

На правах рукописи

Гимазтдинова Эльвира Азатовна



**ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ
РЕШЕНИЯ ДЛЯ БУРЕНИЯ НА ОБСАДНОЙ КОЛОННЕ
С НЕИЗВЛЕКАЕМЫМ ДОЛОТОМ-БАШМАКОМ**

*Специальность 2.8.2. Технология бурения и освоения
скважин*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2023

Диссертация выполнена в государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт».

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Хузина Лилия Булатовна

Официальные оппоненты:

Долгушин Владимир Вениаминович

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», многопрофильный колледж, директор;

Гельфгат Михаил Яковлевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», кафедра бурения нефтяных и газовых скважин, профессор.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», г. Самара.

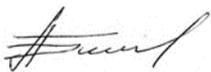
Защита диссертации состоится **3 октября 2023 г. в 13:30** на заседании диссертационного совета ГУ.10 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 3 августа 2023 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

диссертационного совета



БЛИНОВ

Павел Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Доля разведочного и эксплуатационного бурения нефтегазовых скважин составляет значительную долю рынка нефтесервисных услуг, поэтому новые технологические решения в бурении определяют перспективы развития нефтегазового рынка в целом.

Особую роль играют горно-геологические условия бурения нефтегазовых скважин, характеризующиеся проблемами неустойчивости стенок скважины, возникающими осложнениями в виде прихватов бурильной колонны, осыпей, обвалов и поглощений, что стимулирует постоянный поиск эффективных технологических решений для их устранения.

Технология бурения нефтегазовых скважин на обсадной колонне является одним из способов строительства скважин, позволяющих повысить эффективность работ в сложных горно-геологических условиях. Наиболее известны два вида технологии бурения нефтяных и газовых скважин на обсадной колонне: с извлекаемой и неизвлекаемой компоновкой. При неизвлекаемой компоновке применяют два типа долот-башмаков с вооружением типа "PDC" - разбуриваемые и с раздвигаемыми лопастями (ДБРЛ). Использование разбуриваемых долот имеет ограничения по ресурсу долота и этот тип долота-башмака в основном применяют в мягких породах с пропластками средних. ДБРЛ более сложны по конструкции, однако их применение не ограничено твердостью и абразивностью пород, что актуально для месторождений Татарстана. Неизвлекаемое долото для бурения на обсадной колонне – это недорогое решение для развития технологии, необходимой для повышения эффективности строительства скважин в сложных геологических условиях. Технология бурения на обсадной колонне с ДБРЛ связана с рядом нерешенных технологических проблем, обусловленных преждевременным раскрытием лопастей или их нераскрытием. Исходя из этого возникает необходимость в ее

дальнейшем совершенствовании и повышении надежности ДБРЛ.

Степень разработанности темы исследования

Разработке и исследованиям в области технологии бурения нефтегазовых скважин на обсадной колонне посвящены работы ученых и инженеров: Абдрахманова Г.С., Андреева Н.Л., Асеевой А.Е., Аликина Р.С., Баршая Г.С., Гельфгат М.Я., Ишбаева Г.Г., Индрупского Д.И., Михайличенко А.В., а также зарубежных авторов Dewey C., Swadi C., Alsup S., Desai P., William W. King, Cesar Leon и др. Таким образом, исследования в области разработки эффективных технологий бурения нефтегазовых скважин на обсадной колонне с целью снижения материальных затрат при проходке верхней части геологического разреза в осложненных условиях являются востребованными и актуальными.

Объект исследования – технология строительства нефтегазовых скважин.

Предмет исследования – процесс бурения нефтегазовых скважин на обсадной колонне.

Цель - повышение эффективности проходки нефтегазовых скважин при бурении под кондуктор в сложных горно-геологических условиях.

Идея заключается в разработке технико-технологических и методических решений для бурения на обсадной колонне с долотом-башмаком с раскрывающимися лопастями по винтовой линии, снижающего вероятность ложного срабатывания или его нераскрытия.

Задачи исследования

1. Выявление характерных осложнений на основе анализа геолого-технических условий и технологических мероприятий при бурении скважин на месторождениях ПАО «Татнефть».

2. Разработка технико-технологических и методических решений при бурении на обсадной колонне для условий месторождений ПАО «Татнефть».

3. Теоретические исследования и моделирование параметров работы ДБРЛ.

4. Проектирование и изготовление опытного образца ДБРЛ. Проведение стендовых испытаний опытного образца ДБРЛ.

Научная новизна

1. Установлена математическая зависимость, позволяющая рассчитать напряжения необходимые для раскрытия поворотных лопастей ДБРЛ от угла винтовой линии.

2. Теоретически обоснован и экспериментально определен оптимальный угол подъема винтовой линии, позволяющий уменьшить давление бурового раствора, необходимое для перемещения лопастей ДБРЛ из рабочего в положение центратора низа обсадной колонны.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Обоснованы и разработаны технико-технологические и методические решения для бурения на обсадной колонне.

2. Теоретическими исследованиями расчёта усилия и давления бурового раствора, необходимого для перемещения лопастей ДБРЛ из рабочей зоны на периферию для последующей проходки скважин подтверждено, что снижение угла подъема винтовой линии позволяет повысить надежность работы ДБРЛ.

3. Разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец ДБРЛ. Проведены испытания опытного образца на стенде УГ-1 ООО «Перекрыватель». По результатам составлен акт испытаний № 08-15-374 от 19.09.2022.

4. Проведенные исследования вошли в два учебных пособия: «Анализ геологических условий и технологических мероприятий при бурении скважин с поглощениями на Ромашкинском месторождении» для бакалавров направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело» и «Анализ эффективности применяемых методов изоляции зон осложнений» для аспирантов.

Методология и методы исследований

Работа выполнена в соответствии со стандартными методами теоретических и экспериментальных исследований. При 3D моделировании работы ДБРЛ использовалась программа SIMULIA Abaqus. Теоретический расчет усилия необходимого для перемещения лопастей ДБРЛ из рабочей зоны на периферию для последующего бурения скважин осуществлялся с использованием компьютерных программ Microsoft Excel и др.

Положения, выносимые на защиту:

1. На основе численного моделирования установлено, что разработанная конструкция ДБРЛ с лопастями долота, разворачивающимися на 90 градусов к стенке скважины, испытывает допустимые напряжения перемещения при угле винтовой линии 27 градусов при диаметре стального ограничителя 2 см, что позволяет снизить необходимое прилагаемое усилие до 20 кН, исключающее недораскрытие или слом при его активации.

2. Разработанная кинематическая схема перемещения башмака ДБРЛ с углом винтовой линии равным 27 градусов позволяет уменьшить давление бурового раствора, необходимое для перемещения лопастей ДБРЛ из рабочего в положение центратора низа обсадной колонны до 1 МПа.

Степень достоверности результатов исследования обеспечена достаточным объёмом аналитических исследований, сходимостью и воспроизводимостью полученных результатов.

Апробация результатов.

Основные положения и результаты работы докладывались на следующих конференциях: научно-практической конференции «Цифровые технологии в добыче и переработке углеводородов: от моделей к практике» (2021 г.); международной научно-практической конференции «Технологические решения строительства скважин на месторождениях со сложными геолого-технологическими условиями их разработки» (2022 г.); научно-практической конференции «Актуальные проблемы и инновации

в области строительства и ремонта скважин посвященная юбилею Изиля Галимзяновича Юсупова (2022 г.); международной научно-технической конференции «Современные технологии в нефтегазовом деле-2022» (2022 г.).

По теме диссертации опубликовано 10 научных работ.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования в области бурения скважин на обсадной колонне; проведении теоретических и экономических исследований; разработке конструкторской документации и обосновании модели опытного образца; проведении 3D моделирования работы ДБРЛ; проведении стендовых испытаний.

Публикации

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 10 печатных работах, в том числе в 3 статьях в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 1 статье – в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен патент РФ.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит 121 страницу машинописного текста, в том числе 68 рисунков и 9 таблиц, список литературы из 155 наименований и 2 приложений на 2 страницах.

Благодарности

Автор выражает особую признательность и искреннюю благодарность научному руководителю Хузиной Лилии Булатовне, руководству АГНИ и коллективу кафедры БНГС АГНИ, помогавшим в выполнении работы, а также лаборатории фундаментальных проблем нефтегазовой геофизики и геофизического мониторинга ФГБУН Институт Земли им. О.Ю. Шмидта

Российской академии наук за предоставление возможности проведения 3D моделирования в программе SIMULIA Abaqus. А также ООО «Перекрыватель» за помощь в разработке конструкторской документации, изготовлении опытного образца.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследований, сформулирована научная новизна, защищаемые положения, практическая ценность работы.

В **первой главе** выявлены характерные осложнения на основе анализа геолого-технических условий и технологических мероприятий при бурении скважин на месторождениях ПАО «Татнефть», проведенные в рамках хоздоговорных работ. Были рассмотрены 61 скважина, пробуренные на площадях НГДУ «Альметьевнефть», НГДУ «Елховнефть», НГДУ «Лениногорскнефть» и НГДУ «Ямашнефть». Анализ методов ликвидаций поглощений, показал, что самым применяемым мероприятием на буровой, является применение в качестве бурового раствора воды и на втором месте - намыв кольматирующих добавок перед вскрытием продуктивного горизонта. Диаграмма (рисунок 1) показывает, что наиболее часто встречаются поглощения в Артинском, Верхнем Карбоне и Уфимском горизонтах в интервале от 0 до 100 м верхней части геологического разреза. Технология бурения нефтяных и газовых скважин при бурении на обсадных трубах является одной из наиболее перспективных разработок, ставшей актуальной в последние годы, благодаря успехам ведущих зарубежных сервисных компаний и производителям породоразрушающего инструмента.

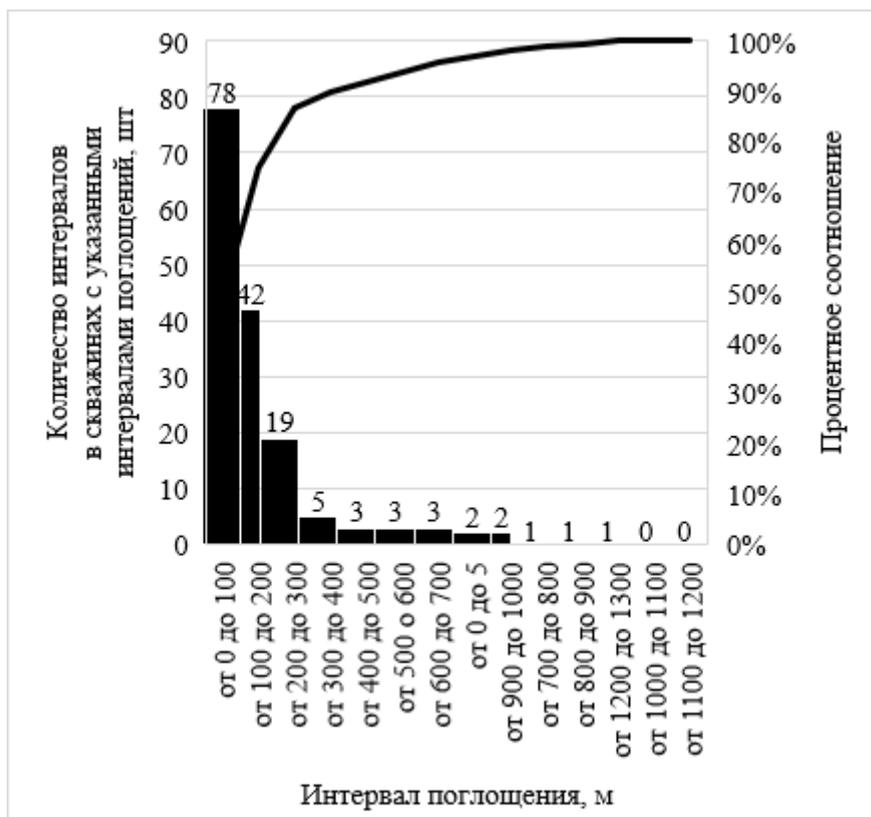


Рисунок 1 - Частотность интервалов поглощений в анализируемых скважинах

Во второй главе произведен обзор исследований, направленных на разработку ДБРЛ для бурения на обсадной колонне. Выполнен обзор конструкций нижних элементов компоновки. Представлены технико-технологические и методические решения для бурения на обсадной колонне с ДБРЛ.

В третьей главе представлены теоретические исследования и 3D моделирование долота-прототипа и ДБРЛ применяемого при технологии бурения скважин на обсадной колонне.

В четвертой главе описан этап разработки конструкторской документации, 3D моделирование и изготовления ДБРЛ (рисунки 2, 3), а также его стендовые испытания.



Рисунок 2 – Опытный образец ДБРЛ в рабочем положении



Рисунок 3 – Опытный образец ДБРЛ в положении центриатора

На рисунке 4 представлен график зависимости давления бурового раствора при повороте лопастей от времени при проведении стендовых испытаний ДБРЛ.

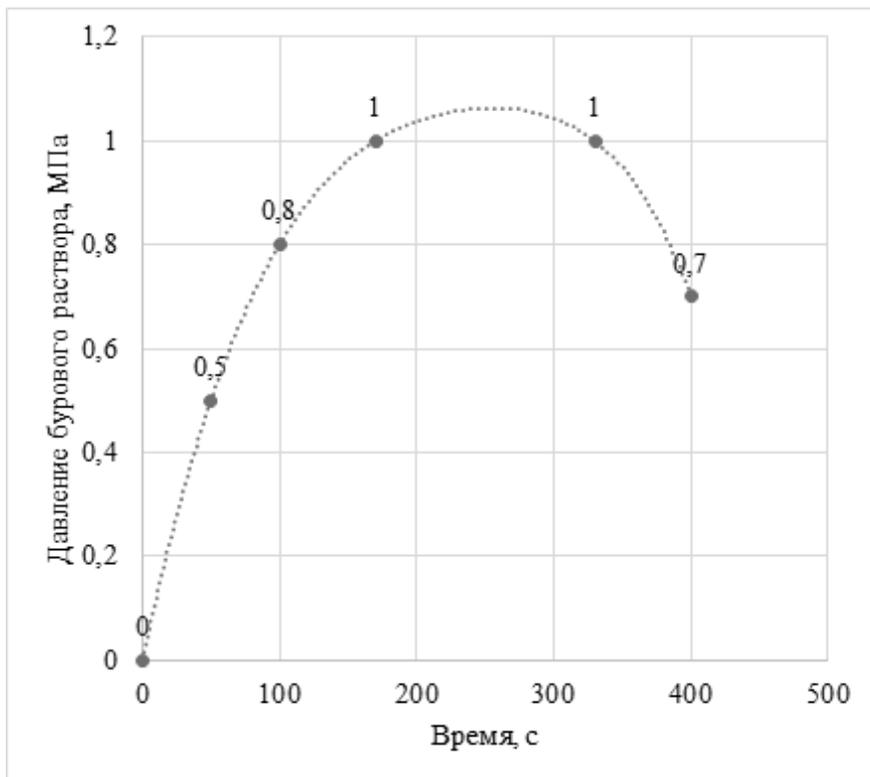


Рисунок 4 - График зависимости давления при повороте лопастей опытного образца ДБРЛ от времени, на стендовых испытаниях

На графике видно, что при увеличении времени нагнетания давления бурового раствора, растет давление на ДБРЛ. При достижении значения 1 МПа ДБРЛ активировалось. По результатам стендовых испытаний составлен акт. Стендовые испытания подтвердили работоспособность ДБРЛ и сходимость теоретических и лабораторных исследований.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях.

1. На основе численного моделирования установлено, что разработанная конструкция ДБРЛ с

лопастями долота, разворачивающимися на 90 градусов к стенке скважины, испытывает допустимые напряжения перемещения при угле винтовой линии 27 градусов при диаметре стального ограничителя 2 см, что позволяет снизить необходимое прилагаемое усилие до 20 кН, исключаящее недораскрытие или слом при его активации.

В качестве прототипа рассматривается обычное долото с раздвигающимися под углом 90 градусов лопастями, которое приводит к осложнениям при технологии бурения на обсадной колонне (срыв, слом или деформация).

При своём движении вниз, центральный узел напирает на лопасть долота. В результате, изогнутый конец лопасти начинает «выпрямляться», но, поскольку, основная часть лопасти жёстко взаимодействует со стенкой скважины, то конец лопасти при разгибании должен либо внедриться в породу, либо отламываться в месте перехода к калибрующей части лопасти. В этом отламывании и кроется основной недостаток прототипа, поскольку сломанные концы лопастей могут намертво заклинить центральный узел, препятствуя продвижению центрального узла на расчётную длину.

Рассчитано усилие F , создаваемое давлением бурового раствора, необходимого для продвижения центрального узла диаметром 0,2 м с отламыванием шести стальных лопастей долота - прототипа равное 651 кН.

Для предупреждения аварийной ситуации было смоделировано ДБРЛ (рисунок 5) с такой конструкцией лопастей, при которой необходимо меньшее давление бурового раствора для их раскрытия.

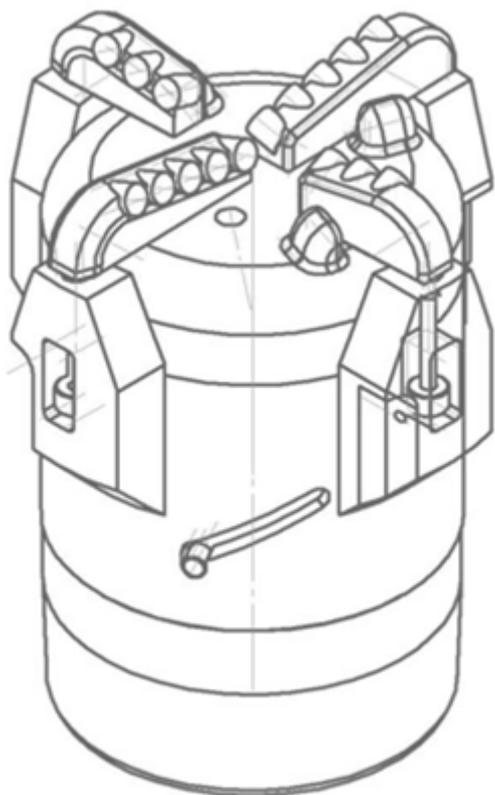


Рисунок 5 - Неизвлекаемое долото-башмак с убираемыми из рабочей зоны лопастями (ДБРЛ), транспортное положение

По теоретическим расчетам получено, что для перемещения башмака, приводящее к повороту лопастей ДБРЛ необходимо усилие, равное 20 кН.

Выявлена зависимость давления бурового раствора, необходимого для раздвижения лопастей ДБРЛ от угла винтовой линии (винтовая линия – это линия, по которой перемещаются башмак ДБРЛ) (рисунок 6), который показал, что чем больше угол, тем больше давление, необходимое для их перемещения.

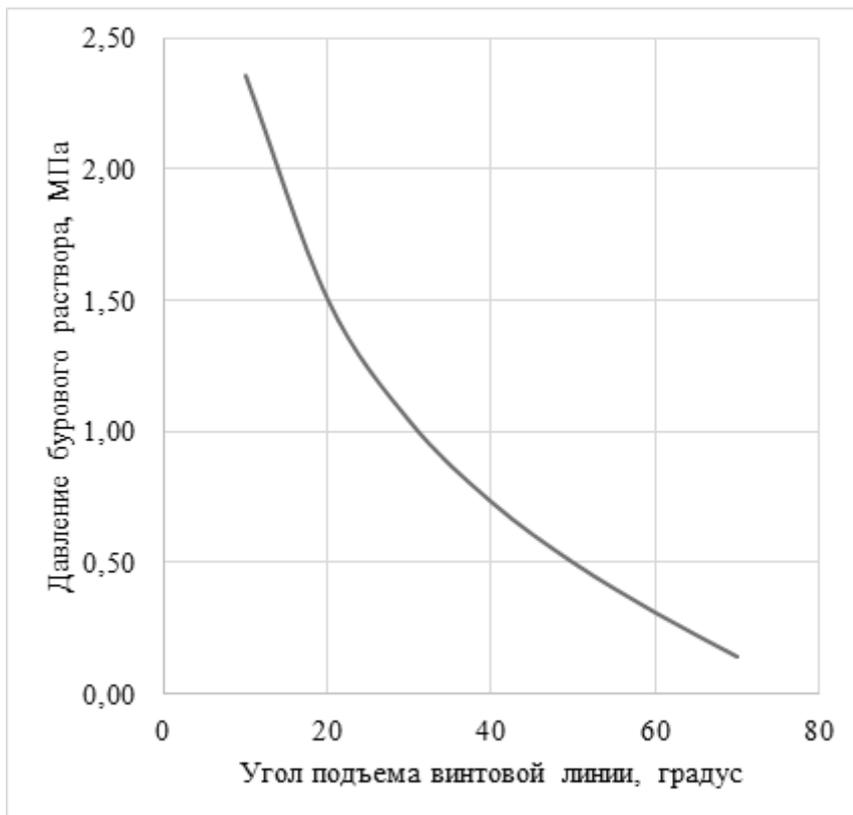


Рисунок 6 - Зависимость давления бурового раствора, необходимого для перемещения башмака ДБРЛ от угла подъема винтовой линии

Математическое моделирование работы долота-прототипа и работы ДБРЛ подтвердило проведённые теоретические расчеты давлений для перемещения лопастей (рисунок 7). Моделирование проводилось в программном обеспечении SIMULIA Abaqus, где U – магнитуа перемещений; S – напряжения, рассчитанные по Мизесу в Па, в лаборатории фундаментальных проблем нефтегазовой геофизики и геофизического мониторинга ФГБУН Институт Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.

На рисунке 8 представлен график напряжений, возникающих на штифте ДБРЛ во временной период его активации.

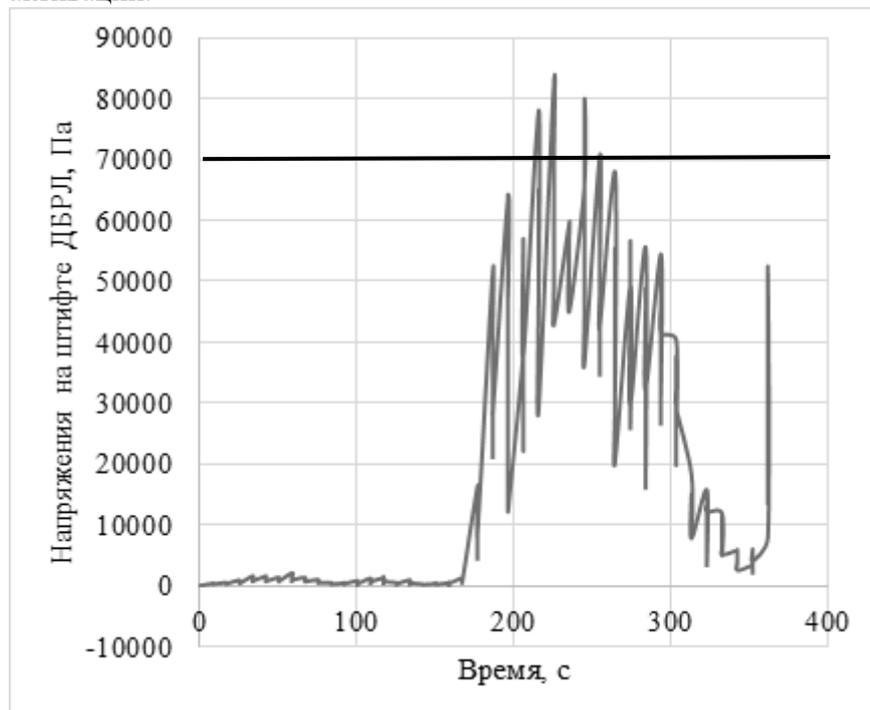


Рисунок 8 - Напряжения на штифте ДБРЛ в период активации

При числовом моделировании в программном обеспечении SIMULIA Abaqus пиковые значения напряжения превышают статические в 1,3 раза (рисунок 8), что позволяет выбрать материал ограничителя сталь 40ХН, который обеспечивает коэффициент запаса 42%.

На основе выявленной зависимости установлено, что разработанная конструкция ДБРЛ с лопастями долота, поворачивающимися до 90 градусов к стенке скважины, испытывает наименьшие напряжения перемещения при угле винтовой линии 27°.

2. Разработанная кинематическая схема перемещения башмака ДБРЛ с углом винтовой линии равным 27 градусов позволяет уменьшить давление бурового раствора, необходимое для перемещения лопастей ДБРЛ из рабочего в положение центратора низа обсадной колонны до 1 МПа.

На рисунке 9 представлена кинематическая схема взаимодействия сил при перемещении башмака ДБРЛ по винтовой линии.

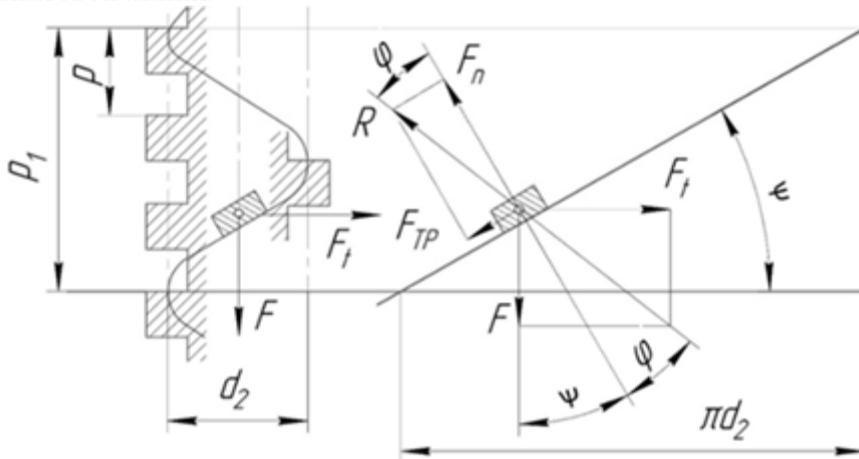


Рисунок 9 – Взаимодействие сил между при перемещении башмака ДБРЛ по винтовой линии, где p - шаг винтовой линии; F – усилие, необходимое для продвижения башмака ДБРЛ; φ - угол трения; ψ – угол подъема винтовой линии.

Давление бурового раствора, необходимого для перемещения лопастей ДБРЛ из рабочего в положение центратора низа обсадной колонны, находим по следующей формуле (1):

$$P = \frac{1,08PD}{\pi^2 d^2 d_2 \tan(\varphi + \omega)} = 1.16 \text{ МПа}, \quad (1)$$

где P – осевая нагрузка, Н; D – диаметр ДБРЛ, м; φ - арктангенс от коэффициента трения «сталь по стали»; ψ - угол подъема

винтовой линии; d - внутренний диаметр обсадной колонны, м; d_2 – диаметр башмака.

Таким образом разработанная кинематическая схема перемещения башмака ДБРЛ с углом винтовой линии равным 27° , позволяет уменьшить давление бурового раствора, необходимое для перемещения лопастей ДБРЛ из рабочего в положение центризатора низа обсадной колонны до 1 МПа.

Технико-технологические и методические решения для бурения на обсадной колонне с долотом реализуется следующим образом.

Корпус долота (рисунок 5) с помощью присоединительной резьбы соединяют с элементами компоновки низа обсадной колонны на устье скважины и плавно спускают в скважину, соблюдая осторожность при прохождении через стол ротора и устьевое оборудование, так как выступающие края могут повредить калибрующую поверхность и вооружение долота, при этом раздвижные стальные лопасти 3 находятся в закрытом состоянии (транспортное состояние). После дохождения до забоя, когда долото-башмак коснулось забоя, приподнимают долото над забоем на 1,5-2 метра, при сохранении полной циркуляции и низкой частоты вращения в течение приблизительно 5-10 минут для очистки забоя скважины.

Далее начинают бурение с нагрузкой не более 1 тонны до формирования нового профиля забоя 30-60 см. Прирабатывают долото на щадящих режимах бурения 2-3 м. Добавляют нагрузку на долото по 0.5-1 тонне до допустимой, сохраняют постоянную нагрузку в равные интервалы времени (5...10 мин). Подбирают оптимальные параметры режима бурения: нагрузку на долото, подачу промывочной жидкости, количество оборотов с целью получения максимальной механической скорости. После вскрытия зон с полным поглощением промывочной жидкости проводят снижение расхода жидкости

Под действием осевой нагрузки и крутящего момента резцы PDC разрушают породу, которая выносится на по-

верхность через зазоры между стенками скважины и наружной поверхностью корпуса промывочной жидкостью, нагнетаемой через промывочные отверстия в корпусе. При этом раздвижные стальные лопасти контактируют со стенками скважины, обеспечивая надежную центровку инструмента в скважине и сохранение заданного направления бурения.

Технология использования долота, применяемого при бурении скважин на обсадной колонне, после достижения проектного забоя состоит в его активации путем сброса пластикового шара и поднятия давления с помощью агрегата ЦА-320 для раздвижения стальных лопастей. Особенностью данной технологии является процесс убирания из рабочей зоны лопастей. После этого сбросить шар. При посадке шара на седло зафиксировать резкий рост давления. При дальнейшем подъеме давления зафиксировать срез штифтов и отрыв башмака и лопастей от корпуса. При дальнейшей подаче бурового раствора поступательное движение башмака преобразуется в поступательно-вращательное движение из-за движения ограничителя по винтовому пазу на корпусе. При этом упоры на торце башмака будут вращать лопасти, постепенно отводя их к периферии ДБРЛ и освобождая центральную часть для дальнейшего разбуривания. В дальнейшем при последующем цементировании обсадной колонны долото используется как центратор, что повышает качество цементирования. Процесс цементирования колонны производится по традиционной технологии. После ожидания затвердевания цемента (ОЗЦ) и монтажа превентера производится спуск компоновки на бурильных трубах с долотом PDC для разбуривания внутренней оснастки с цементным камнем и последующего бурения.

Технико-технологические и методические решения для бурения на обсадной колонне с долотом, обеспечивают снижение затрат времени на строительство скважины, в частности, сокращается время, затрачиваемое на спускоподъемные операции, на спуск обсадных труб, на промывку скважины. При

бурении скважин с обсаживанием сокращается номенклатура элементов компоновки низа бурильной колонны и можно исключить потребность в бурильных трубах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведён анализ геолого-технических условий и технологических мероприятий при проходке нефтегазовых скважин под кондуктор в осложненных условиях на месторождениях ПАО «Татнефть», показал, что основные интервалы поглощений находятся в верхней части геологического разреза. При рассмотрении интервалов поглощений установлено, что по диаграмме Парето длина участка от 0 до 100 метров отличается наибольшей частотностью и является наиболее уязвимой для поглощений. В таких условиях наиболее распространенным методом является бурение с применением в качестве бурового раствора воды, с частичным или полным ее поглощением. Эта проблема может быть решена с использованием технологии бурения с одновременной обсадкой.

2. Разработаны технико-технологические и методические решения для бурения на обсадной колонне, позволяющие снизить осложнения и материальные затраты при проходке скважины.

3. Теоретическими исследованиями и математическим моделированием установлено, что разработанная конструкция ДБРЛ с лопастями, разворачивающимися на 90 градусов к стенке скважины, при перемещении башмака по винтовой линии с углом 27 градусов позволяет снизить необходимое прилагаемое усилие до 20 кН, исключаящее недораскрытие или слом при его активации, что дает возможность уменьшить давление бурового раствора, необходимое для разворота лопастей из рабочего в положение центратора низа обсадной колонны до 1 МПа.

4. Спроектирован и изготовлен опытный образец ДБРЛ на базе предприятия ООО «Перекрыватель». Проведены стендовые испытания, подтвердившие его работоспособность.

Перспективами дальнейшего развития темы диссертации следует считать совершенствование методико-технологических

решений с применением ДБРЛ. Оптимизация конструкции ДБРЛ для различных условий и режимов бурения. Разработка датчика, сообщающего о срабатывании ДБРЛ.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Хузина, Л.Б. Долото-башмак для бурения на обсадной колонне // Хузина Л.Б., Гимазтдинова Э.А., Габзалилова А.Х. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2020. № 1. С. 10-12.

2. Гимазтдинова, Э.А. К вопросу аналитических расчётов долота-башмака с раздвижными лопастями при бурении на обсадной колонне // Гимазтдинова Э.А., Хузина Л.Б., Габбасов Ф.Р. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022.

3. Гимазтдинова, Э.А. Анализ поглощений промывочной жидкости в верхних горизонтах при бурении нефтяных скважин // Гимазтдинова Э.А., Хузина Л.Б. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022.

Публикация в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

4. Khuzina, L.B. Torque Reduction while Drilling with Casing // Khuzina L.B., Fazlieva R.I., Gimaztdinova E.A. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International science and technology conference "Earth science". - 2019. - Vol. 272. - Art. no. 022043. - DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022043

Патент:

5. Долото-башмак: пат. 192852 Российская Федерация / Хузина Л.Б., Гимазтдинова Э.А., Хузин Б.А.; заявитель и патентообладатель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт»; заявл. 03.07.19; опубл. 03.10.2019

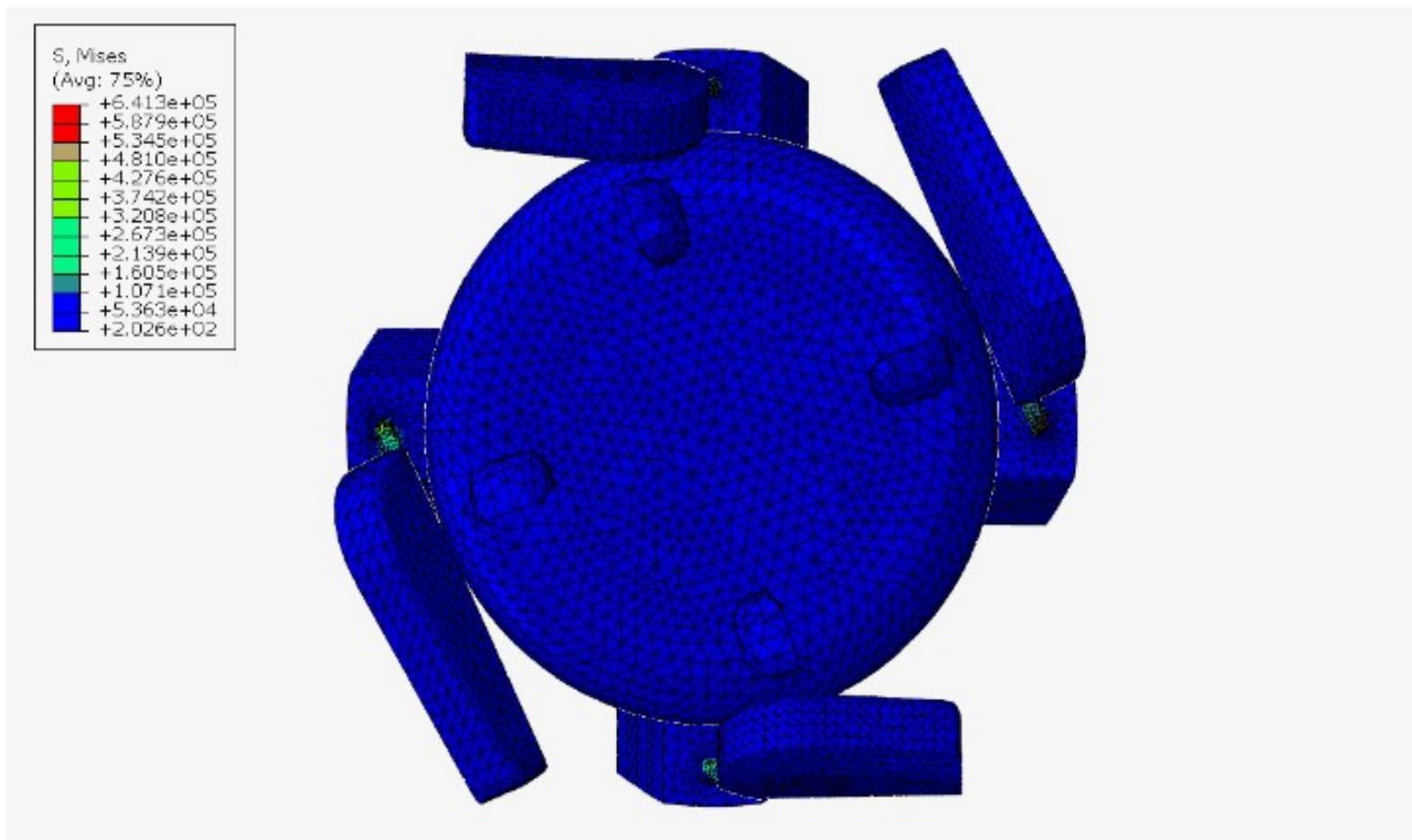


Рисунок 7 - Моделирование работы ДБРЛ, вид с торца