



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»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2021

Работа выполнена на кафедре технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет».

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор,  
*Нескоромных Вячеслав Васильевич*

**Официальные оппоненты:** **Двойников Михаил Владимирович**  
доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой бурения скважин ФГБОУ ВО «Санкт-  
Петербургский горный университет».

**Сверкунов Сергей Александрович**  
кандидат технических наук, заместитель главного  
технолога Иркутского филиала  
ООО "РН-Бурение"

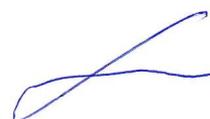
**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Иркутский национальный  
исследовательский технический университет»,  
(ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск)

Защита диссертации состоится «25» марта 2021 г. в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д212.121.09 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, зал диссертационных советов (каб. 4-73).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23) и на сайте: <https://www.mgri.ru/science/scientific-and-innovative-activity/dissertation-council/diss-212-121-09/>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., профессор



М.В. Меркулов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность.**

При осуществлении работ по бурению геологоразведочных скважин, забуривание новых стволов из уже пробуренного ствола скважины находит свое применение при осуществлении работ по бурению 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. 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.

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 при проведении работ по забуриванию 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 забуриванию нового направления из открытого ствола скважины, позволяющего произвести забуривание 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 забуривания, 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 забуриванию нового направления из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой.

**Предмет исследования:** процесс проведения работ по забуриванию 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 забуриванию нового ствола скважины из открытого ствола;
- обзор и анализ опыта производства работ по забуриванию новых стволов скважины в горных породах высокой категории твердости;
- анализ современных технических средств для проведения операций по резанию 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.** 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 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.

**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 долота 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.

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

### **Содержание работы**

**Во введении** производится общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность, определяется цель, идея, задачи, излагаются защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** приведен обзор и анализ технологий, технических средств и породоразрушающего инструмента применяемых для осуществления забуривания новых направлений из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой.

Проведен анализ проведения работ по забуриванию новых направлений из открытого ствола скважины с опорой на искусственный забой на скважинах Восточной Сибири (Красноярский край, Иркутская область). Определено, что большие затраты времени уходят при производстве работ по наработке уступа с применением ограниченных режимов бурения.

Сформулированы основные направления дальнейших исследований по разработке технических средств и технологий для повышения эффективности

производства работ по забуриванию новых направлений ствола скважины из необсаженного ствола с опорой на искусственный забой в твердых и крепких горных породах.

**Во второй главе** описаны теоретические исследования процесса забуривания новых направлений в открытом стволе скважины с искусственного забоя.

Сформулирован комплекс условий успешного формирования уступа в стенке скважины при осуществлении забуривания с искусственного забоя, который можно представить в следующем виде:

$$(+\gamma \rightarrow \max; P_{от} \rightarrow \max; F_{сц} \rightarrow \max; P_{ос} \rightarrow \min.)$$

$+\gamma$  - угол встречи бурового инструмента со стенкой скважины;

$P_{от}$  - отклоняющая сила со стороны отклонителя;

$F_{сц}$  – сила сцепления торца бурового инструмента с забоем;

$P_{ос}$  - осевое усилие на инструмент.

**В третьей главе** описана разработка и совершенствование породоразрушающего инструмента, применяемого при осуществлении работ по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины с искусственного забоя.

Представлено поэтапное описание технологии по забуриванию нового ствола скважины с искусственного забоя, с применением специально доработанного долота.

Приведено описание практических работ с применением долот с запаянным торцевым вооружением при производстве работ по забуриванию новых направлений в твердых и крепких породах.

**В четвертой главе** произведен расчет экономического эффекта за счет применения специально подготовленного долота при производстве работ по забуриванию дополнительного ствола, для повышения эффективности работ по забуриванию и снижению затрат времени на данную технологическую операцию.

Расчет экономического эффекта показал, что применение специально подготовленного долота экономически целесообразно при производстве работ по забуриванию нового направления из открытого ствола скважины сложенного крепкими и твердыми горными породами с опорой на искусственный забой.

**Первое защищаемое положение: 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).**

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.

Специфика процесса забуривания нового ствола с искусственного забоя состоит в том, что существует начальный период формирования направления дополнительного ствола, который имеет наиболее сложный характер и состоит в **образовании уступа в стенке скважины**. Условия работы отклонителя при этом носят экстремальный характер, косвенным подтверждением чего является повышение затрат мощности на бурение. После наработки и образования уступа на определенную ширину процесс искривления практически мало отличается от обычного процесса искусственного искривления. Таким образом процесс образования уступа при забуривании нового ствола скважины является очень важным и оказывает наибольшее влияние на успешность всей операции по забуриванию.

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. Это соответствует условиям исследования процесса искривления скважин при углах встречи с напластованием горных пород различной твердости меньше критических величин. Условия этой задачи (рис.1) 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:

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

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  $P_T^B$ ,  $P_M^B$  и горизонтальные  $P_T^G$ ,  $P_M^G$  составляющие, обеспечивающие искривление в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Для этих реакций будет справедливо отношение

$$\frac{P_T^B}{P_M^B} = \frac{P_T^G}{P_M^G} = K, \quad (2)$$

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  $P_{ос}$ , 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  $P_T^G$  и  $P_M^G$  напротив значительны в начальный момент формирования уступа и их

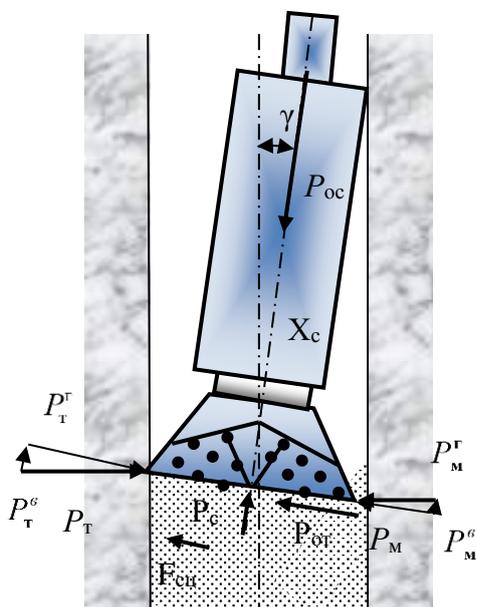


Рис. 1. Схема для определения условий образования уступа в стенке скважины.

влияние является основным. Реакции  $P_T^r$  и  $P_M^r$  определим по формулам, приведенным в работах В.В. Нескоромных:

$$P_T^r = \frac{P_{oc}K}{(1+K)tg\gamma}, \quad (3)$$

$$P_M^r = \frac{P_{oc}}{(1+K)tg\gamma}, \quad (4),$$

где  $\gamma$  – 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.

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

$$P_{oc}sin\gamma + P_{от} + P_M^r + F_{сц} \geq P_T^r, \quad (5)$$

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

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

Решение уравнения (5) позволяет найти значение отклоняющего усилия со стороны стенки скважины:

$$P_{гп} = \frac{P_{oc}(K-1)}{(K+1)tg\gamma} - H_M\mu_M S_{п}, \quad (6)$$

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

$$K = \frac{P_{oc} + (P_{от} + H_M\mu_M S_{п} + P_{oc}sin\gamma)tg\gamma}{P_{oc} - (P_{от} + H_M\mu_M S_{п} + P_{oc}sin\gamma)tg\gamma}, \quad (7)$$

где  $\mu_M$  – коэффициент трения торца бурового инструмента о забой;  $S_{п}$  – площадь породоразрушающих элементов бурового инструмента, опирающихся на забой, м<sup>2</sup>.

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

Из формулы (7) следует, что значительное влияние на процесс забуривания уступа оказывает угол между стенкой скважины и осью бурового инструмента  $\gamma$ , величина отклоняющего усилия со стороны отклонителя и сила сцепления торца 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 (Нескоромных В.В.):

$$(+\gamma \rightarrow \max; P_{от} \rightarrow \max; F_{сц} \rightarrow \max; P_{oc} \rightarrow \min.), \quad (8).$$

Графическое решение уравнения (5) позволяет подчеркнуть необходимость образования уступа в стенке скважины, как неперемного условия приведения действующих сил к равновесию и соответственно успешного забуривания нового

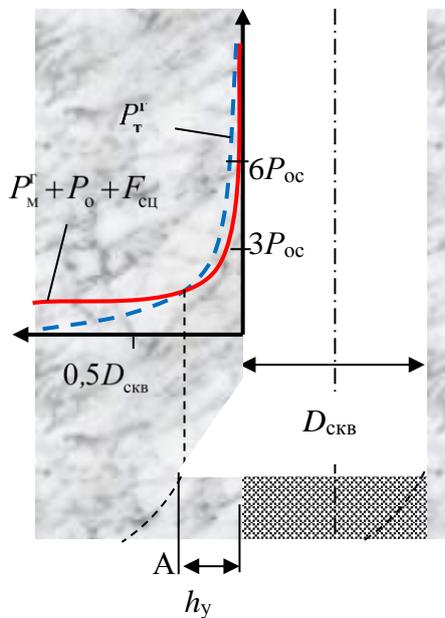


Рис. 2. Графическое решение уравнения равновесия сил при забурировании, определяющее ширину уступа  $h_y$

направления ствола. Как следует из схемы на рис. 2 равновесие сил наступает только при внедрении бурового инструмента на некоторый интервал в стенку скважины (точка А). Этот интервал, как видно из рис. 2, 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.

Как показывает проведенный анализ изучения научно-технической, информационной и патентной литературы, а также фактический накопленный опыт проведения работ по осуществлению забурирования новых стволов, 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 забурировании нового направления ствола скважины;
- Повышение коэффициента фрезерования применяемого долота;
- Увеличение угла встречи торцевой части долота с искусственным забоем;
- Обеспечение наличия на долоте достаточной отклоняющей силы для фрезерования стенки скважины;
- Обеспечение азимутального ориентирования компоновки при производстве работ по наработке уступа;

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, как показано выше, должна составлять как минимум 0,2-0,25 диаметра торца бурового инструмента.

При производстве работ по забуриванию 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 забуривания, 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 забуривание нового направления без ограничения нагрузки на породоразрушающий инструмент.

Для обеспечения таких условий предлагается следующее долото. 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.

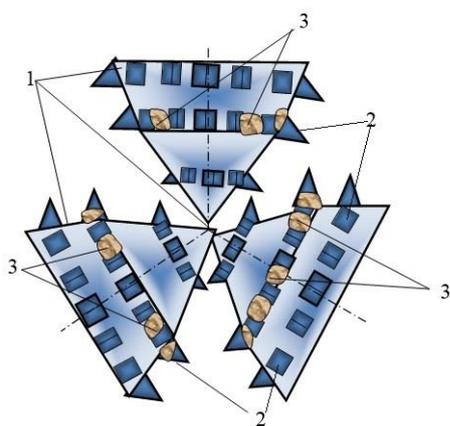


Рис. 3. Схема долота, подготовленного для забуривания, путем частичного нанесения изнашиваемого материала на средний венец всех шарошек долота.

Предлагаемое долото (рис. 3) 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.

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:

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.

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.

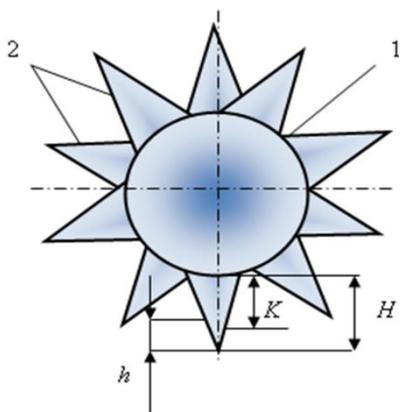


Рис. 4. Схема показывающая определение толщины покрытия легко изнашиваемого материала между породоразрушающими элементами.

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 наплавляемым металлом определяется из предлагаемого соотношения  $K=H \cdot N \cdot h$  (рис. 4),

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  $h_3$ .

В данном случае ограничивая глубину внедрения породоразрушающих элементов в требуемых для снижения механической скорости бурения пределах, удается точно установить ограничение механической скорости и определить

вероятное значение интенсивности искривления. Кроме этого достигается повышение эффективности работы долота за счет минимизация 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 следующего предлагаемого выражения:

$$V_6 = \omega_{ш} h_6 N Z_{ш}^c, \quad (9)$$

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:

$$V_{фр} = \omega_{ш} h_{ф} N Z_{ш}^{\phi}, \quad (10)$$

где  $h_{ф}$  – 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:

$$\frac{V_{фр}}{V_6} = \frac{h_{ф} Z_{ш}^{\phi}}{h_6 Z_{ш}^c} \geq 1, \quad (11)$$

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 забурировании нового направления ствола скважины с искусственного моста. Это следует из формул (9, 10 и 11).

Для расчета значений  $h_6$  в представленных зависимостях (9) и (11) могут использоваться формулы из работы В.В. Нескоромных (Разрушение горных пород при бурении скважин. / Учеб. пособие: «Инфра-М», Москва, 2015 г., стр. 57-62):

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

$$h_6 = r - \sqrt{r^2 - \frac{P}{\pi p_{из}(1 + \tan \varphi)}}, \quad (12)$$

где  $r$  – радиус сферического породоразрушающего элемента, м;

$P$  – осевая нагрузка на породоразрушающий элемент, Н.

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

$\varphi$  – угол внутреннего трения, град.

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

$$h_6 = \frac{P}{2\rho_{из} l \tan \psi (\mu \cos \psi + \sin \psi)(1 + \tan \varphi)}, \quad (13)$$

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

$\psi$  – половина угла приострения конусного породоразрушающего элемента (индентора), град;

$\mu$  – коэффициент трения резца о материал искусственного забоя;

При применении долота с породоразрушающими торцевыми элементами трапецевидальной формы, для расчета глубины внедрения породоразрушающих элементов применяется формула:

$$h_6 = \frac{P - bl\rho_{из}(1 + \tan \varphi)}{2\rho_{из}l \tan \psi / (\mu \cos \psi + \sin \psi)(1 + \tan \varphi)}, \quad (14)$$

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

Таким образом, воспользовавшись формулами (11, 12, 13, 14), 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.

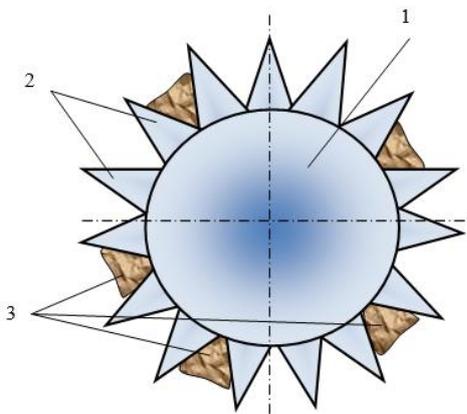


Рис. 5. Схема показывающая нанесение легко изнашиваемого материала между породоразрушающими элементами среднего венца шарошки в разрезе

Предлагаемое долото работает следующим образом (рис. 3, 5). 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 и крепких горных породах, снижению затрат времени на проведение дополнительных спускоподъемных операций, связанных с необходимостью замены резного долота на долото для дальнейшего бурения.

Для реализации вышеизложенной технологии усовершенствования забуривания предложено долото для забуривания нового направления ствола скважины с искусственного забоя, защищенное патентом на полезную модель № 178915 и заявкой на патент № 2017143959.

**Второе защищаемое положение: 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.**

При проведении технологической операции по забуриванию нового ствола в горных породах высокой категории твердости, сложность и технологические требования к производству таких работ возрастает, в связи с увеличением отношения прочности горной породы по отношению к прочности материала искусственного забоя и как следствие усложнение условий забуривания.

В настоящее время основные научно-практические исследования, позволяющие обеспечить повышение эффективности производства работ по осуществлению зарезания новых направлений из открытого ствола скважины с применением бесклиновых технологий в горных породах высокой категории твердости, в части применяемых материалов для создания искусственных забоев, ведутся в части создания искусственных забоев высокой твердости, которая должна быть выше или близка к твердости горных пород, слагающих стенки скважины в интервале забуривания.

К материалам, применяемым для создания искусственных забоев, можно сформулировать следующие требования, направленные на интенсификацию процесса забуривания:

- сформированный искусственный забой должен обладать высокой адгезией с горной породой, для исключения смещения искусственного забоя в процессе забуривания нового направления;
- 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.

В тоже время, анализируя применяемый породоразрушающий инструмент для производства работ по забуриванию 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:

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

Учитывая требования к повышению твердости искусственного забоя, направленное на снижение скорости его разрушения, применяемым породоразрушающим инструментом, при осуществлении наработки уступа, а также требования к инструменту, направленное на повышение скорости фрезерования и снижение скорости углубления в материал искусственного забоя, можно сформулировать общее требование к используемой для осуществления забуривания нового ствола паре: долото и искусственный забой.

**Необходимо обеспечить применение такой пары материала искусственного забоя и породоразрушающего инструмента, которые будут не соответствовать друг другу по реализуемому породоразрушающим инструментом и принимаемому материалом искусственного забоя характером разрушения, например, при применении шарошечных долот дробяще-скалывающего действия, необходимо применение искусственного забоя с повышением упруго-пластичных характеристик, которые будут препятствовать разрушению искусственного забоя.**

Так, при осуществлении забуривания с применением трехшарошечного долота для крепких пород типа ТЗ и ОК с агрессивным фрезерующим вооружением, можно использовать в качестве материала искусственного забоя, например, ствол листового дерева длиной до 5 метров и диаметром на 5-10 мм меньшим, чем номинальный диаметр ствола скважины и погруженного в отверждаемую смесь.

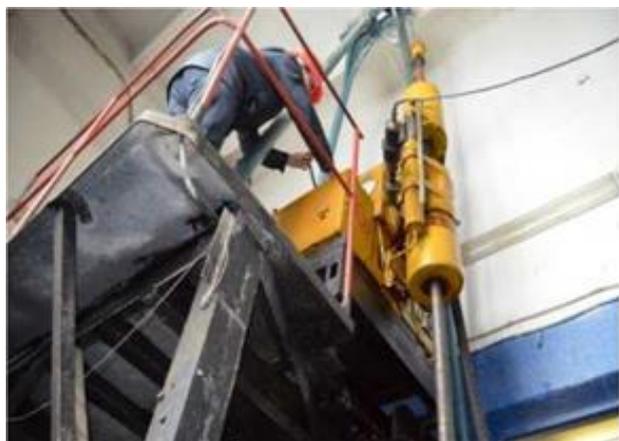


Рис. 6. Экспериментальный стенд на базе станка СКБ-4.

Для получения достоверных данных о скорости бурения при разбуривании деревянной пробки различными долотами был осуществлен следующий эксперимент. Опытное бурение осуществлялось на буровом стенде, который оборудован буровым станком СКБ-4 (рис. 6) 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  $P_{ос} = 1000$  даН, частота вращения  $\omega = 280$  мин<sup>-1</sup>, 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 1.

Таблица 1.  
Результаты замера механической скорости при бурении деревянной пробки

№п/п	Применяемое долото	Осевая нагрузка, даН	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	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. Данный опыт показывает, что при использовании деревянной пробки в качестве искусственного забоя и трехшарошечного долота с вооружением типа К или алмазного долота, в качестве резального 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 забуриванию нового ствола скважины с искусственного забоя в необсаженном стволе скважины.

К искусственному забоя, 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:  $V_{\text{фр}}/V_{\text{б}} > 1$ ;

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 породоразрушающим забурочным инструментом не должен способствовать разрушению либо нарушению целостности последнего.

**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).**

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

- Реализующие асимметричное разрушение забоя, вследствие перекоса породоразрушающего инструмента (отклонители на базе турбобуров (винтовых забойных двигателей) 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

$$i_a = \frac{57,3(D_c - d_k)}{l^2}, \quad (15)$$

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:

$$i_{\phi} = \frac{57,3V_{\phi}}{V_{\phi}L_{\text{ж}}}, \quad (16)$$

где  $V_{\phi}$  – скорость фрезерования стенки скважины под действием отклоняющего усилия, м/ч;  $V_{\phi}$  – 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 (15), (16) может определяться по зависимости:

$$i_{\phi-a} = 57,3 \left( \frac{V_{\phi}}{V_{\phi}L_{\text{ж}}} - \frac{D_c - d_k}{l^2} \right), \quad (17)$$

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

$$i_{\phi+a} = 57,3 \left( \frac{V_{\phi}}{V_{\phi}L_{\text{ж}}} + \frac{D_c - d_k}{l^2} \right), \quad (18)$$

Как следует из формул (17) и (18), 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 в работах Калинина А.Г. и Нескоромных В.В., 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.

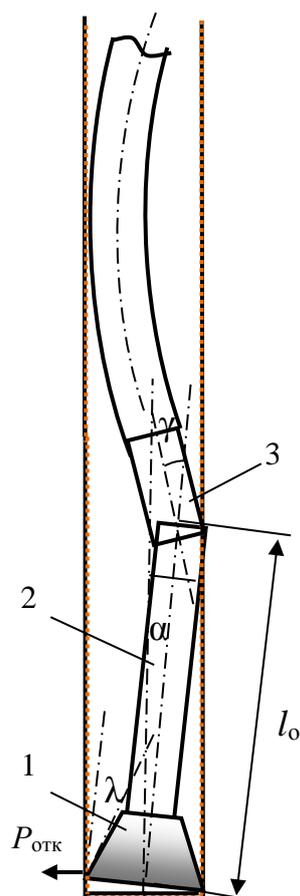


Рис 7. Схема, поясняющая определение  $K_{фс}$  для системы, реализующей совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя в одном направлении: 1 – долото; 2 – забойный двигатель; 3 – кривой переводник.

При забуривании нового направления с искусственного забоя представляется важным обеспечение максимального коэффициента боковой фрезерующей способности отклоняющей системы определяемой суммой тангенсов, угла, 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 забуриванию 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 компоновок низа бурильной колонны с забойным двигателем и установленным кривым переводником с постоянным углом перекоса  $\gamma$  (рис. 7).

Коэффициент фрезерующей способности данной отклоняющей системы, учитывая, что искривление ствола скважины будет вестись под действием как фрезерования стенки скважины, так и за счет асимметричного разрушения забоя, учитывая увеличение угла  $\lambda$  (угол определяющий коэффициент фрезерования) на величину угла  $\alpha$ , который характеризует угол между центральной осью скважины и центральной осью долота, предлагается определить по следующей формуле:

$$K_{фс} = tg(\lambda + \alpha), \quad (19)$$

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

$$\alpha = tg\alpha = \frac{D_d - d_o}{l_o}, \quad (20)$$

где  $D_d$  – диаметр долота, м;  $d_o$  – диаметр отклонителя, м;  $l_o$  – 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.

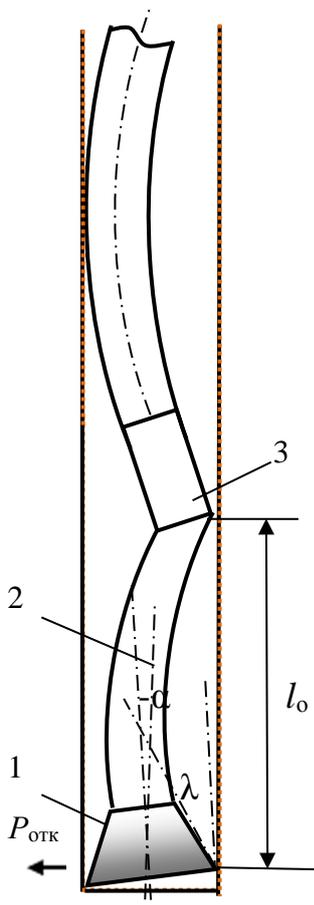


Рис 8. Схема, поясняющая определение  $K_{фс}$  для системы, реализующей совместное фрезерование стенки скважины и асимметричное разрушение забоя в противоположных направлениях: 1 – долото; 2 – забойный двигатель; 3 – кривой переводник.

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

$$K_{фс} = K_{фд}, \quad (21)$$

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. 8).

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

$$K_{фс} = tg(\lambda - \alpha), \quad (22)$$

Таким образом, при применении такой компоновки, коэффициент фрезерования отклоняющей системы уменьшится на величину тангенса угла  $\alpha$ .

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).

### Основные выводы и рекомендации

Выполненные исследования являются законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная и практическая задача по 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 сложенными твердыми и 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. Данная технология позволит значительно повысить эффективность 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 забуриванию новых стволов в горных породах высокой твердости с искусственных забоев.

6. Искусственный забой применяемый для забуривания нового направления в породах высокой твердости и применяемый породоразрушающий инструмент для резания, должны быть подобраны таким образом, чтобы характер разрушения искусственного забоя кардинально 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 забуриванию 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 спускоподъемные 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.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации:

1. **Еловых, П.Ф.** Совершенствование технологии забуривания новых направлений в открытом стволе скважины с опорой на искусственный забой / П.Ф. Еловых, В.В. Нескоромных, П.Г. Петенёв // Инженер-нефтяник. - 2017. № 2. С. 19-24.

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

3. **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 суше и на море. - 2018. № 7. С. 8-13.

4. **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 суше и на море. - 2020. № 3 (327). С. 5-9.

### Патенты:

5. 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 федеральный университет". - № 2017143959; заявлено 14.12.2017; опубликовано 23.04.2018, Бюллетень № 12.

### Статьи в прочих изданиях:

6. **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.

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

8. **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.