1,1
2.	Алмазное долото 59 мм, АДН	1000	280	120	0,9

Механическая скорость, достигнутая при опытном бурении деревянной пробки, соответствует оптимальным значениям скорости бурения при осуществлении забуривания нового ствола [79]. Данный опыт показывает, что при использовании деревянной пробки в качестве искусственного забоя и трехшарошечного долота с вооружением типа К или алмазного долота, в качестве резного инструмента, при забуривании нового направления, за счет несоответствия характера разрушения производимого данными долотами (дробяще-скалывающий тип разрушения для трехшарошечного долота и раздавливание, скалывание для алмазного) и материала искусственного забоя

(вертикальная волокнистость и пластичность ствола дерева не поддается скалыванию, дроблению и раздавливанию), получится добиться отклонения от деревянной пробки и зарезания в стенку скважины породоразрушающего инструмента.

В качестве такого заполнителя отверждаемой смеси искусственного забоя можно рассмотреть и другие материалы (резина, пластик, стеклопластик, алюминий и др.). Главной их характеристикой должно быть **несоответствие по характеру разрушения** применяемому породоразрушающему инструменту. Данное техническое решение позволит значительно повысить успешность проведения операции по забурированию нового ствола скважины с искусственного забоя в необсаженном стволе скважины.

Таким образом, для создания идеальных условий при забурировании нового направления необходимо стремиться к повышению механической скорости фрезерования горной породы ($V_{\text{фр}}$) и к снижению скорости бурения (V_6) по материалу искусственного забоя.

$$(V_6 \rightarrow \min; V_{\text{фр}} \rightarrow \max),$$

Данные условия можно создать путем более пристального рассмотрения применяемого материала для создания искусственного забоя и применяемого при забурировании породоразрушающего инструмента (зарезное долото). При создании условий, во время проведения забурирования нового направления, которые будут способствовать снижению механической скорости по разрушению материала искусственного забоя и ее повышению при фрезеровании горной породы слагающей стенки скважины, можно значительно повысить результативность проведения работ по зарезанию нового ствола скважины.

Имеющиеся технологии по созданию искусственных забоев, предназначенных для проведения работ по забурированию с них новых направлений из открытого ствола скважины, приведены в таблице 11:

Таблица 11.

Применяемые искусственные забой для осуществления забурирования нового направления из открытого ствола скважины

№ п/п	Наименование	Технология изготовления	Комментарии
1.	Цементный мост	Установка в заданном интервале цементного раствора на равновесии через подвеску труб, подъем труб и ожидание затвердевания цемента.	Для осуществления забурирования новых направлений в породах до V категории по буримости. Существуют специальные тампонажные составы для осуществления забурирования в горных породах до VII категории.
2.	Искусственный забой из композиции эпоксидных смол	Установка в стволе скважины пробки, приготовление на поверхности отверждаемого состава, доставка и размещение его до пробки в контейнере на трубах, затвердевание состава.	Для осуществления забурирования нового направления в горных породах до VIII категории по буримости. Трудоемкий процесс требующий высокой квалификации исполнителей.
3.	Искусственный забой с увеличивающейся прочностью от его начала до окончания	Изготавливается на поверхности путем заливки сначала более прочных компонентов затем менее прочных. Доставляется в скважину на бурильных трубах с распорным устройством для закрепления в требуемом интервале.	Предназначен для осуществления забурирования в горных породах от IV до VIII категории по буримости. Трудоемкий процесс при его создании. Устанавливается в неразработанном интервале ствола скважины для более надежного закрепления.
4.	Искусственный забой состоящий из горной породы	Установка в стволе скважины пробки, приготовление на поверхности контейнера с кернавым материалом, доставка и размещение его до пробки в контейнере на трубах.	Подходит для осуществления забурирования при прочностных характеристиках кернавого материала превосходящих прочностные характеристики слагающих горных пород в интервале зарезания.
5.	Искусственный забой, учитывающий несоответствие характера разрушения материала	Изготавливается на поверхности из такого материала, который будет не соответствовать характеру воздействия	При подборе материала искусственного забоя и зарезного инструмента, можно обеспечить забурирование нового ствола

	искусственного забоя и применяемого породоразрушающего инструмента для забуривания.	породоразрушающего инструмента при осуществлении забуривания. В скважине устанавливается пробка, выше устанавливается отверждаемая смесь. Искусственный забой доставляется в скважину на трубах и размещается в отверждаемой смеси до окончания сроков затвердевания.	в горных породах любой категории.
--	---	---	-----------------------------------

К искусственному забою, учитывающему несоответствие характера разрушения его материала и характер разрушения горных пород применяемого породоразрушающего инструмента, можно предъявить следующие дополнительные требования:

1. Материал искусственного забоя необходимо подобрать таким образом, чтобы выполнялось следующее требование: $V_{\text{фр}}/V_6 > 1$;

т.е. механическая скорость бурения материала искусственного забоя должна быть меньше механической скорости фрезерования стенки скважины.

2. Искусственный забой должен быть устойчиво закреплен в стволе скважины (предварительная установка пробки, цементного моста или установка искусственного забоя с распорным устройством в номинальном стволе скважины).

3. Материал искусственного забоя при взаимодействии с забурочным инструментом не должен способствовать разрушению либо нарушению целостности последнего.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

Обобщая выполненные исследования процесса забуривания уступа в стенке скважины, фрезерующей способности применяемых компоновок, а также проведенный анализ и исследования применяемых искусственных забоев для осуществления забуривания можно сформировать следующий выводы и заключения.

1. Основным комплексом условий для успешного формирования уступа в стенке скважины с искусственного забоя является выполнение следующих требований:

$+\gamma$ (угол встречи породоразрушающего инструмента со стенкой скважины) $\rightarrow \max$;

$P_{от}$ (отклоняющее усилие со стороны отклонителя) $\rightarrow \max$;

$F_{сц}$ (сила сцепления торца подоразрушающего инструмента с забоем скважины) $\rightarrow \max$;

$P_{ос}$ (осевое усилие) $\rightarrow \min$.

2. Формирование уступа фрезерованием стенки скважины под действием отклоняющего усилия будет наиболее эффективным. Таким образом, необходимо обеспечить наличие отклоняющей силы до формирования уступа равного, как минимум 0,25 диаметра долота.

В остальных случаях формирование уступа будет неэффективно, так как отклоняющая сила будет снижаться по мере формирования уступа и исчезнет при определенной ширине уступа. При этом полученная ширина уступа будет недостаточной для эффективного забуривания нового направления ствола скважины и может привести к повторению всей процедуры забуривания нового ствола скважины.

3. При использовании отклоняющей системы, реализующей совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя за счет совпадающих по направлению действия данных процессов коэффициент

фрезерующей способности отклоняющей системы будет максимальным. Соблюдение данных условий особенно важно при проведении работ по забуливанию новых стволов в горных породах высокой твердости с искусственных забоев.

4. При выборе отклоняющих компоновок, для получения максимального коэффициента фрезерования отклоняющей системы, необходимо минимизировать расстояние от долота до узла искривления, что позволит увеличить коэффициент фрезерования отклоняющей системы и так же минимизирует риск дезориентации направления забуливания, в следствии прогиба данного участка. Однако при расчете минимального расстояния от долота до узла искривления необходимо учитывать необходимость создания отклоняющей силы на весь период наработки уступа, при соблюдении вписываемости компоновки в ствол скважины.

5. Установка опорно-центрирующего элемента в КНБК, таким образом, чтобы место касания бурового инструмента со стенкой скважины находилось между местом касания искривляющего элемента (кривой переводник) со стенкой скважины и установленной опорой, позволит создавать нагрузку на КНБК без риска дезориентации породоразрушающего инструмента при искривлении скважины либо забуливании нового ствола. А также позволит использовать максимальное значение коэффициента фрезерующей способности всей КНБК и создать оптимальное соотношение осевой нагрузки и отклоняющей силы, под воздействием которой будет производится фрезерование боковой стенки скважины в требуемом направлении.

6. При осуществлении забуливания нового ствола скважины между собой взаимодействуют три компонента, это разбуливаемый искусственный забой, фрезеруемая горная порода, которой сложены стенки скважины (создание нового направления), и непосредственно породоразрушающий инструмент, применяемый для зарезания нового ствола скважины.

7. Для повышения результативности проведения работ по забуливанию новых стволов из не обсаженного ствола скважины с опорой на искусственный забой, можно сформулировать следующее научное положение: Искусственный забой применяемый для забуливания нового направления в породах высокой твердости и применяемый породоразрушающий инструмент для зарезания, должны быть подобраны таким образом, что бы **характер разрушения искусственного забоя кардинально не соответствовал реализуемому характеру разрушения породоразрушающим инструментом** и обеспечивал выполнение условия: $V_{\text{фр}}/V_{\text{б}} > 1$, при соблюдении условия отсутствия нарушения целостности породоразрушающего инструмента во время разрушения материала искусственного забоя.

Глава 3. РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПО ЗАБУРИВАНИЮ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ С ОПОРОЙ НА ИСКУССТВЕННЫЙ ЗАБОЙ.

3.1. Разработка и совершенствование породоразрушающего инструмента, применяемого при осуществлении работ по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины с искусственного забоя.

Особую роль в производстве работ по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины, сложенного крепкими и твердыми породами, прочность которых, как и категория буримости превышает данные параметры материала используемого искусственного забоя, принадлежит применяемому буровому (зарезному) инструменту.

Работоспособность, геометрические размеры и фрезерующая способность породоразрушающего инструмента в значительной степени определяют эффективность и технические возможности производства работ по забуриванию новых стволов скважины при забуривании дополнительного ствола скважины с искусственного забоя в твердых породах.

Долото, применяемое для забуривания дополнительных стволов скважины в твердых породах должно соответствовать следующим требованиям:

- высокая фрезерующая способность долота и стойкость фрезерующих элементов;
- торец долота должен иметь равномерное устойчивое опирание на забой для снижения вероятности соскальзывания с уступа и возвращения в основной ствол;
- угол бокового фрезерования должен быть максимальным;
- торец долота должен обладать острой режущей кромкой для интенсификации фрезерования и иметь плоскую или вогнутую форму.

Как было выявлено в первых двух главах, одним из основных и сложных этапов забуривания нового ствола скважины с искусственного забоя, является

образование уступа в стенке скважины. После образования уступа на определенную ширину процесс дальнейшего искривления практически мало чем отличается от обычного направленного бурения. Ширина образованного уступа для надежного формирования нового направления ствола скважины должна составлять как минимум 0,25 диаметра торца бурового инструмента.

При производстве работ по забуливанию новых направлений с опорой на искусственный забой в крепких и твердых породах, на наработку уступа приходится основная часть затрат производительного времени, в связи с необходимостью ограничения режимов бурения и многократной проработке интервала забуливания, но тем не менее данная технологическая операция не всегда приводит к наработке необходимого уступа.

Для создания условий, обеспечивающих равенство скорости разрушения материала искусственного забоя (V_6) и скорости фрезерования горных пород, слагающих стенки скважины ($V_{фр}$), нужно обеспечить такой подбор породоразрушающего инструмента, который позволит понизить V_6 и одновременно увеличит $V_{фр}$, во время производства работ по наработке уступа, а также позволит вести наработку уступа и последующее забуливание нового направления без ограничения нагрузки на породоразрушающий инструмент.

Для обеспечения создания таких условий известно шарошечное долото с покрытием породоразрушающих элементов на торцевой части шарошек пластичным легко изнашиваемым материалом [70].

Породоразрушающие вставки у данного долота на торце шарошек покрываются латунным или оловянным припоем и по высоте, и по площади торцевой части, что снижает эффект дробления и скалывания материала искусственного забоя и снижает скорость его разрушения. В то же время скорость фрезерования стенки скважины остается высокой, что интенсифицирует процесс забуливания нового направления ствола скважины с искусственного забоя. При этом предлагается площадь одномоментного опирания породоразрушающих элементов на забой торцевыми элементами

вооружения каждой из шарошек долота выполнять в соответствии со следующим выражением

$$S_6 = \frac{P_{oc}}{P_{от}KN} S_{\phi} , \quad (26)$$

где S_{ϕ} , S_6 – площади породоразрушающих элементов взаимодействующих с породой стенки скважины при фрезеровании и материалом забоя при углублении соответственно, m^2 ;

P_{oc} , $P_{от}$ – осевая нагрузка и отклоняющая сила, воздействующие на буровой инструмент при забурировании дополнительного ствола, даН;

N – количество шарошек у долота.

Из выражения (26) следует, что площадь покрытия на каждой шарошке будет равна:

$$S_{\pi} = S_{об} - S_6, \quad (27)$$

где S_{π} , $S_{об}$ – площади покрытия припоем и общая площадь вооружения шарошки долота, опирающихся одновременно на забой скважины.

Полученное значение площади покрытия S_{π} по формуле (27) равномерно распределяется по части поверхности каждой шарошки, опирающейся на забой.

Следует отметить, что точно отрегулировать скорости бурения V_6 и фрезерования $V_{фр}$, для успешного забурирования нового направления ствола скважины данным долотом не представляется возможным, так как реально, с учетом деформации горной породы и материала искусственного забоя, остаются неизвестными значения S_{ϕ} и S_6 . Более того, совершенно непонятно в данном случае влияние покрытия на механизм разрушения породы породоразрушающими элементами. Так, например, при запаивании определенных породоразрушающих элементов из активной работы могут исключаться и ближние к ним неприкрытые наплавкой элементы.

Поэтому данной техническое решение только частично можно признать эффективным, так как процесс забурирования при использовании прототипа слабо поддается управлению и не всегда может заканчиваться успешным и эффективным забуриванием.

Кроме этого при забуливании нового направления ствола скважины долото изначально разрушает мягкий искусственный забой и фрезерует более твердую горную породу. В этот момент необходимо ограничить скорость бурения, сохраняя скорость фрезерования на максимальном уровне. В последующем, после некоторого частичного забуливания в стенку скважины, необходимо производить разрушение торцевыми элементами долота твердую горную породу. В этом случае, если не произошло изнашивания покрытия торцевой части вооружения, бурение будет выполняться с очень низкой скоростью, что приведет к необходимости его остановки, так как параметры формируемой кривизны будут неудовлетворительными.

Недостатком такого долота является низкая эффективность по забуливанию нового направления ствола скважины с искусственного моста из-за невозможности прогнозировать и регулировать скорость бурения, что влияет на параметры формируемой при забуливании нового направления ствола скважины интенсивности искривления.

С целью устранения вышеизложенных факторов и достижения оптимизации и усовершенствования процесса забуливания нового направления, предлагается проведение дополнительной подготовки долота [82], методом закрытия части породоразрушающих элементов средних венцов всех шарошек легко изнашиваемым материалом, на высоту частично или полностью равную высоте этих породоразрушающих элементов (рисунок 14).

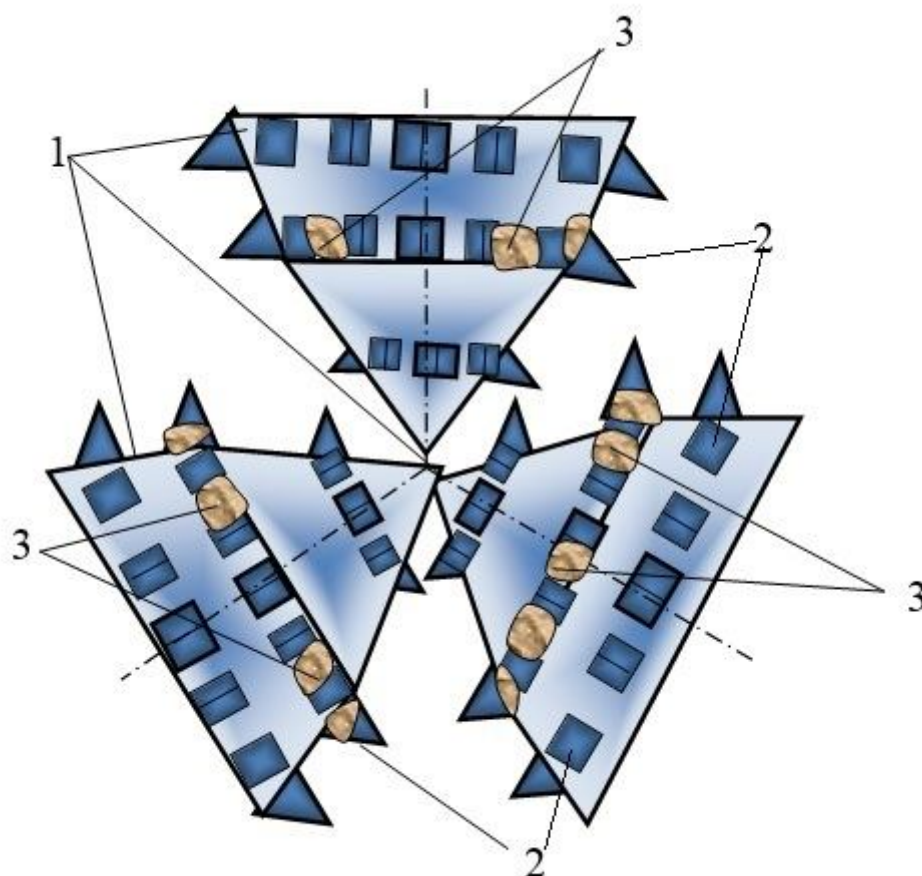


Рис. 14. Схема подготовки долота, путем частичного нанесения изнашиваемого материала на средний венец всех шарошек долота.

В качестве материала покрытия можно рассматривать наплавление латуни, олова, меди, а также нанесение затвердевающих композиционных материалов (керамическое, металлокерамическое покрытие, термопластик и пр.). Материал покрытия должен отвечать следующим требованиям [43]:

1. Высокая адгезия с материалом шарошек долота, для предотвращения преждевременного удаления материала покрытия от шарошек;
2. Стойкость к высокотемпературному воздействию (температура на забое, во время работы долота, может превышать 500 °С);
3. Стойкость к вибрационному воздействию;
4. Возможность нанесения материала покрытия на поверхность долота в полевых условиях;

5. Возможность варьирования скоростью абразивного изнашивания материала покрытия.

После того, как под действием отклоняющей силы произойдет наработка уступа на необходимую ширину для последующего забуривания нового направления, и необходимо будет увеличить скорость бурения скважины (V_6), в идеальных условиях, созданное дополнительное покрытие должно изнашиваться и тем самым в работу по разрушению забоя включиться торцевое вооружение в полной мере. Тем самым мы продолжим дальнейшее бурение нового ствола скважины без проведения дополнительных спускоподъемных операций для замены породоразрушающего инструмента.

Долото для забуривания нового направления ствола скважины с искусственного забоя, включающее корпус с резьбой и шарошки, установленные на опорах качения, оснащенные породоразрушающими элементами, располагаемыми на поверхности шарошек венцами и покрытые легко изнашиваемым наплавляемым металлом, расположенным между породоразрушающими элементами среднего венца на каждой шарошке на высоту частично или полностью равную высоте породоразрушающих элементов.

Целью разработки такого долота является повышение эффективности забуривания нового направления ствола скважины с искусственного моста в горных породах, твердость которых выше твердости материала искусственного моста.

Предлагаемое долото (рис. 14) включает шарошки 1, породоразрушающие элементы 2 и легко изнашиваемый наплавляемый материал 3, который размещается между породоразрушающими элементами 2, ограничивая их породоразрушающее действие частично или полностью в зависимости от высоты наплавки.

Поставленная цель достигается тем, что легко изнашиваемый наплавляемый металл располагают между породоразрушающими элементами среднего венца на каждой шарошке на высоту частично или полностью равную

высоте породоразрушающих элементов, при этом высота покрытия наплавленным металлом определяется из соотношения: $K=H-N \cdot h$ (рис. 15),

где K – высота покрытия, м;

H – высота породоразрушающего элемента долота на среднем венце шарошки, м;

$N= h_3/h$ – требуемое соотношение глубин внедрения в породу породоразрушающих элементов долота без покрытия – h и после покрытия h_3 .

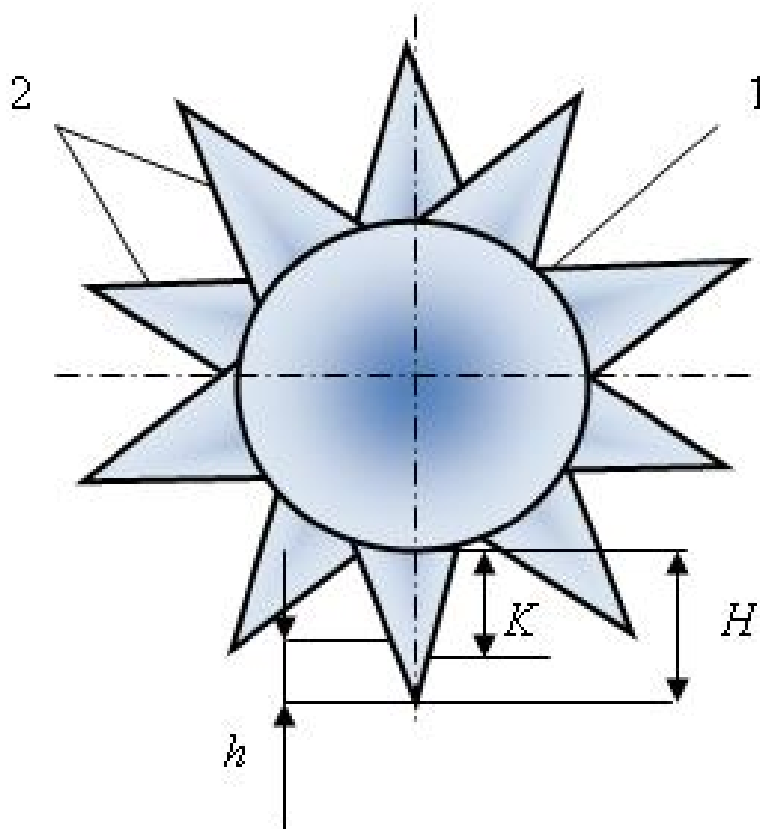


Рис. 15. Схема показывающая определение толщины покрытия легко изнашиваемого материала между породоразрушающими элементами.

В данном случае ограничивая глубину внедрения породоразрушающих элементов в требуемых для снижения механической скорости бурения пределах, удастся точно установить ограничение механической скорости и определить вероятное значение интенсивности искривления. Кроме этого достигается повышение эффективности работы долота за счет минимизации покрытия на шарошках и таким образом достигается эффект более точного обнажения породоразрушающих элементов вследствие износа металлического покрытия

при переходе долота в процессе забуривания с искусственного забоя в горную породу.

Выражение для расчета скорости бурения V_6 , можно аналитически записать в виде выражения:

$$V_6 = \omega_{ш} h_6 N Z_{ш}^c \quad (28)$$

где $\omega_{ш}$ - частота вращения шарошки долота, мин⁻¹;

h_6 – глубина внедрения в породу породоразрушающего элемента на среднем венце шарошки долота, м;

N – число шарошек у долота;

$Z_{ш}^c$ – число породоразрушающих элементов в среднем венце шарошки долота.

Скорость фрезерования $V_{фр}$ можно определить по аналогичной формуле:

$$V_{фр} = \omega_{ш} h_{\phi} N Z_{ш}^{\phi} \quad (29)$$

где h_{ϕ} – глубина внедрения в породу породоразрушающего элемента на боковом фрезерующем венце шарошки долота, м;

$Z_{ш}^{\phi}$ – число породоразрушающих элементов на боковом фрезерующем венце шарошки долота.

Из соотношения скоростей:

$$\frac{V_{фр}}{V_6} = \frac{h_{\phi} Z_{ш}^{\phi}}{h_6 Z_{ш}^c} \geq 1 \quad (30)$$

следует, какие параметры влияют на величины скоростей фрезерования стенки скважины и разрушения забоя и как можно получить наиболее благоприятное соотношение скоростей фрезерования и бурения.

Таким образом, ограничивая глубину внедрения породоразрушающих элементов в горную породу h_6 и число активно работающих породоразрушающих элементов можно регулировать скорость бурения при забуривании нового направления ствола скважины с искусственного моста. Это следует из формул (28, 29 и 30).

Для расчета значений h_6 в представленных зависимостях (28) и (30) могут использоваться формулы из работы [78]:

При применении долота с породоразрушающими элементами сферической шарообразной формы, для расчета глубины внедрения породоразрушающих элементов можно воспользоваться следующей формулой [78]:

$$h_6 = r - \sqrt{r^2 - \frac{P}{\pi p_{из}(1 + \tan \varphi)}} \quad (31)$$

где r – радиус сферического породоразрушающего элемента, м;

P – осевая нагрузка на породоразрушающий элемент, Н.

$p_{из}$ – твердость искусственного забоя, Па;

φ – угол внутреннего трения, град.

При применении долота с породоразрушающими торцевыми элементами клиновидной формы, для расчета глубины внедрения породоразрушающих элементов можно воспользоваться формулой [78]:

$$h_6 = \frac{P}{2\rho_{из}l \tan \psi (\mu \cos \psi + \sin \psi)(1 + \tan \varphi)} \quad (32)$$

где l – ширина породоразрушающего элемента (индентора), м;

ψ – половина угла приострения конусного породоразрушающего элемента (индентора), град;

μ – коэффициент трения резца о материал искусственного забоя;

При применении долота с породоразрушающими торцевыми элементами трапецеидальной формы, для расчета глубины внедрения породоразрушающих элементов применяется формула [78]:

$$h_6 = \frac{P - bl\rho_{из}(1 + \tan \varphi)}{2\rho_{из}l \tan \psi / (\mu \cos \psi + \sin \psi)(1 + \tan \varphi)} \quad (33)$$

где b – длина площадки притупления породоразрушающего элемента (индентора), м;

Таким образом, воспользовавшись формулами (30, 31, 32, 33), можно определить высоту покрытия породоразрушающих элементов среднего венца долота легко изнашиваемым материалом для обеспечения соблюдения превышения скорости фрезерования стенки скважины ($V_{фр}$) над скоростью

бурения материала искусственного забоя (V_6) в момент проведения работ по наработке уступа.

Кроме этого, для более эффективного регулирования скорости бурения предлагается легко изнашиваемый материал или металл наплавлять между породоразрушающими элементами, чередуя со вставками, между которыми наплавка из легко изнашиваемого материала не выполняется.

Данное решение позволяет «выключать» из работы по разрушению забоя не все породоразрушающие элементы, а только те, между которыми выполнена наплавка легко изнашиваемым металлом, что повышает возможность регулирования скорости бурения долотом по материалу, из которого сформирован искусственный забой, а также упрощает процесс подготовки долота к производству работ.

В то же время, отмечая, что наплавляемый легко изнашиваемый металлический припой характеризуется достаточно высокой износостойкостью, для расширения возможностей предлагаемого долота предлагается в качестве легко изнашиваемого материала использовать термостойкое керамическое или металлокерамическое покрытие, отличающиеся меньшей стойкостью к изнашиванию. Применение таких материалов позволит расширить диапазон применения горных пород, в которых возможно применение доработанного долота, а также позволит более точно прогнозировать момент «освобождения» породоразрушающих элементов и включения их в работу по разрушению забоя при производстве работ по забуриванию нового направления с искусственного забоя.

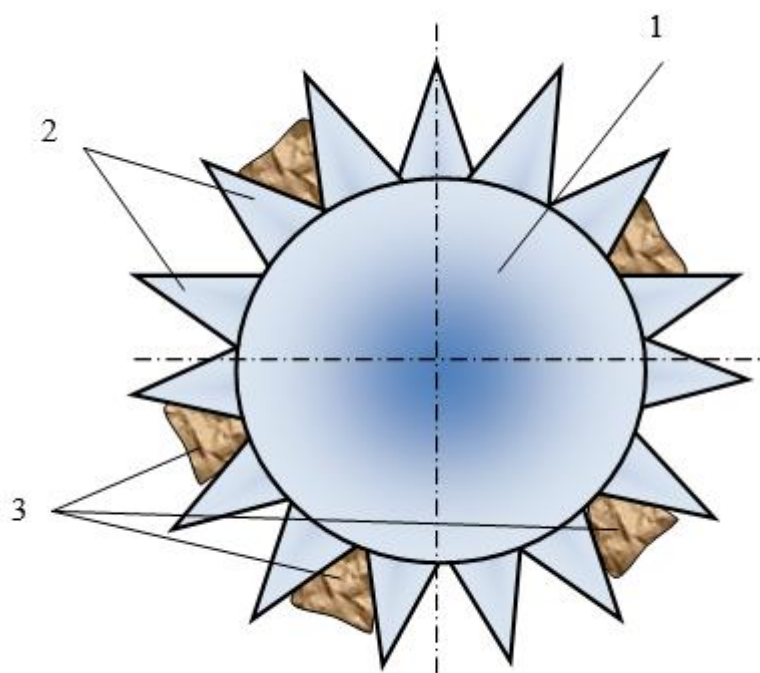


Рис. 16. Схема показывающая нанесение легко изнашиваемого материала между породоразрушающими элементами среднего венца шарошки в разрезе.

Предлагаемое долото работает следующим образом (рис 14, 16). Долото с наплавками 3 между породоразрушающими элементами 2 устанавливается на валу отклонителя фрезерующего типа для забуривания нового направления ствола скважины с искусственного моста. Наплавки наносятся между породоразрушающими элементами 2 долота таким образом, чтобы ограничить скорость разрушения материала искусственного моста и создать благоприятные условия для забуривания нового направления ствола скважины за счет ограничения скорости бурения по материалу, из которого изготовлен мост в скважине. В процессе бурения происходит ограничение скорости бурения за счет снижения глубины внедрения породоразрушающих элементов 2 долота в материал искусственного забоя и активное фрезерование горной породы боковым вооружением долота, что позволяет достаточно эффективно производить забуривание нового направления ствола скважины. По мере бурения пластичный легко изнашиваемый (в сравнении с износом породоразрушающих элементов 2 и шарошек 1) материал изнашивается и

породоразрушающие элементы 2 дополнительно обнажаются, что позволяет после забуривания нового направления ствола скважины, при разрушении горной породы обеспечить необходимую скорость бурения.

Положительный эффект от применения предлагаемого долота будет состоять в повышении оперативности и надежности забуривания новых направлений стволов скважин с искусственных мостов в твердых горных породах, снижению затрат времени на проведение дополнительных спускоподъемных операций, связанных с необходимостью замены долота с зарезного на долото для дальнейшего бурения.

3.2. Разработка и описание технологии, применяемой при осуществлении работ по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой.

Для применения долота [82], описанного в главе 3.1., при осуществлении забуривания нового направления из открытого ствола скважины с искусственного забоя предлагается следующая технологическая последовательность операций [42]:

1. Определение места забуривания нового ствола.

По данным геофизических исследований и фактических данных о составе горных пород (анализ выбуренного шламового материала при бурении, данные механической скорости бурения) и степени разработанности ствола скважины в предполагаемом интервале забуривания, производится выбор места зарезания нового ствола. Участок для зарезания нового направления следует выбирать с минимальным коэффициентом кавернозности, т.е. с диаметром ствола скважины близким к номиналу, которым осуществлялось бурение скважины. Это необходимо для того, чтобы компоновка бурильных труб обеспечивала необходимую отклоняющую силу, направленную в сторону нового ствола скважины, на протяжении всего интервала зарезания и обеспечения наработки уступа на необходимую ширину.

2. Создание искусственного забоя в интервале забуривания нового ствола скважины.

Что бы обеспечить работу долота [82], в данной работе предлагается рассмотреть в качестве материала искусственного забоя использовать цементный камень.

Проблемой установки надежных опорных цементных мостов с высокими показателями прочности в скважинах занимались многие исследователи (Ашрафьян М.О., Басарыгин Ю.П., Булатов А.И., Гилязов Р.М., Проселков Ю.М., Рябоконь С.А., Савенок О.В., Чудновский Д.М. и др.) [11, 13, 22, 28, 29, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

Для создания искусственного забоя необходимо применять цементы с максимальными прочностными характеристиками и с минимальными сроками схватывания цементного камня. Для повышения показателя твердости цементного камня можно использовать кварцевый песок. Эксперименты показывают [29], что в условиях низких и нормальных температур введение обычного крупнозернистого кварцевого песка в объеме до 20 % от веса цемента, позволяет повысить твердость образованного цементного камня в 1,5 раза.

Для обеспечения минимальных сроков схватывания и достижения максимальной прочности цементного камня с повышенными адгезионными характеристиками предлагается воспользоваться рецептурой разработанной коллективом авторов Кузнецова О.Г., Фефелов Ю.В., Чугаева О.А. и др [84]. Данный тампонажный состав был рассмотрен нами в главе 2.3. Можно отметить, что данный состав рекомендован для установки зарезных опорных цементных мостов и обеспечивает повышенную прочность цементного камня при одновременном обеспечении прокачиваемости и достижении оптимальных твердения при низком водоцементном отношении.

Указанный технический результат обеспечивается содержанием в рецептуре следующих компонентов, мас %:

- Портландцемент – 65,3 – 70,4;
- Микродур – 0,72 – 7,6;
- Melflux F (пластификатор-поликарбоксилат) – 0,02 – 0,23;
- ПолицемДФ (пеногаситель) – 0,07 – 0,15;
- Полиоксихлорид алюминия (ускоритель сроков схватывания) – 0,06 – 0,53;
- Хлорид натрия (ускоритель сроков схватывания) – 0,24 – 2,12;
- Вода техническая – 24,1-28,5.

Пределы прочности данного цементного камня на изгиб/сжатие через 24 часа ожидания затвердевания цемента (ОЗЦ) составляют: Предел прочности на изгиб – 4,3 – 7,6 МПа, Предел прочности на сжатие – 9,5-29 МПа.

Для установки цементного моста следует применять трубы с минимальной разницей диаметра тела трубы и диаметра резьбового соединения (НКТ, ГНКТ), для исключения нарушения структуры цементной смеси при установке цементного моста и последующего подъема заливочной колонны на глубину вымыва излишков цементного раствора.

После спуска заливочной колонны до нижней отметки устанавливаемого моста, производится промывка скважины с выравниванием параметров бурового раствора и последующая установка цементного моста в скважине с применением буферных жидкостей. После установки цементного моста выдерживается необходимое время для затвердевания и набора прочности цементного камня.

3. Выбор компоновки и режимов бурения для осуществления забуривания нового ствола скважины.

Компоновка низа бурильной колонны (КНБК) должна обеспечивать формирование нового ствола скважины в результате фрезерования стенки скважины боковой поверхностью долота и разрушения цементного камня его рабочей поверхностью с сохранением отклоняющей силы, направленной в сторону забуривания нового ствола скважины в интервале забуривания при поддержании постоянного режима бурения. Применяемая КНБК должна обеспечивать создание максимального коэффициента фрезерующей способности отклоняющей системы за счет применения долота с высоким коэффициентом фрезерующей способности и минимизации расстояния от долота до узла искривления в забойном двигателе, а также обеспечения совместного процесса фрезерования стенки скважины и асимметричного разрушения забоя за счет совпадающих по направлению действий данных процессов [39].

Для минимизации влияния изменения полувогнутости бурильного инструмента на пространственное положение породоразрушающего инструмента, необходимо учитывать текущий зенитный угол скважины и применяемую КНБК, определить, в некоторых пределах, значения осевой нагрузки при бурении наклонного ствола скважины, и исходя из данных показателей

подобрать оптимальное расположение опорно-центрирующих элементов в КНБК. Опорно-центрирующие элементы расположить таким образом, чтобы между местом контакта отклонителя со стенкой скважины (в месте установленного узла искривления) и установленной опорой создавалась полуволна бурильного инструмента с касанием противоположенной стенки скважины, что позволит создать оптимальное соотношение осевой нагрузки и отклоняющей силы, под воздействием которой производится фрезерование боковой стенки скважины в требуемом направлении.

Формулы и пример расчета для определения места расположения промежуточного опорно-центрирующего элемента приведены в главе 2.2. данной работы.

После определения длины полуволны и места касания колонны утяжеленных бурильных труб с противоположенной стенкой скважины, опорно-центрирующий элемент предлагается разместить на двукратном расстоянии длины полуволны от места соприкосновения отклонителя со стенкой скважины, что позволит создать оптимальное соотношение осевой нагрузки и отклоняющей силы.

Режимы бурения при производстве работ по забуриванию нового направления скважины из открытого ствола с искусственного забоя, предлагается принять точно такими же, которые были применены для бурения основного ствола скважины. Данное решение позволит нам произвести сравнение механической скорости бурения основного ствола ($V_{б.осн.}$), и механическую скорость бурения нового направления в процессе наработки уступа, а также при осуществлении дальнейшего бурения нового направления после его забуривания. При значительном увеличении механической скорости (более чем в 1,5 раза) во время наработки уступа над механической скоростью достигнутой при бурении основного ствола скважины по горным породам, необходимо будет произвести снижение осевой нагрузки от первоначальной до возвращения скорости бурения к значениям, полученным при бурении основного ствола скважины.

4. Подбор легко изнашиваемого материала и подготовка долота к забуливанию нового направления.

При забуливании нового направления ствола скважины долото изначально разрушает мягкий искусственный забой и фрезерует более твердую горную породу. В этот момент необходимо ограничить скорость бурения по искусственному забою, сохраняя скорость фрезерования на максимальном уровне. В последующем, после некоторого частичного забуливания в стенку скважины, необходимо производить разрушение торцевыми элементами долота твердую горную породу.

Учитывая то, что забуливание производится в крепких и твердых породах, в качестве долота для забуливания можно рассмотреть трехшарошечное долото типа ОК, применяемые для бурения крепких и очень крепких пород. Торцевое вооружение данных долот представлено наименее агрессивными твердосплавными вставками сферической формы с небольшим вылетом над корпусом шарошек, что не позволит произвести быстрое разбуливание цементного камня. Проведение дополнительной подготовки долота, методом закрытия части торцевого вооружения на среднем венце шарошек позволит еще более снизить скорость бурения цементного камня.

Основные требования к материалам, используемым для покрытия торцевой части долота описаны в главе 3.1. данной работы:

1. Высокая адгезия с материалом шарошек долота, для предотвращения преждевременного удаления материала покрытия от поверхности шарошек;
2. Стойкость к высокотемпературному воздействию (температура на забое, во время работы долота, может превышать 500 °C) [23, 34];
3. Стойкость к вибрационному воздействию;
4. Возможность нанесения материала покрытия на поверхность долота в полевых условиях;
5. Возможность варьирования скоростью абразивного изнашивания материала покрытия.

При подборе материала покрытия породоразрушающих элементов среднего венца долота, необходимо также учитывать следующие факторы:

1. Износостойкость абразивного изнашивания материала покрытия, как при бурении по искусственному забоя, так и при бурении по горной породе. Наиболее благоприятным, в данном плане, покрытием, будет такой материал, который бы обеспечил хорошую износостойкость при бурении по материалу искусственного забоя (цементного камня), и напротив быстрое разрушение при бурении по горной породе. Таким образом при наработке уступа на необходимую ширину, средний венец шарошки после непродолжительного взаимодействия с горной породой, полностью включается в разрушение забоя, и не ограничивает работу крайнего венца шарошки;
2. Возможность сохранения режимов бурения при осуществлении процесса забуривания нового направления такими же, как и при бурении основного ствола скважины в интервале забуривания;

Для определения высоты покрытия породоразрушающих элементов среднего венца долота легко изнашиваемым материалом можно воспользовавшись формулами (30, 31, 32, 33), представленными в главе 3.1. данной работы.

Учитывая изложенные требования к материалам дополнительного покрытия, в качестве таких материалов можно рассматривать как металлы и сплавы (медь, олово, латунь), наносимые на поверхность долота методом напайки, так и современные композитные и металлосиликатные материалы.

5. Производство работ по забуриванию нового ствола скважины с опорой на искусственный забой.

После установки цементного моста, выдержки необходимого времени ожидания затвердевания цемента и уточнения фактических прочностных характеристик цементного камня по отобраным пробам, во время затворения цементного раствора, можно приступать к работам по забуриванию нового

направления с применением доработанного долота с нанесенным на средний венец каждой шарошки дополнительного покрытия легко изнашиваемого материала.

После спуска забойного двигателя ниже стола ротора, необходимо убедиться в его работоспособности путем запуска циркуляции и фиксирования перепада давления на буровых насосах при начале работы забойного двигателя, согласно паспорта на буровое оборудование.

После спуска компоновки до глубины начала работ необходимо приступить к работам по забурированию нового ствола скважины. Запустить циркуляцию бурового раствора, зафиксировать достигнутое давление в нагнетательной линии и приступить к созданию нагрузки на долото до достижения плановых режимов. При осуществлении забурирования технологические режимы производства работ (нагрузка на долото, подача промывочной жидкости, параметры промывочной жидкости) рекомендуется оставить таким же, как и при бурении основного ствола скважины в данном интервале. В процессе наработки уступа и при дальнейшем забурировании данные режимы необходимо оставить без изменений до полной уверенности в успешности работ по зарезанию нового ствола скважины. В процессе забурирования, путем подбора меры инструмента перед началом работ, необходимо исключить остановку работ для наращивания инструмента, а также исключить работу долота на забое с ограничением нагрузки и «проработку» с фрезерованием пробуренного интервала.

В процессе забурирования необходимо контролировать достигнутую механическую скорость углубления скважины. Для достижения превышения скорости фрезерования боковой стенки скважины над скоростью углубления, необходимо, чтобы скорость бурения по материалу искусственного забоя была в пределах и не превышала механическую скорость бурения основного ствола скважины.

При проведении работ по забурированию нового ствола скважины, на устье необходимо обеспечить отбор выбуренного шлама и его анализ на предмет

процентного соотношения в нем горной породы и материала искусственного забоя, для контроля успешности работ по забурированию нового направления. При стопроцентном выходе горной породы в вымываемом шламе работы по забурированию нового направления можно считать успешными и продолжать работы по бурению нового ствола скважины без дополнительного проведения спуско-подъемных операций для проведения замены зарезного долота.

3.3. Проведение апробации применения долот с запаянным торцевым вооружением при производстве работ по забурированию новых направлений в твердых и крепких горных породах.

При проведении геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в Читинской области (Забайкальский край), поселок Октябрьский, Краснокаменский район, во время производства работ по забурированию новых направлений в горных породах высокой категории твердости, была апробирована технология применения долот с запаянным торцевым вооружением. Запайка торцевой части долот, предназначенных для забурирования новых направлений, осуществлялась с применением латунного припоя.

При производстве данных работ по забурированию твердость материала искусственного забоя была в 3-4 раза ниже твердости горных пород, из которых велось забурирование нового направления. Оперативным и достаточно точным методом контроля процесса наработки необходимого уступа и благополучного забурирования в горную породу из старого ствола скважины с установленным материалом искусственного забоя, является оценка по механической скорости бурения, которая изменяется в достаточно широких пределах с четко выраженными границами изменения величины в связи с различной буримостью горных пород и материала искусственного забоя.

На рис. 17 приведены графики изменения механической скорости бурения, полученные при забурировании дополнительных стволов различными долотами в сравнительно разных условиях с применением отклонителей ТЗ-3-59 и ТЗ-3-76 с искусственных забоев, представленных цементным камнем. Приведенные графики показывают необходимые значения механических скоростей, обеспечивающих забурирование новых стволов скважины в определенных условиях. Изменение скорости бурения определяется изменением прочности забоя при забурировании. Например, кривая 4 показывает, что при покрытии торца долота латуной скорость бурения по искусственному забою ниже, а забурирование (точка В) в стенку скважины происходит раньше, чем при

бурении долотом без дополнительного покрытия (кривая 2, точка А). Наиболее оперативного забуривания удалось достичь при применении долота ДША с покрытием (кривая 5, точка D), но достигнутая скорость при осуществлении забуривания была минимальной.

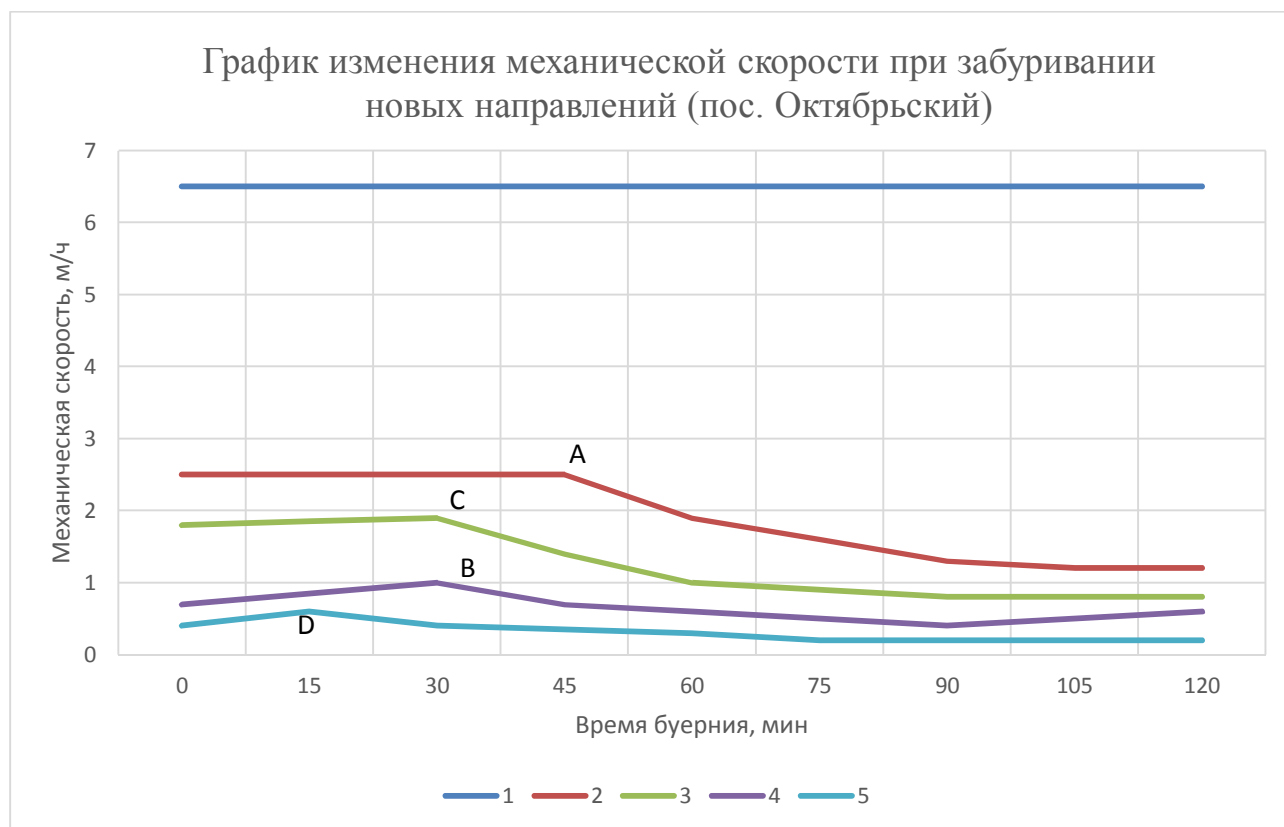


Рис. 17. Графики изменения механических скоростей бурения при забуривании нового направления ствола скважины с искусственного забоя различными долотами.

1. Долото ДДА-76 без покрытия торца пластичным сплавом (забуривания нет);
2. Долото ЗШ-59К без покрытия торца пластичным сплавом (забуривание осуществлено);
3. Долото ЗШ-59К с покрытием торца пластичным сплавом (забуривание осуществлено);
4. Долото ДША-59 без покрытия торца шарошечного долота пластичным сплавом;
5. Долото ДША-59 с покрытием торца шарошечного долота пластичным сплавом (забуривание осуществлено).

Как показали проводимые работы, в подавляющем числе случаев забуривание долотами без покрытия торцевой части латуню оказалось невозможным, а при производстве работ долотами с предварительно нанесенным покрытием удавалось произвести процедуру забуривания без существенных трудностей с забоев, твердость которых в 3-4 раза меньше твердости горных пород.

Как показало практическое применение различных долот с покрытием торцевой части латунным припоем, успешное забуривание обеспечивается более благоприятным соотношением скоростей фрезерования ($V_{фр}$) и бурения ($V_б$), что определяет более интенсивный набор кривизны. Так, если долото без покрытия позволяет получить даже при минимальных параметрах режима бурения высокие значения скорости бурения и какое-то определенное значение скорости фрезерования, то долото с дополнительным покрытием дает при тех же параметрах режима бурения более низкую скорость бурения, которая еще более снижается при забуривании в горную породу. В этом случае и соотношение скоростей $V_{фр}/V_б$ при забуривании долотом с покрытием имеет более высокое значение в момент начала забуривания, чем при бурении долотом без покрытия.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Разработанная полезная модель долота для забуривания нового направления ствола скважины с искусственного забоя, включающего корпус с резьбой и шарошки, установленные на опорах качения, оснащенные породоразрушающими элементами, располагаемыми на поверхности шарошек венцами и покрытые легко изнашиваемым наплавляемым металлом, расположенным между породоразрушающими элементами среднего венца на каждой шарошке на высоту частично или полностью равную высоте породоразрушающих элементов, позволяет обеспечить благоприятные условия для осуществления забуривания нового ствола скважины, за счет снижения работы торцевого вооружения по разрушению забоя при неизменной скорости фрезерования стенки скважины.

2. Для оптимизации временных затрат на осуществлении установки искусственного забоя (цементного моста), рекомендуется применять цементные составы, обладающие минимальными сроками схватывания в сочетании с максимальной прочностью цементного камня с повышенными адгезионными характеристиками после затвердевания.

3. В результате применения технологии по забуриванию нового направления в твердых и крепких горных породах с применением специально доработанного долота [82] получается достигнуть оптимизации всего процесса производства работ за счет отсутствия ограничения режимов бурения при наработке уступа, исключения времени на дополнительные спуско-подъемные операции связанные с необходимостью замены применяемого зарезного долота на долото для дальнейшего углубления нового ствола. Углубление нового ствола скважины продолжается с использованием долота применяемого при осуществлении забуривания, с той разницей, что после осуществления зарезания нового ствола, к моменту работы долота по горной породе, легко изнашиваемый материал, предварительно нанесенный на средний венец шарошек долота,

полностью освободит долото, и не будет препятствовать разрушению горной породы при дальнейшем бурении.

4. Практическая апробация производства работ по забурированию новых направлений в горных породах, твердость которых значительно превышает твердость материала искусственного забоя, с применением долот с запаянной торцевой частью вооружения, подтверждает повышение соотношения $V_{\text{фр}}/V_{\text{б}}$ при применении таких долот, и как следствие повышает результативность всего процесса забурирования нового направления.

Глава 4. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПО ЗАБУРИВАНИЮ НОВОГО СТВОЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНО ПОДГОТОВЛЕННОГО ДОЛОТА.

4.1. Экономический эффект за счет применения специально подготовленного долота при производстве работ по забуриванию дополнительного ствола.

Расчет выполнен исходя из имеющихся данных размера суточной ставки работы буровой установки и буровой бригады при осуществлении работ по бурению скважины.

Для оценки экономической эффективности применения долота [82] предлагается произвести расчет сокращения затрат времени на производство работ по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой при осуществлении данных работ на разведочной скважине № 51 Собинской площади, имея фактические данные по затраченному времени на производство данных работ в сравнении с прогнозными затратами времени на выполнение работ по забуриванию нового ствола скважины с применением долота [82].

Согласно проектно-сметной документации на строительство разведочной скважины № 51 Собинской площади [32, 33] расчет цены суточной ставки ($C_{\text{сут}}$) будет определяться в соответствии с локальной сметой на производство работ по бурению под эксплуатационную колонну разведочной скважины № 51 Собинской площади в нормах и ценах по состоянию на 2017 год, представленной в таблице 12:

Таблица 12

локальная смета на производство работ по бурению под эксплуатационную колонну разведочной скважины № 51 Собинской площади

№ п/п	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат	Ед. изм.	Объем работ	Кол-во ресурсов по норме на ед. изм.	Кол-во ресурсов всего	Стоимость единицы			Стоимость всего			
							оплата труда	эксплу атация маши н и механ измов	МТР	оплата труда	эксплу атация машин и механи змов	МТР	Итого
№1 Затраты, зависящие от времени													
1	3-01-12-03 (0)	Затраты труда буровой бригады при глубине скважины от 1500 до 4000 при вахтовом режиме работы. За время работы при бурении и креплении горизонтальных скважин. Форма оплаты труда: сдельная Кзп=1,05	1 станко-сутки	1,0			57 204	0	0	57 204,00	0	0	57 204,00

Затраты труда слесаря в одну смену по 12 час													
2	3-01-07-03	Затраты труда слесаря по обслуживанию буровых: за время работы по обслуживанию буровых установок при бурении и креплении скважины глубиной до 4000 м. Форма оплаты труда: сдельная в одну смену (0) Кзп=1,5	1 станко-сутки	1,0			5 148	0	0	5 148,00	0	0	5 148,00
Затраты труда электромонтера 4разряда в одну смену по 12 час													
3	3-01-08-03	Затраты труда электромонтера по обслуживанию электродвигателей мощностью до 320 кВт. За время работы при бурении и креплении скважины. Форма оплаты труда: сдельная в одну смену (0) Кзп=1,5	1 станко-сутки	1,0			4 584	0	0	4 584,00	0	0	4 584,00

Сварщик-вышкомонтижник 5разряда - 1чел в смену													
4	3-01-09-03	Затраты труда электромонтера по обслуживанию электродвигателей мощностью свыше 320 кВт. За время работы при бурении и креплении скважины. Форма оплаты труда: сдельная в одну смену Кзп=1,5	1 станко- сутки	1,0			5 148	0	0	5 148,00	0	0	5 148,00
	(0)												

Затраты труда машиниста БУ (6 разряд) в смену 12 час*1смену/сут.

5	3-01-04-02	Затраты труда машиниста по обслуживанию двигателей внутреннего сгорания. За время работы при бурении и креплении скважины. Форма оплаты труда: сдельная Суммарная мощность свыше 1000 кВт Кзп=1,5	1 станко- сутки	1,0			5 340	0	0	5 340,00	0	0	5 340,00
	(0)												

Затраты труда машиниста БУ (4,5разряда)													
6	3-01-06-02	Затраты труда мотористов (дизелистов) в бурении при обслуживании ДВС общей мощностью свыше 1000 кВт. За время работы при бурении и креплении скважины. Форма оплаты труда: сдельная количество двигателей в комплекте 3 и более	1 станко-сутки	1,0			17 856	0	0	17 856,00	0	0	17 856,00
	(0)												
Машинист ДЭС													
7	3-01-14-05	Затраты труда машиниста по обслуживанию двигателей внутреннего сгорания для вахтового режима работы За время выполнения буровой бригадой безметражных и других работ. Форма оплаты труда: повременная без пометровой доплаты	1 станко-сутки	1,0			8 439	0	0	8 439,00	0	0	8 439,00

		Суммарная мощность до 1000 кВт											
	(0)	Кзп=2											
8	3-03-02-08	Материалы и запасные части для текущего ремонта бурового и силового оборудования, привышечных сооружений, расходуемые в процессе бурения Глубина скважины от 3000 м до 4000 м Вид привода дизельный	1 станко- сутки	1,0			0	0	39 699	0	0	39 699,00	39 699,00
	(0)												

Расход ГСМ БУ Уралмаш 3Д-86 СА25 (6ЧН21/21(225Д-1))													
9	3-04-01-11 (0)	Расход горюче-смазочных материалов для двигателей внутреннего сгорания главного привода буровых установок Бурение. Буровая установка Уралмаш-3Д Типы двигателей внутреннего сгорания 6ЧН21/21, N=2316кВт (3150 л.с.)	1 станко-сутки	1,0			0	0	120 889	0	0	120 889,00	120 889,00
Эксплуатация АСДА-315. Расход топливо- 0,928 т/сут, масло -0,018т/сут (Раздел 6 ПД табл. 6.1)													
10	2,5E+07 (0)	Топливо дизельное расчетное, (налив) V=0,928	1 станко-сутки	1		0,9280		0	45 765,12	0	0	42 470,03	42 470,03
11	2,5E+07 (0)	Масло для двигателей внутреннего сгорания, (в бочках) V=0,018	1 станко-сутки	1		0,0180		0	60 948,42	0	0	1 097,07	1 097,07
12	3-06-01-04 (0)	Расход (износ) инструмента и бурильных труб. Буровой инструмент. Глубина 3000-4000 м V=1/1000	1000 станко-суток	0,001			0	0	25 224 771	0	0	25 224,77	25 224,77

Материалы и машины с нулевыми позициями в ЭСН 3-06-01-04													
13	3,7E+08 (0)	Переводники разных размеров (верхние, нижние, для УБТ, ловильного инструмента, включая левые) (Красноярский край МПРКС) V=10,959	1000 станко-сутки	0,001		10,959		0	12 072,31		0,00	132,30	132,30
14	3-09-03-01 (0)	Содержание бурового, силового оборудования на дизельном приводе и инструмента при вахтовом методе работы Количество буровых установок в работе до 3	1 станко-сутки	1,0			37 085,00	3 700,00	1 103,00	37 085,00	3 700,00	1 103,00	41 888,00
15	3-11-02-01 (0)	Содержание бурильных труб при вахтовом методе работы Обратный парк бурильных труб, м до 30 000 Кзп=3,85; Кэмм=3,85; Кмат=3,85; Квзвр=3,85	1000 метро-суток	1,0			8 812,00	4 574,00	61,00	8 812,00	4 574,00	61,00	13 447,00

16	3-13-02-01 (0)	Содержание средств контроля, диспетчеризации, управления процессом бурения и средств связи Количество буровых установок в работе До 3	1 станко-сутки	1,0			13 549,00	46 953,00	139,0 0	13 549,00	46 953,00	139,00	60 641,00
Материалы и машины с нулевыми позициями в ЭСН 3-13-02-01													
17	3,6E+08 (0)	Провод монтажный ПГВА (Красноярский край МПРКС) V=0,52*1	м			0,520			32,58			16,94	16,94
18	3,6E+08 (0)	Провод монтажный МГВ, 0,5мм(Красноярский край МПРКС) V=0,17*1	м			0,170			5,44			0,92	0,92
19	л. см. 401 (0)	Амортизация ОП5-230/80х35 К1 ХЛ	ст-сут	1,0				9 492,00			9 492,00		9 492,00
20	л. см. 03-01-13 (0)	Стоимость суточной амортизации оборудования и металлоконструкций	ст-сут	1,0				102 333,00			102 333,00		102 333,00
21	л. см. 03-01-14	Стоимость капитального ремонта	ст-сут	1,0				47 421,00			47 421,00		47 421,00

	(0)	оборудования и металлоконструкций											
Работа бульдозера по 6 часов в сутки													
22	4,8E+08	Бульдозер гусеничный 124 кВт (170 л.с.) Т-170 Б-170 М-01Е V=6*1	маш.-ч			6,0	352,05	1 462,19		2 112,30	8 773,14		10 885,44
	(0)												
Дежурство бульдозера по 5 часов в сутки, K=0,6													
23	4,8E+08	Бульдозер гусеничный 124 кВт (170 л.с.) Т-170 Б-170 М-01Е V=5*1; Кэмм=0,6	маш.-ч			5,0	211,23	877,31		1 056,15	4 386,57		5 442,72
	(0)												
Работа крана по 6 часов в сутки													
24	4,8E+08	Кран автомобильный КС-45717-1 грузоподъемностью 25 т V=6*1	маш.-ч			6,0	375,42	1 556,83		2 252,52	9 340,98		11 593,50
	(0)												
Дежурство крана по 5 часов в сутки, K=0,6													
25	4,8E+08	Кран автомобильный КС-45717-1 грузоподъемностью 25 т V=5*1; Кэмм=0,6	маш.-ч			5,0	225,25	934,10		1 126,26	4 670,49		5 796,75
	(0)												
Работа вилочного погрузчика 6 часов в сутки													
26	4,5E+08	Автопогрузчик М 41015	маш.-ч			6,0	278,87	528,52		1 673,22	3 171,12		4 844,34

	(0)	V=6*1											
Дежурство вилочного погрузчика 5 часов в сутки, K=0,6													
27	4,5E+08	Автопогрузчик М 41015	маш.-ч			5,0	167,32	317,11		836,61	1 585,56		2 422,17
	(0)	V=5*1; Kэмм=0,6											
ИТОГО ЗАТРАТ: руб.										172 222,06	246 400,86	230 833,04	649 455,96
		Накладные расходы			0,96					0	0	0	165 333,18
		Сметная прибыль			0,52					0	0	0	89 555,47
		Итого по разделу	руб.		0					172 222,06	246 400,86	172 222,06	904 344,61

Операция по забуливанию бокового ствола, при осуществлении работ по строительству разведочной скважины № 51 Собинской площади, производилась 4 раза в интервале от 2630 до 2852 метрах. Информация по произведенным работам приведена в таблице 13.

Таблица 13

Затраты времени и средств на производство работ по забурированию бокового ствола при производстве работ по строительству разведочной скважины № 51 Собинской площади.

№ п/п	Производимая операция	Глубина забурирования, м	Затраты времени, ч				Суточная ставка, руб.	Затраты на операцию, руб.
			Установка цементного моста, ОЗЦ	Наработка уступа, бурение с ограничением режимов	Спуско- подъемные операции, работа с КНБК	Итого		
1	Первое забуривание на 51 Сб	2630 м	229	67	40	336	904 344,61	12660824,54
2	Второе забуривание на 51 Сб	2852 м	72	80,5	20	172,5	904 344,61	6499976,88
3	Третье забуривание на 51 Сб	2800 м	72	236	60	368	904 344,61	13866617,35
4	Четвертое забуривание на 51 Сб	2703 м	70	34,5	16	120,5	904 344,61	4540563,56
5	Итого:		443	418	136	997		

Учитывая данные приведенные в таблице № 13, в среднем затраты времени (T_{cp}) на производство работ по забуливанию нового ствола при строительстве разведочной скважины № 51 Собинской площади, составляют 249,25 часов или 10,39 суток. Исходя из расчета суточной ставки, равной 904 344,61 рублей, финансовые затраты на производство работ на забуливанию нового ствола составляют 9 391 995,58 рублей.

Для расчета продолжительности производства работ по забуливанию нового ствола скважины с использованием специально доработанного долота на глубине забуливания 2800 метров, произведем нормирование всего процесса производства работ по забуливанию нового ствола в соответствии с описанием работ, приведенных в главе 3.2. Расчет затрат времени представлен в таблице 14.

Таблица 14

**Расчет затрат времени на производство работ по забуливанию бокового ствола
на глубине 2800 метров**

Наименование и характеристика работ	Объем работ	Единица измерения	Примечание
1 Спуск заливочной колонны с «воронкой» на глубину 2850 метров.	3,16	ч	§ 62 [35]
2 Промывка скважины в течении одного цикла.	1,16	ч	
3 Установка опорного цементного моста, в интервале 2850 – 2800 метров (подготовительные работы к установке цементного моста, установка цементного моста, подъем труб до кровли цементного моста, срезка, подъем труб в «безопасную зону» на 200 метров выше кровли цементного моста).	2,54	ч	§ 82 [60] § 62 [35]
4 Ожидание затвердевания цемента (ОЗЦ).	24	ч	
5 Подъем заливочной колонны.	3,81	ч	§ 62 [35]
6 Сборка КНБК для забуливания нового ствола скважины.	1,25	ч	§§ 21, 33 [35]
7 Спуск бурильных труб.	2,88	ч	§ 62 [35]

8 Забурирование нового ствола скважины с применением специально доработанного долота без ограничения режимов в интервале 2800-2815 метров, при скорости бурения 1 м/ч.	15	ч	
Бурение нового ствола скважины			
ИТОГО	53,8	ч	

Затраты времени на производство забурирования второго ствола с применением доработанного долота [82] (T_d) с опорой на искусственный забой, рассчитанные на основании нормативов времени на бурение и капитальный ремонт скважин [35, 60], составили 2,24 суток (53,8 часа).

Таким образом, экономия времени ($T_{эк}$) в сравнении со средними затратами времени на забурирование бокового ствола на разведочной скважине № 51 Собинской площади, при применении указанного долота составит:

$$T_{эк} = T_{ср} - T_d$$

$$T_{эк} = 10,39 - 2,24 = 8,15 \text{ суток.}$$

Исходя из суточной ставки производства работ, общий экономический эффект ($\mathcal{E}$) от применения долота [82] составит:

$$\mathcal{E} = T_{эк} \times Ц_{сут} = 8,15 \times 904\,344,61 = 7\,370\,408,57 \text{ рублей}$$

При расчете общего экономического эффекта ($\mathcal{E}$) от применения специально подготовленного долота [82] при осуществлении забурирования боковых столов на разведочной скважине № 51 Собинской площади, были учтены фактические затраты времени при забурировании новых стволов на скважине. Данные фактические затраты времени зависят от множества факторов не относящихся к применению породоразрушающего инструмента, таких как проведение дополнительных спуск-подъемных операций, длительное ожидание затвердевания цементного раствора, не выполнение норм времени на некоторые технологические операции и т.д. В связи с этим, полученная оценка экономического эффекта ($\mathcal{E}$) при применении долота [82] для забурирования нового направления применима только к производству работ на разведочной скважине

№ 51 Собинской площади. Тем не менее, за счет применения долота [82], удастся снизить затраты времени на следующие технологические операции:

1. Нарботка уступа. При осуществлении забуривания нового ствола с цементного моста, работа по забуриванию ведется без ограничения нагрузки, без проведения дополнительных операций по фрезерованию стенки скважины, без ограничения механической скорости.
2. Спую-подъемные операции. Исключение дополнительных спую-подъемных операций связанных с осмотром и заменой долота используемого для наработки уступа и зарезания бокового ствола на долото для дальнейшего бурения.

4.2. Экономический эффект применения специально подготовленного долота за счет сокращения затрат времени на наработку уступа.

Для оценки экономического эффекта за счет сокращения затрат времени на отдельные технологические операции, при наработке уступа предлагается провести сравнительный анализ затрат времени на наработку уступа с применением специально доработанного долота [82] и наработку уступа согласно рекомендациям, изложенным в имеющихся нормативных и производственных документах [87, 88, 89].

Согласно инструкции по забуриванию дополнительного ствола из обсаженной эксплуатационной скважины (РД 39-0148052-550-88) [89] и инструкции по безопасности производства работ при восстановлении бездействующих нефтегазовых скважин методом строительства дополнительного наклонно-направленного или горизонтального ствола скважины (РД 08-625-03) [88] операция по наработке уступа производится следующим образом:

Запустить двигатель и приступить к забуриванию ствола в интервале, равном длине нижнего плеча отклонителя, несколькими подачами долота при минимальной осевой нагрузке. Каждую последующую подачу начинать ниже отметки начала предыдущей подачи не более, чем на 0,2 – 0,3 м, а заканчивать ниже отметки конца предыдущей подачи не более, чем на 0,5 м.

Количество подач в зависимости от твердости слагающих стенку скважины пород ориентировочно равно:

для мягких	4 – 6;
для средний	8 – 10;
для твердых	10 – 15.

Таким образом, при осуществлении забуривания в твердых породах необходимо произвести фрезерование стенки скважины не менее 10 раз с ограничением скорости подачи долота при осуществлении фрезерования, с

каждым разом углубляя интервал фрезерования стенки скважины не более чем на 0,5 метра.

Согласно рекомендациям, изложенным в [87] забуривание нового ствола производится в три этапа, следующим образом:

1 этап: выработка желоба (уступа).

Выработка желоба осуществляется последовательным фрезерованием с удвоением вверх длины прорабатываемого участка или последовательным фрезерованием с удвоением вниз длины прорабатываемого участка. В первом случае после запуска забойного двигателя в течение 0,5 часа делается приработка долота в кровле цементного моста, затем долото подается на 1 м вверх и с ограниченной скоростью подачи 1 м за 1 час без нагрузки «с навеса» производится фрезерование стенки скважины, после чего долото подается вверх на 2 метра и с навеса за 1 час производится фрезерование стенки скважины до первоначальной глубины (кровли цементного моста). Повторением указанных циклов продолжается фрезерование до выработки желоба длиной 8-12 метров.

Выработка желоба методом сверху вниз аналогична первому. Начинается выработка желоба на 8-12 метров выше кровли установленного цементного моста. Фрезерование осуществляется из одной точки, каждый раз длина предыдущего фрезерования вниз удваивается. Предпочтение отдается выработке желоба «снизу вверх».

2 этап: бурение наклонного участка ствола длиной 10-15 метров при ограниченной осевой нагрузке.

Бурение первых 5 метров проводится чередованием бурения каждого метра с последующим фрезерованием этого метра и пробуренного ранее, т.е. после углубления на 1 метр ведется фрезерование 2-х метров. Время бурения 1-го метра длится, как правило, 4 часа, 2-го – 3 часа, последующих 3-х по 2 часа, и последние 5- 10 метров бурят со скоростью не более 0,5 м/ч. Первые 3 метра бурят без нагрузки, которая постепенно увеличивается до 40 кН. Бурением с последующим двойным фрезерованием стенки скважины достигается плавное смещение забоя. Скорость бурения не должна превышать 0,25 – 0,35 %

механической скорости проходки, достигнутой в этом интервале долотами данного типа. На таком режиме бурят до момента полного входа долота в породу, что фиксируется отсутствием цемента в шламе.

3 этап: заключительный.

Бурение интервала длиной 10-15 метров с равномерным увеличением осевой нагрузки до величины, указанной в геолого-техническом наряде, для получения максимальной механической скорости проходки в этом интервале.

Непосредственно к операции по наработке уступа, по вышеописанной технологии, можно отнести первые два этапа.

Суммарные затраты времени на операцию по наработке уступа и забуриванию нового направления из ствола скважины, с соблюдением данной технологии приведены в таблице 16.

Таблица 16

Расчет затрат времени на производство работ по наработке уступа по общеизвестной технологии

Вид работ	Интервал, м	Длина интервала, м	Затраты времени на операцию, ч	Общие затраты времени, ч
1 этап				
Фрезерование стенки	2800-2799	1	1	1
Фрезерование стенки	2800-2798	2	1	2
Фрезерование стенки	2800-2797	3	1	3
Фрезерование стенки	2800-2796	4	1	4
Фрезерование стенки	2800-2795	5	1	5
Фрезерование стенки	2800-2794	6	1	6
Фрезерование стенки	2800-2793	7	1	7
Фрезерование стенки	2800-2792	8	1	8
Фрезерование стенки	2800-2791	9	1	9
Фрезерование стенки	2800-2790	10	1	10
2 этап				
Бурение	2800-2801	1	4	14
Фрезерование стенки	2799-2801	2	1	15
Бурение	2801-2802	1	3	18
Фрезерование стенки	2800-2802	2	1	19
Бурение	2802-2803	1	2	21
Фрезерование стенки	2801-2803	2	1	22
Бурение	2803-2804	1	2	24
Фрезерование стенки	2802-2804	2	1	25
Бурение	2804-2805	1	2	27
Фрезерование стенки	2803-2805	2	1	28
Бурение	2805-2815	10	20	48

Таким образом, затраты времени на наработку уступа с предварительной выработкой желоба в горных породах высокой категории твердости (Туст), составят порядка 48 часов (2 суток).

При производстве работ по забуриванию нового направления из открытого ствола с применением специально доработанного долота (74), затраты времени ($T_{уст.д}$) на забуривание первых 15 метров, при достигнутой механической скорости бурения равной 1 м/ч, составят 15 часов (0,625 суток).

Таким образом, экономия времени на производство наработки уступа ($T_{эк1}$) составит:

$$T_{\text{эк1}} = T_{\text{уст}} - T_{\text{уст.д}}$$

$$T_{\text{эк1}} = 2 - 0,625 = 1,375 \text{ суток.}$$

Исходя из суточной ставки производства работ, экономический эффект при наработке уступа ($\mathcal{E}_1$) от применения долота [82] составит:

$$\mathcal{E}_1 = T_{\text{эк1}} \times \Pi_{\text{сут}} = 1,375 \times 904\,344,61 = 1\,243\,473,84 \text{ рублей.}$$

4.3. Экономический эффект за счет сокращения затрат времени на выполнение вспомогательных и спускоподъемных операций при осуществлении забуривания нового направления ствола скважины.

При применении специально доработанного долота [82] для производства операции по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой в горных породах высокой категории твердости, за счет того, что во время проведения забуривания, перед началом последующего углубления нового ствола скважины, нанесенное дополнительное покрытие из легкоизнашиваемого материала на средний венец шарошек долота полностью износится и удалится, и вооружение долота полностью включится в разрушение забоя, отпадет необходимость в замене долота для последующего бурения нового ствола скважины. Следовательно, не будет необходимости в подъеме бурильного инструмента, разборки КНБК, замене долота, сборке КНБК и последующем спуске бурильного инструмента до забоя скважины.

Исходя из вышеизложенного, экономический эффект сокращения затрат времени на выполнение вспомогательных работ и спускоподъемных операций ($\mathcal{E}_2$) при применении долота [82], будет состоять из стоимости таких работ. В таблице 17 представлен ориентировочный расчет времени ($T_{\text{спо}}$) на производство данных работ при забуривании нового ствола скважины на глубине 2800 метров.

Таблица 17

Расчет затрат времени на выполнение вспомогательных и спускоподъемных операций
для замены долота

Наименование и характеристика работ	Объем работ	Единица измерения	Примечание
1 Подъем бурильных труб с глубины 2830 метров.	3,75	ч	§ 4, 62 (92)
2 Работа с КНБК (разборка УБТ, ВЗД).	0,96	ч	§ 22, 34 (92)
3 Замена долота.	0,23	ч	§ 6, 7 (92)
4 Работа с КНБК (сборка УБТ, ВЗД, проверка ВЗД).	1,43	ч	§ 12, 24, 33 (92)
5 Спуск бурильных труб до глубины 2830 метров.	2,97	ч	§ 2, 3, 62 (92)
ИТОГО	9,34	ч	

Таким образом, затраты времени на выполнение вспомогательных работ и спускоподъемных операций составят 9,34 часа или 0,39 суток.

Следовательно, экономический эффект сокращения затрат времени на выполнение вспомогательных работ и спускоподъемных операций ($\mathcal{E}_2$) при применении долота [82], составит:

$$\mathcal{E}_2 = T_{\text{спо}} \times \Pi_{\text{сут}}$$

$$\mathcal{E}_2 = 0,39 \times 904\,344,61 = 352\,694,40 \text{ рублей.}$$

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. Проведенный расчет экономического эффекта от внедрения технологии по забурированию нового направления из открытого ствола скважины с применением специально подготовленного долота [82] за счет сокращения затрат времени на производство работ по наработке уступа (Θ_1) и сокращения времени на производство вспомогательных работ и спускоподъемных операций (Θ_2) при осуществлении работ по забурированию с глубины 2800 метров, составит соответственно 1 243 473,84 и 352 694,40 рублей на одну операцию по забурированию нового ствола скважины.

2. Применение долота [82] экономически целесообразно при производстве работ по забурированию нового направления из открытого ствола скважины сложенного крепкими и твердыми горными породами с опорой на искусственный забой.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

Выполненные исследования являются законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная и практическая задача по исследованию и совершенствованию технологии и технических средств, применяемых для осуществления забуривания нового направления из открытого ствола скважины сложенного твердыми и крепкими горными породами с опорой на искусственный забой.

Основные выводы, рекомендации, научные и практические результаты диссертационного исследования заключаются в следующем.

1. Произведен обзор и анализ технических средств, применяемых инструментов и технологий для осуществления забуривания новых направлений из открытого ствола скважины сложенного крепкими горными породами с опорой на искусственный забой.

2. Разработано специальное долото, позволяющее производить забуривание нового направления в горных породах, твердость которых выше твердости материала искусственного моста, за счет нанесения легкоизнашиваемого покрытия на средний венец каждой шарошки долота и как следствие уменьшения скорости бурения по материалу искусственного забоя, за счет ограничения воздействия породоразрушающих элементов всего долота на забой, в то же время скорость фрезерования стенки скважины боковым вооружением ничем не ограничивается, что и обуславливает успешную наработку уступа и последующее забуривание бокового ствола скважины.

3. Разработана технология производства работ по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины с использованием специально доработанного долота [82]. Данная технология позволит значительно оптимизировать, а также повысить результативность и успешность проведения работ по забуриванию нового ствола скважины в горных породах высокой категории твердости.

4. Впервые приведено понятие коэффициент фрезерующей способности отклоняющей системы, учитывающий не только геометрические особенности долота, но и размеры применяемой компоновки и геометрические параметры сформированного ствола скважины.

5. Установлено, что при использовании отклоняющей системы, реализующей совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя за счет совпадающих по направлению действия данных процессов коэффициент фрезерующей способности отклоняющей системы будет максимальным. Соблюдение данных условий особенно важно при проведении работ по забурированию новых стволов в горных породах высокой твердости с искусственных забоев.

6. Искусственный забой применяемый для забурирования нового направления в породах высокой твердости и применяемый породоразрушающий инструмент для зарезания, должны быть подобраны таким образом, что бы **характер разрушения искусственного забоя, не соответствовал реализуемому характеру разрушения породоразрушающим инструментом** и обеспечивал выполнение превышения скорости фрезерования стенки скважины $V_{фр}$ над скоростью бурения материала искусственного забоя $V_б$, при соблюдении условия отсутствия нарушения целостности породоразрушающего инструмента во время разрушения материала искусственного забоя.

7. В результате применения технологии по забурированию нового направления в твердых и крепких горных породах с применением специально доработанного долота получается достигнуть оптимизации всего процесса производства работ за счет отсутствия ограничения режимов бурения при наработке уступа, исключения времени на дополнительные спуско-подъемные операции связанные с необходимостью замены применяемого зарезного долота на долото для дальнейшего углубления нового ствола. Углубление нового ствола скважины продолжается с использованием долота применяемого при осуществлении забурирования, с той разницей, что после осуществления зарезания

нового ствола, к моменту работы долота по горной породе, легко изнашиваемый материал, предварительно нанесенный на средний венец шарошек долота, полностью освободит долото, и не будет препятствовать разрушению горной породы при дальнейшем бурении.

Данная работа, как и всякая из числа подобных исследований, не лишена недостатков и упущений и, безусловно, не претендует на исчерпывающее освещение вопросов, связанных с совершенствованием технологии и применяемых технических средств для реализации забуривания новых направлений из открытого ствола скважины сложенного крепкими и твердыми горными породами с опорой на искусственный забой. В целях дальнейшего повышения эффективности процесса забуривания новых стволов с применением предлагаемого долота и внедрения в практику буровых работ, необходимо продолжить исследовательские и опытно-конструкторские работы в следующих направлениях:

- 1) продолжить исследования возможных вариантов применения легкоизнашиваемых материалов, наносимых на долото для ограничения породоразрушающего воздействия на материал искусственного забоя. Установить скорость износа применяемых материалов в зависимости от горных пород, в которых осуществляется забуривание. Провести лабораторные и практические исследования.
- 2) детально изучить вопрос скорости износа и разрушения дополнительного покрытия при работе как по материалу искусственного забоя, так и при работе по горной породе.
- 3) продолжить работу по подбору такого породоразрушающего инструмента и материала искусственного забоя, характер разрушения которых не будет соответствовать друг другу.
- 4) разработать математическую модель процесса разрушения и износа нанесенного на средний венец долота дополнительного покрытия при работе по различным горным породам и материалам искусственного забоя для анализа и

подбора материала дополнительного покрытия и определения высоты его покрытия на долото.

5) произвести испытания специально доработанного долота (74) на практике при проведении забуривания нового направления в горных породах высокой категории твердости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

- 1 А. с. 1086103 СССР, МПК E21B 7/06. Способ забуривания нового ствола скважин в заданном направлении / Ю.М. Гержберг, Б.А. Никитин, С.А. Дюсуше, Т.Г. Старцева, К.И. Скворцов. - № 3550322; заявл. 07.02.1983, опубл. 15.04.1984.
- 2 А. с. 1180486 СССР, МПК E21B 33/138 Состав для искусственного забоя скважины / Г.Б. Столпакова, Ю.Ф. Блохин. - № 3667467/22-03; Заявл. 26.10.1983, опубл. 23.09.1985. Бюл. № 35.
- 3 А. с. 1239250 СССР, МПК E21B 10/00, E21B 7/08. Буровое долото для забуривания нового ствола / Ю.М. Гержберг, С.А. Дюсуше, Т.Г. Старцева. - № 3761837/22-03; заявл. 03.07.1984; опубл. 23.06.1986, Бюл. № 23.
- 4 А. с. 1280104 СССР, МПК E21B 7/08. Способ создания направления для бурового снаряда в скважине / О.Ю. Бергштейн, М.А. Великосельский, М.И. Ворожбитов, И.Н. Гриневский. - № 3818347/22-03; заявл. 30.11.1984; опубл. 30.12.1986.
- 5 А. с. 142241 СССР, МПК E 21B 33/13. Способ забуривания нового ствола скважины в сторону / А.Д. Митяев. - № 720745/22-3; заявл. 08.03.1961, опубл. 26.01.1970, Бюл № 6.
- 6 А. с. 1627637 СССР, МПК E 21B 7/04. Устройство для забуривания дополнительного ствола скважины / В.Д. Куртов, К.Г. Аллахвердиев, Н.Р. Гаджиев. - № 4470641; заявл. 08.08.1988, опубл. 15.02.1991.
- 7 А. с. 1813871 СССР, МПК E21B 10/26. Буровое долото / В.В. Безумов, Н.Р. Раджиев. - № 14953781; заявл. 27.05.1991, опубл. 07.05.1993.
- 8 А. с. 386118 СССР, МПК E21B 7/08. Буровое долото / Я.М. Струс, Р.Д. Тычинский, И.Ф. Вовчанский, В.В. Квач, Г.В. Подколзин, В.В. Безумов. - № 1729512/22-3; заявл. 27.12.1971, опубл. 14.06.1973.

9 А. с. 956728 СССР, МПК Е 21В 7/08. Способ создания направления в скважине / И.П. Мельничук, А.К. Данилин, В.Г. Минашкин. - № 3211967/22-03; заявл. 28.10.1980, опубл. 07.09.1982. Бюл № 33.

10 Ахмад, Халил Хамад Повышение качества цементного моста для зарезки боковых стволов в твердых породах / Халил Хамад Ахмад, М.А. Мамедтагизаде. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2013. № 6. С. 15-17.

11 Ашрафьян, М.О. Технология разобщения пластов в осложненных условиях / М.О. Ашрафьян. - М.: Недра, 1989. - 228 с.

12 Басарыгин, Ю.М. Строительство наклонных и горизонтальных скважин / Ю.М. Басарыгин, В.Ф. Будников, А.И. Булатов, В.Г. Гераськин. - М.: Недра, 2000. - 261 с.

13 Басарыгин, Ю.П. Заканчивание скважин / Ю.П. Басарыгин, А.И. Булатов, Ю.М. Проселков. - М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. - 667 с.

14 Безумов, В.В. Влияние отклоняющей силы на энергетические параметры отклоняющей КНБК при забурировании вторых стволов забойными двигателями / В.В. Безумов, А.С. Оганов, Н.Р. Гаджиев // Нефтяное хозяйство. - 1991. - № 3. С. 30-32.

15 Блохин, Ю.Ф. Методические рекомендации по применению эпоксидных смол при бурении многоствольных скважин на месторождениях Сибири и Дальнего Востока. / Ю.Ф. Блохин, Г.Б. Столпакова, Ю.С. Костин и др. - Чита, ЗабНИИ, 1983. - 32 с.

16 Булатов, А.И. Буровые промывочные и тампонажные растворы в 2-х томах. Том 1 / А.И. Булатов, Е.Б. Проселков, Ю.М. Проселков. - Краснодар: Кубанский Государственный технологический университет, 2010. - 251 с.

17 Булатов, А.И. Буровые промывочные и тампонажные растворы в 2-х томах. Том 2 / А.И. Булатов, Е.Б. Проселков, Ю.М. Проселков. - Краснодар: Кубанский Государственный технологический университет, 2010. - 194 с.

18 Булатов, А.И. Буровые промывочные и тампонажные растворы: учебное пособие / А.И. Булатов, П.П. Макаренко, Ю.М. Проселков. - М.: Недра, 1999. - 424 с.

19 Булатов, А.И. Методы повышения и оценки качества тампонажных материалов и цементирования скважин: справочное руководство: в 3 томах. Том 1 / А.И. Булатов, Д.М. Чудновский. - Краснодар: ООО "Просвящение-Юг", 2004. - 410 с.

20 Булатов, А.И. Методы повышения и оценки качества тампонажных материалов и цементирования скважин: справочное руководство: в 3 томах. Том 2 / А.И. Булатов, Д.М. Чудновский. - Краснодар: ООО "Просвящение-Юг", 2004. - 350 с.

21 Булатов, А.И. Методы повышения и оценки качества тампонажных материалов и цементирования скважин: справочное руководство: в 3 томах. Том 3 / А.И. Булатов, Д.М. Чудновский. - Краснодар: ООО "Просвящение-Юг", 2004. - 382 с.

22 Булатов, А.И. Формирование и работа цементного камня в скважине / А.И. Булатов: М.: Издательство "Недра", 1990. - 409 с.

23 Вортников, В.Я. Упрочнение твердыми наплавочными сплавами вооружения шарошек буровых долот. Монография / В.Я. Вортников, Н.М. Гайдаш, Ю.А. Артеменко. - Курск, 2004. - 179 с.

24 Вудс, Г. Искривление скважин при бурении / Г. Вудс, А. Лубинский - М.: Гостоптехиздат, 1960. - 162 с.

25 Гаджиев, Н.Р. Разработка технологии и совершенствование отклоняющих систем для повышения эффективности забурирования вторых стволов скважин забойными двигателями: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.10 / Гаджиев Натик Рамиз оглы. - Москва, 1994. - 200 с.

26 Гержберг, Ю.М. Об исследовании вектора нагрузки на забой в условиях разбурирования анизотропных горных пород / Ю.М. Гержберг, Н.Г.

Середа // Технология бурения нефтяных и газовых скважин. Уфа. - 1984, С. 63-67.

27 Гержберг, Ю.М. Регулирование траектории и диаметра ствола скважины с помощью радиально-упругих устройств / Ю.М. Гержберг. - "Обзорная информация ВНИИОЭНГ", 1987. - 67 с.

28 Гилязов, Р.М. Бурение нефтяных скважин с боковыми стволами / Р.М. Гилязов: М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2002. - 255 с.

29 Гилязов, Р.М. Методика расчета цементных постов для забуривания боковых стволов / Р.М. Гилязов. // Бурение и нефть. 2003. № 3, С. 18-19.

30 Гилязов, Р.М. Совершенствование техники и технологии бурения боковых стволов: дис. ... канд. техн наук: 05.15.10 / Гилязов Раиль Масалимович. Уфа, 1999. - 140 с.

31 Гладков, В.И. Исследование и разработка технологии корректирования траектории и забуривания дополнительных стволов скважин в крепких породах: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.14 / Гладков Владимир Иванович. - Москва, 1993. - 176 с.

32 Групповой рабочий проект на строительство разведочных скважин №№ 51, 52 Собинской площади. Красноярск: ОАО "Газпром", ООО "Красноярскгаздобыча", ООО "Нефтегазсервис". 2006.

33 Дополнение к групповому рабочему проекта на строительство разведочных скважин №№ 51, 52 Собинской площади. Красноярск: ОАО "Газпром", ООО "Газпром добыча Красноярск", ООО "КрасноярскНИПИнефтегаз". 2009.

34 Дреус, А.Ю. Проблема определения контактной температуры при бурении скважин. Обзор / А.Ю. Дреус, А.А. Кожевников, А.К. Судаков, А.О. Еремин. // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна», 2014. Вип. 2 (21). С. 10-19.

35 Единые нормы времени на бурение скважин / ВНИИОЭНГ. Москва: Минэнерго РФ, 2000.

36 Еловых, П.Ф. Анализ и совершенствование технологии забуривания новых направлений в открытом стволе скважины с опорой на искусственный забой / П.Ф. Еловых, В.В. Нескоромных // Краснодар: Булатовские чтения. Материалы I Международной научно-практической конференции, 2017. Том 3: Строительство нефтяных и газовых скважин. С. 85-92.

37 Еловых, П.Ф. Анализ и совершенствование технологии забуривания новых направлений в открытом стволе скважины с опорой на искусственный забой / П.Ф. Еловых, В.В. Нескоромных. // Краснодар: Булатовские чтения. Материалы I Международной научно-практической конференции, 2017. Том 3: Строительство нефтяных и газовых скважин. 2017. С. 85-92.

38 Еловых, П.Ф. Обзор и анализ применяемых бесклиновых технологий по забуриванию новых направлений из открытого ствола скважины в твердых и крепких горных породах / П.Ф. Еловых, В.В. Нескоромных, В.Ф. Еловых // Строительство нефтяных и газовых скважин на нефть и газ. - 2020. № 3. С. 5-9.

39 Еловых, П.Ф. Определение коэффициента боковой фрезерующей способности отклоняющей системы при бурении наклонно-направленного ствола скважины / П.Ф. Еловых, В.В. Нескоромных // Инженер-нефтяник. - 2018. № 1. С. 11-14.

40 Еловых, П.Ф. Оптимизация и совершенствование технологии забуривания новых направлений в открытом стволе скважины с опорой на искусственный забой / П.Ф. Еловых, В.В. Нескоромных, П.Г. Петенёв. // Строительство нефтяных и газовых скважин на нефть и газ. - 2018. № 7. С. 8-13.

41 Еловых, П.Ф. Оценка применяемых искусственных забоев при осуществлении забуривания нового направления из необсаженного ствола скважины / П.Ф. Еловых, В.В. Несоромных // Краснодар: Булатовские чтения. Материалы II Международной научно-практической конференции, 2018. Том 3: Строительство нефтяных и газовых скважин. 2018. С. 113-118.

42 Еловых, П.Ф. Разработка технических и технологических приемов при осуществлении забуривания бокового ствола скважины в горных породах высокой категории твердости / П.Ф. Еловых, В.В. Нескоромных, В.Ф. Еловых. // Краснодар: Булатовские чтения. Материалы IV Международной научно-практической конференции, 2020. Том 3: Строительство нефтяных и газовых скважин. 2020. С. 81-87.

43 Еловых, П.Ф. Совершенствование технологии забуривания новых направлений в открытом стволе скважины с опорой на искусственный забой / П.Ф. Еловых, В.В. Нескоромных. // Инженер-нефтяник. - 2017. № 2. С. 19-23.

44 Жеребкин, А.И. Экспериментальный метод определения отклоняющей силы, возникающей при взаимодействии долота с наклонно-залегавшей анизотропной породой / А.И. Жеребкин // "Изв. Вузов. Нефть и газ", 1978. - № 1. С. 13-17.

45 Зиненко, В.П. Направленное бурение / В.П. Зиненко - М.: Недра, 1990. - 152 с.

46 Калинин, А.Г. Бурение нефтяных и газовых скважин. Учебное пособие / А.Г. Калинин. - Москва: ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. - 846 с.

47 Калинин, А.Г. Бурение наклонных скважин. Справочник / А.Г. Калинин, Н.А. Григорян, Б.З. Султанов. - М.: Недра, 1990. - 348 с.

48 Калинин, А.Г. Естественное и искусственное искривление скважин: Учебное пособие для вузов /А.Г. Калинин, В.В. Кульчицкий - Москва-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика"; Институт компьютерных исследований, 2006. - 640 с.

- 49 Калинин, А.Г. Искривление скважин / А.Г. Калинин - М.: Недра, 1974. - 294 с.
- 50 Калинин, А.Г. Профили направленных скважин и компоновки низа бурильных колонн / А.Г. Калинин, Б.А. Никитин, К.М. Солодкий, А.С. Повалихин. - Москва: Недра, 1995. - 305 с.
- 51 Карасев, Д.В. Особенности ликвидации аварий и осложнений методом забуривания нового ствола при сверхглубоком бурении / Д.В. Карасев, Н.Е. Щербинина, И.С. Хопта // Нефтегазовое дело. - 2018. № 1. С. 110-114.
- 52 Колесников, А.Е. Искривление скважин / А.Е. Колесников, Н.Я. Мелентьев - М.: Недра, 1979. - 176 с.
- 53 Костин, Ю.С. Основные вопросы теории и практики искусственного искривления скважин: дис. ... доктора технических наук: 25.00.14 / Костин Юрий Сергеевич. Томск., 2001. - 185 с.
- 54 Костин, Ю.С. Современные методы и технологии по управлению траекториями геологоразведочных скважин / Ю.С. Костин, Ю.Г. Соловьев, В.В. Нескормных. - Чита: ООО «Издательский дом «Ресурсы Забайкалья», 2004. - 352 с.
- 55 Костин, Ю.С. Современные методы направленного бурения скважин / Ю.С. Костин. - Москва: Недра, 1981. - 152 с.
- 56 Кривошеев, В.В. Искривление скважин в анизотропных породах / В.В. Кривошеев - Томск: НТЛ, 1999. - 240 с.
- 57 Кривошеев, В.В. Направленное бурение / В.В. Кривошеев - Томск: ТЛИ, 1991. - 91 с.
- 58 Курочкин, Б.М. Особенности забуривания вторых стволов с цементного моста / Б.М. Курочкин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и море. - 2009. - №12. - С. 27-29.

59 Мамедов, Н.Г. Современные технические средства для резки нового ствола глубоких скважин малого диаметра на шельфе / Н.Г. Мамедов., К.А. Ибрагимов, О.К. Абасов. ВНИИЭГазпром, 1984. - 43 с.

60 Межотраслевые нормы времени на капитальный ремонт скважин / ВНИИОЭНГ. Москва: Минэнерго РФ, 2000.

61 Мельничук, И.П. Бурение направленных и многоствольных скважин / И.П. Мельничук. - М.: Недра, 1991. - 221 с.

62 Морозов, Ю.Т. Бурение направленных и многоствольных скважин малого диаметра / Ю.Т. Морозов. - М.: Недра, 1987. - 221 с.

63 Морозов, Ю.Т. Методика и техника направленного бурения скважин на твердые полезные ископаемые / Ю.Т. Морозов.- М.: Недра, 1987. - 221 с.

64 Музапаров, М.Ж. Направленное бурение: Учебник. - Том 1. Бесклиновая технология / М.Ж. Музапаров. - Алматы: КазНТУ, 2001. - 205 с.

65 Музапаров, М.Ж. Направленное бурение: Учебник. - Том 2. Безориентированная технология. Роторное бурение / М.Ж. Музапаров. - Алматы: КазНТУ, 2005. - 209 с.

66 Музапаров, М.Ж. Направленное бурение: Учебник. - Том 3. Безориентированная технология. Бурение винтовыми забойными двигателями / М.Ж. Музапаров. - Алматы: КазНТУ, 2005. - 204 с.

67 Нескоромных, В.В. Анализ процесса разрушения анизотропной горной породы шарошечными долотами / В.В. Нескоромных. // Известия томского политехнического университета, инжиниринг георесурсов. Издательство: Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), 2015. № 2. - С. 80-89.

68 Нескоромных, В.В. Искривление скважин в анизатропных горных породах: Монография / Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. - 204 с.

69 Нескоромных, В.В. Методы и средства бесклинового забуривания дополнительных стволов скважин с искусственных забоев / В.В. Нескоромных. - М: Геоинформмарк, 1993. - 53 с.

70 Нескоромных, В.В. Направленное бурение и основы кернометрии: Учебник / В.В. Нескоромных. - М.: "Инфра-М", 2015. - 328 с.

71 Нескоромных, В.В. Направленное бурение нефтяных и газовых скважин // В.В. Нескоромных. - М.: "Инфра-М", 2019. - 347 с.

72 Нескоромных, В.В. Направленное бурение. Бурение горизонтальных и многозабойных скважин / В.В. Нескоромных. - Красноярск: Сиб. федер. Ун-т, 2020. - 410 с.

73 Нескоромных, В.В. Направленное бурение: учебное пособие / В.В. Нескоромных, А.Г. Калинин. - Москва: ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. - 384 с.

74 Нескоромных, В.В. Новые направления в технологии забуривания бокового ствола с искусственного забоя в не обсаженном интервале / В.В. Нескоромных, М.А. Тряпичкин. // Инженер-нефтяник. – 2015. № 3. - С. 38-41.

75 Нескоромных, В.В. Основные направления совершенствования технологии искусственного искривления скважин в твердых и крепких горных породах / В.В. Нескоромных, П.С. Пушмин, А.А. Надеяев, Л.С. Фадеева // Известия сибирского отделения РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Издательство: Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет (Иркутск). – 2008. № 6. С. 186-190.

76 Нескоромных, В.В. Основы техники, технологии и безопасности буровых работ / В.В. Нескоромных, Р.Х. Мусин. - Иркутск: ИрГТУ, 2010. - 36 с.

77 Нескоромных, В.В. Разработка технологий и средств забуривания дополнительных стволов скважин с искусственного забоя отклонителями непрерывного действия в твердых и очень твердых горных породах / В.В.

Нескоромных, Д.В. Лысаков. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. № 63(2). С. 86-94.

78 Нескоромных, В.В. Разрушение горных пород при бурении скважин. Учебное пособие / В.В. Нескоромных. - М.: "Инфра-М", 2015. - 336 с.

79 Нескоромных, В.В. Совершенствование технологии забуривания дополнительных стволов скважин в твердых и очень твердых горных породах отклонителями непрерывного действия / В.В. Нескоромных, А.Д. Елисеев, А.В. Гринчук, А.А. Надеяев. // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений, Т. 34. - 2009. С. 154-159.

80 Никитин, Б.А. Научные основы разработки и реализации технологии строительства наклонно-направленных и горизонтальных скважин: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.15.10 / Никитин Борис Александрович. НПО "Бурение". - Краснодар, 1996. - 87 с.

81 Оганов, А.С. Научно-методические основы технологии бурения наклонно направленных и горизонтальных скважин: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.15.10 / Оганов Александр Срегеевич. НПО "Буровая техника", Краснодар, 1998. - 55 с.

82 Пат. на полез. модель 178915 Рос. Федерация, МПК E21B 10/16. Долото для забуривания нового направления ствола скважины с искусственного забоя / В.В. Нескоромных, П.Г. Петенёв, П.Ф. Еловых; патентообладатель ФГАОУ ВО "Сибирский федер. ун-т". - № 2017143959; заявл. 14.12.2017; опубл. 23.04.2018, Бюл. № 12.

83 Пат. РФ. № 2181425, E21B 7/06. Способ бурения дополнительного ствола из обсаженной эксплуатационной скважины / З.Ф. Гилязетдинов, Б.М. Курочкин, Р.Х. Муслимов, А.И. Поваляев, К.М. Солодкий, Р.Г. Фархутдинов, И.Г. Юсупов. - заяв. 28.03.1997 г. Опубл. 20.04.2002 г.

84 Пат. РФ. № 2434923, МПК C09K 8/467. Тампонажный состав для установки зарезных опорных мостов / О.Г. Кузнецова, Ю.В. Фефелов, О.А. Чугаева и др. - заяв. 09.03.2010, опубл. 27.11.2011. Патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью "ЛУКОЙЛ-Инжиниринг" (ООО "ЛУКОЙЛ-Инжиниринг")

85 Повалихин, А.С. Разработка метода проектирования отклонителей и компоновок низа бурильной колонны для наклонного и горизонтального бурения: Автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.15.14 / Повалихин Александр Степанович. Москва, 1998. - 30 с.

86 Повалихин, А.С. Управление проводкой наклонных и горизонтальных скважин в сложных горно-геологических условиях бурения: дис. ... доктора технических наук: 25.00.14 / Повалихин Александр Степанович. Москва: Рос. гос. геологоразведоч. ун-т им. С. Орджоникидзе (РГГРУ), 2007. - 447 с.

87 Пустовойтенко, И.П. Предупреждение и ликвидация аварий в бурении. 3-е изд., перераб. и доп. / И.П. Пустовойтенко. - М.: Недра, 1988. - 279 с.

88 РД 08-625-03 Инструкция по безопасности производства работ при восстановлении бездействующих нефтегазовых скважин методом строительства дополнительного наклонно-направленного или горизонтального ствола скважины. Москва : НТЦ "Промышленная безопасность", 2009.

89 РД 39-0148052-550-88 "Инструкция по забуриванию дополнительного ствола из обсаженной эксплуатационной скважины" / В.А. Федорычев, П.Ф. Пашковский, Л.Д. Кашина, В.В. Безумов, А.С. Повалихин и др., 1988 г.

90 Страбыкин, И.Н. Забуривание дополнительных стволов скважин с искусственных забоев. И.Н.Страбыкин, Г.М. Компанцева. - М.:ВИЭМС, 1981. С. 7-16.

91 Страбыкин, И.Н. Инструкция по технологии создания искусственных мостов и забуривания с них дополнительных стволов // И.Н. Страбыкин. МГ РСФСР, 1984. - 18 с.

92 Страбыкин, И.Н. Исследование процесса искривления скважин скользящими снарядами направленного бурения: дис. ... кандидата технических наук: 05.00.00 / Страбыкин Игорь Николаевич. Алма-Ата: Моск. геол.-развед. ин-т им. С. Орджоникидзе, 1967. - 217 с.

93 Сулакшин, С.С. Закономерности и направленное бурение геологоразведочных скважин / С.С. Сулакшин. - М.: Недра, 1966. - 293 с.

94 Сулакшин, С.С. Направленное бурение / С.С. Сулакшин. - М. : Недра, 1987. - 272 с.

95 Фикрет, Сеид-Рза оглы Разработка технологии с целью повышения эффективности зарезки новых стволов на больших глубинах: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.10 / Фикрет, Сеид-Рза оглы. - Баку. 1984. - 155 с.

96 API Spec 7, Rotary Drill Stem Elements.

97 Archimed spiral drill bit: United States Patent № 3951220: Int. Classification E21B 9/16, E21B 9/36 / E.L. Phillips Jr., J.D. Carrigan. - Appl. No. 5/498747; filed Aug. 19, 1974; publ. Apr. 20, 1976.