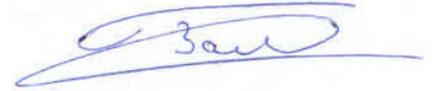


На правах рукописи



ВАЛЯМОВ КАРИМ РАМИЛЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН ПУТЕМ
РАЗРАБОТКИ ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА С ПИРАМИДАЛЬНЫМ
СТАЛЬНЫМ ВООРУЖЕНИЕМ ВНУТРЕННИХ РЯДОВ**

Специальность 2.8.2. – Технология бурения и освоения скважин
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидат технических наук

Уфа 2024

Работа выполнена на кафедре «Бурение нефтяных и газовых скважин» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ишбаев Гниятулла Гарифуллович

Официальные оппоненты: **Симисин Денис Иванович**
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» / кафедра эксплуатации горного оборудования, заведующий кафедрой

Борейко Дмитрий Андреевич
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет» / кафедра бурения, машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов, доцент кафедры

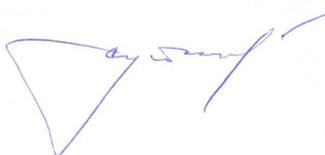
Ведущая организация ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (г. Самара)

Защита диссертации состоится «13» июня 2024 года в 14:00 на заседании диссертационного совета 24.2.428.03, созданного при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2024 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Султанов Шамиль Ханифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Увеличение потребления углеводородов во всем мире в совокупности с постепенным истощением введенных в эксплуатацию месторождений нефти и газа стимулирует развитие новых регионов нефтедобычи. Первым этапом эффективной разработки нефтяных и газовых месторождений является этап строительства скважин - наиболее трудоемкий и требующий значительного объема инвестиций. Процесс бурения занимает одно из ключевых мест во временной сетке строительства скважины, поэтому снижение времени бурения приводит к существенной оптимизации расходов. Снижение трудоемкости и увеличение технико-экономических показателей бурения скважин является актуальной задачей. Одним из способов снижения времени является увеличение эффективности работы породоразрушающего инструмента.

Эффективность работы породоразрушающего инструмента и, как следствие, разрушения горной породы в течение всего цикла бурения, напрямую зависит от ресурса и стойкости элементов вооружения долот. При бурении верхних интервалов месторождений Восточно-Сибирского региона, сложенных мягкими и мягко-средними горными породами с включениями валунно-галечных отложений, наблюдается проблема преждевременного износа вооружения долот. Подвергаются катастрофическому износу как PDC долота по причине сколов и сломов резцов PDC, так и шарошечные долота. Применение шарошечных долот второго класса не целесообразно из-за низких скоростей проходки в основной массе разреза ствола скважины. Использование шарошечных долот первого класса, со стальным вооружением, приводит к опережающему износу, выраженному сломом зубьев внутренних рядов шарошки. Это приводит к «подвисанию» долота и потере механической скорости проходки.

Учитывая отсутствие конструкции долота для бурения горных пород, осложненных валунно-галечными отложениями, с высокими механическими скоростями бурения, и необходимость увеличения стойкости внутренних рядов шарошечных долот к ударным нагрузкам, предлагаемая тематика является

актуальной. Кроме того актуально создание методики применения шарошечных долот в условиях осложнения разреза валунно-галечными отложениями.

В связи с этим, задача, связанная с разработкой конструкции шарошечного долота с усиленным стальным вооружением, позволяющей минимизировать износ внутренних рядов стального вооружения, и, соответственно, увеличить относительный запас вооружения по рядам актуальна, особенно при бурении интервалов, осложненных валунно-галечными отложениями.

Степень разработанности темы

Теоретической и методической основой исследования послужили работы ученых: Алеекеева Л.А., Богомолова Р.М., Балицкого В.П., Гусмана А.М., Гельфгата М.Я., Головкина С.А., Ишбаева Г.Г., Комма Э.А., Мавлютова М.Р., Матюшина П.Н., Мительмана Б.И., Мокшина А.С., Неупокоева В.Г., Попова А.Н., Серикова Д.Ю., Сливака А.И., Трушкина Б.Н., Трушкина О.Б., Ясашина В.А., Юдина А.С., R.H. Smith, J. Ford Brett и др.

Работа является продолжением детального изучения вопроса повышения производительности шарошечных долот, проводимого кафедрой БНГС УГНТУ. Особое внимание следует уделить работам, выполненным в УГНТУ при соавторстве профессора Попова А.Н., и посвященным изучению вопросов стойкости вооружения шарошечных долот первого класса.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тематика и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту научной специальности 2.8.2. – «Технология бурения и освоения скважин» (технические науки), а именно п.3 и п.4:

- «п.3 Разрушение горных пород в скважине с использованием механических, тепловых, электромагнитных и других и способов и средств воздействий в термобарических условиях их залегания...»;
- «п.4 Буровой инструмент. Конструкция и оптимизация породоразрушающего инструмента... Конструкция и технология применения внутрискважинных технических средств, используемых при строительстве скважин».

Цель работы

Улучшение показателей работы шарошечных долот для бурения мягких,

осложненных валунно-галечными отложениями, горных пород путем выявления области износа и конструктивного усиления внутренних рядов шарошек долот.

Основные задачи работы

1. Анализ влияния горно-геологических факторов на снижение механической скорости проходки в связи с преждевременным неравномерным износом стального вооружения шарошечных долот. Выделение наиболее эффективной области применения шарошечных долот со стальным вооружением.

2. Исследование влияния геометрических и физико-механических параметров единичных элементов вооружения на стойкость к циклическим ударным нагрузкам путем проведения сравнительных экспериментов на стенде.

3. Проектирование шарошечного долота с пирамидальным стальным вооружением внутренних рядов и разработка методики по применению шарошечных долот со стальным вооружением при осложнении разреза валунно-галечными отложениями.

4. Проведение опытно-промысловых испытаний конструкции шарошечного долота с пирамидальным стальным вооружением внутренних рядов с достижением целевого показателя механической скорости.

Научная новизна

1. Аналитически установлено, что преждевременный отказ шарошечных долот со стальным вооружением при бурении мягких горных пород, осложненных валунно-галечными отложениями, возникает при ударных нагрузках из-за опережающего износа зубьев внутренних рядов со сниженным относительным запасом вооружения до 34 % по сравнению с периферийными зубьями.

2. Экспериментально показано, что повышение стойкости внутренних рядов обеспечивается зубьями в виде усеченной восьмигранной пирамиды, с площадкой притупления от 3 до 14 мм, образующей в сечении восьмиугольник, прямые стороны которого равны и параллельны, а угол заострения равен 48° в совокупности с изготовлением из долотной стали 19ХГНЗМА. Указанные зубья обеспечивают наименьшие суммарные напряжения, снижают относительную массовую потерю металла при ударных нагрузках более чем в 2 раза и увеличивают относительный запас вооружения до 2-х раз без снижения средней

эффективности разрушения горной породы.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в экспериментальном обосновании конструкции шарошечного долота БИТ 295,3 Z2RSJ U700 с пирамидальной геометрией стального вооружения, предупреждающая опережающий износ внутренних рядов стального вооружения при бурении валунно-галечных отложений на основе исследований геометрических моделей единичных элементов вооружений с последующей оценкой стойкости к циклическим ударным нагрузкам.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Методика по применению шарошечных долот при осложнении разреза валунно-галечными отложениями, внедренная в производственно-технологических процесс ООО НПП «БУРИНТЕХ». Создано электронное учебно-методическое издание «Шарошечные долота. Основные узлы. Принцип работы. Область применения», которое внедрено в учебный процесс по дисциплине «Разрушение горных пород» по профилям 21.03.01 и 21.05.06.

2. Патент на пирамидальную геометрию стального зуба для шарошки бурового шарошечного долота (Патент РФ на полезную модель №212334 «Шарошка бурового долота», оп. 18.07.2022 г); патент на долотную сталь (Патент РФ на изобретение №2704049 «Долотная сталь» оп.23.10.2019 г).

3. Увеличение механической скорости проходки при бурении интервала под кондуктор, осложненного валунно-галечными отложениями, путем применения шарошечного долота БИТ 295,3 Z2RSJ U700 по результатам опытно-промысловых испытаний.

Методология и методы исследования

Решение задач диссертационного исследования осуществлялось аналитически и экспериментально при помощи стандартных и самостоятельно разработанных методик, специально созданного экспериментального стенда, методов статистической обработки данных и применения современных программных комплексов и систем компьютерного моделирования.

Положения, выносимые на защиту

1. Аналитические исследования причин вывода из эксплуатации шарошечных долот и исследование снижения механической скорости проходки по причине износа внутренних рядов стального вооружения шарошечных долот при осложнении разреза валунно-галечными отложениями.

2. Геометрическая модель пирамидального стального зуба для шарошки долота в комбинации с применением долотной стали с увеличенным показателем ударной вязкости, позволяющая увеличить стойкость зуба к циклическим ударным нагрузкам при бурении валунно-галечных отложений.

3. Конструкция шарошечного долота БИТ 295,3 Z2RSJ U700 с пирамидальной геометрией стального вооружения, обеспечивающая снижение износа внутренних рядов в процессе бурения валунно-галечных отложений.

4. Методика по применению шарошечных долот в породах, осложнённых валунно-галечными отложениями, ограничивающая режимные параметры бурения при прохождении разреза валунно-галечных отложений, позволяющая снизить износ элементов вооружения.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов работы обеспечивалась применением широко апробированных методов и методик, экспериментальных исследований, осуществленных на поверенном оборудовании.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на: 70-й, 73-й научно – технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ (Уфа, 2019 г, 2022 г); международной научно-технической конференции «Современные технологии в нефтегазовом деле» (Уфа, 2017 г); 73-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ» (Москва 2019 г); VII Международной научно-практической конференции молодых ученых «Экологические проблемы нефтедобычи» (Уфа, 2018 г); Международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники - 2021» (Уфа, 2021 г); научно-практической конференции «Актуальные проблемы и инновации в области строительства и ремонта скважин» (Альметьевск, 2022 г); международной научно

– практической конференции, посвященной 90-летию начала добычи первой башкирской нефти (Уфа, 2022 г). Работа отмечена Комитетом молодежной премии в области науки и техники «Надежда России» Российского Союза научных и инженерных общественных объединений (Москва, 2023 г).

Публикации по теме диссертации

Основные материалы диссертационной работы опубликованы в 17 публикациях, в том числе в 2 патентах РФ и 4 статьях в изданиях из перечня ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованных источников из 106 наименований и 7 приложений. Работа изложена на 145 страницах машинописного текста, включает 57 рисунков и 22 таблицы.

Автор выражает благодарность за помощь научному руководителю, д.т.н., профессору, ген. директору ООО НПП «БУРИНТЕХ» Г.Г. Ишбаеву; д.т.н., профессору Исмакову Р.А.; д.т.н., профессору А.Н. Попову; к.т.н. Ковалевскому Е.А.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель, основные задачи исследования, приведены научная новизна, основные защищаемые положения и практическая ценность работы.

В **первой** главе обозначены проблемы применения шарошечных долот со стальным вооружением, выделены ключевые достоинства и недостатки их применения в Восточно-Сибирской нефтегазоносной провинции, связанные с наличием валунно-галечных отложений в верхних интервалах на глубинах до 500 м по вертикали. Отмечено, что наблюдается увеличение применения шарошечных долот со стальным вооружением. Проведен анализ литературы, основанный на работах российских и зарубежных ученых, проведен патентный поиск решений по увеличению стойкости стального вооружения. Отдельно выделены работы, посвященные рассмотрению относительного запаса вооружения по рядам, на

основании которых проведен ряд исследований в работе. Рассмотрена кинематика воздействия шарошечного долота с забоем, с детализацией решений по повышению стойкости шарошечных долот. Обозначено, что для предотвращения опережающего износа существует множество решений, таких как увеличение кода IADC долота, что снижает скалывающую способность за счет увеличения угла притупления и увеличивает количество рядов и зубьев на рядах, а также различные вариации изменения геометрии. Однако, такие решения приводят к снижению механической скорости проходки при бурении мягких и мягко-средних горных пород. Такая ситуация наблюдается, в частности, при бурении под кондуктора и технические колонны на месторождениях Восточно-Сибирского региона. Установлено, что работа в осложненных горно-геологических условиях (трещины и каверны, пустоты, наличие включений трудно буримых включений (валунов и гальки)) в общем разрезе глинистых горных пород часто сопровождается катастрофическим износом стального вооружения, что приводит к снижению механической скорости. При бурении разреза с указанными осложнениями, как и при бурении твердых горных пород, рационально использовать шарошечные долота, при условии наличия ресурса шарошечного долота, обеспечивающие гарантированное прохождение интервала под направление, кондуктор или техническую колонну за одно долбление, без выполнения дополнительных спускоподъемных операций с максимальной скоростью проходки. Показано, что важным резервом повышения эффективности процесса бурения является достижение равномерности износа внутренних рядов вооружения за счет совершенствования геометрических и прочностных показателей зубьев внутренних рядов стального вооружения.

Вторая глава посвящена анализу и исследованию характера износа шарошечных долот со стальным вооружением. У шарошечных долот в габарите выше 215,9 мм за счет разработки новых конфигураций подшипниковых узлов, изготавливаемых с высокой точностью, и применения высокопроизводительных антифрикционных и уплотнительных элементов, опережающим износом является износ стального вооружения. Проблема особенно актуальна для долот габарита 295,3-311,1 мм.

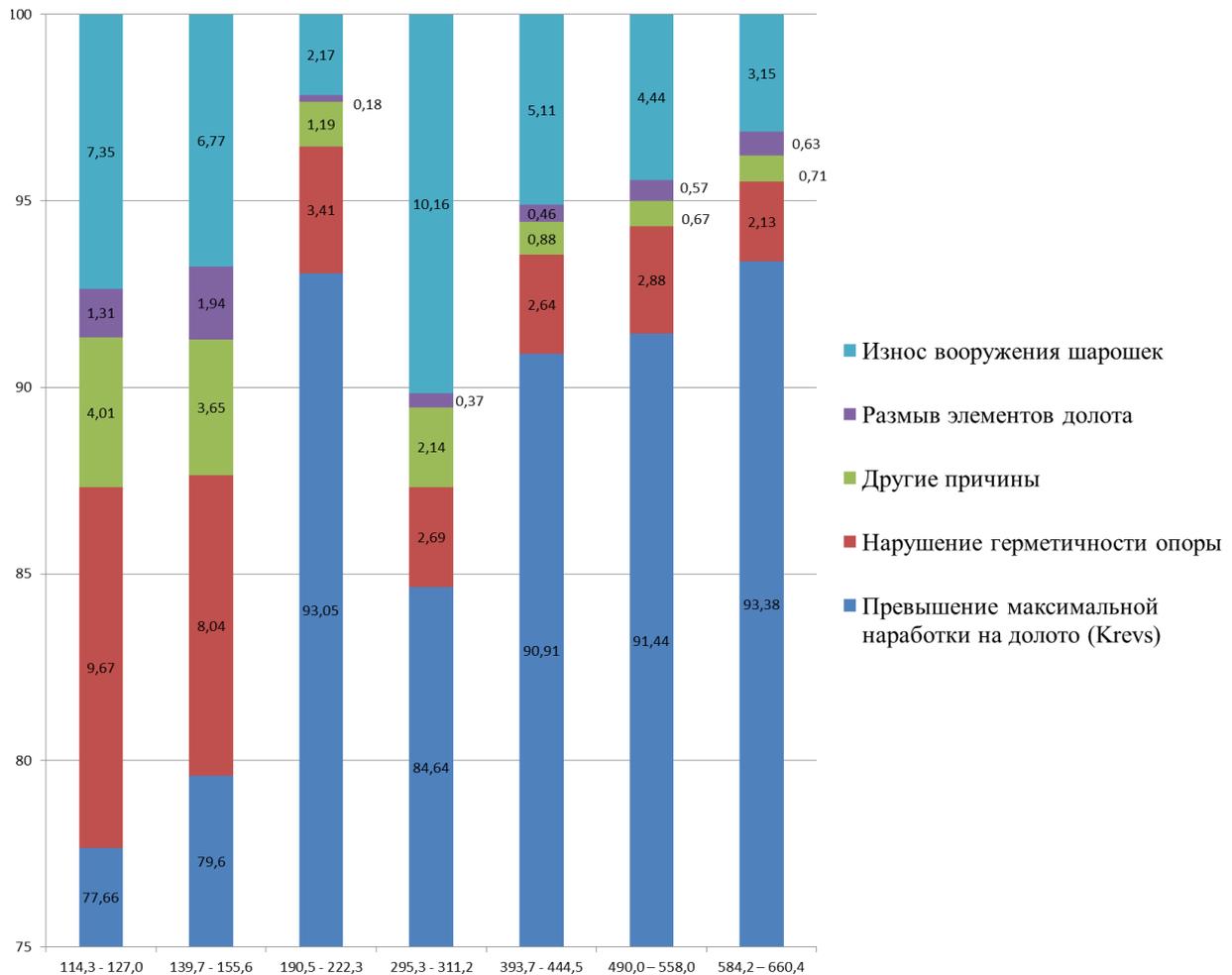


Рисунок 1 – Причины вывода из эксплуатации шарошечных долот за 2018-2021 г

Наибольшее число вывода из эксплуатации, по данным анализа более 1300 рейсов, за исключением превышения максимальной наработки на долото, возникает по причине преждевременного износа стального вооружения шарошечных долот (Рисунок 1). Износу подвержены внутренние ряды в области, в которой скалывающий эффект минимален. Адекватность полученных данных подтверждена методом полнофакторного эксперимента (ПФЭ).

Месторождения Восточной Сибири (Ванкорское, Средне-Угутское, Куюмбинское, Средне-Бутобинское) отличаются наличием валунно-галечных отложений в салпадаяхинской и танамской свитах, четвертичных отложениях. Насыщение валунно-галечными отложениями наиболее выражено на глубинах до 500 м. Износ возникает при прохождении на форсированных режимах зон с фракцией валунов и гальки, сопоставимой с размерами зуба долота, представленных в разрезе в виде пропластков в легкобуримой среде. Сравнение

наработки на долота БИТ 295,3 Z1RSJ U643 приведено на Рисунке 2. Установлено, что при идентичных параметрах бурения ресурс стального вооружения долота при бурении мягких пород с валунно-галечными отложениями ниже до 2,5 раз.

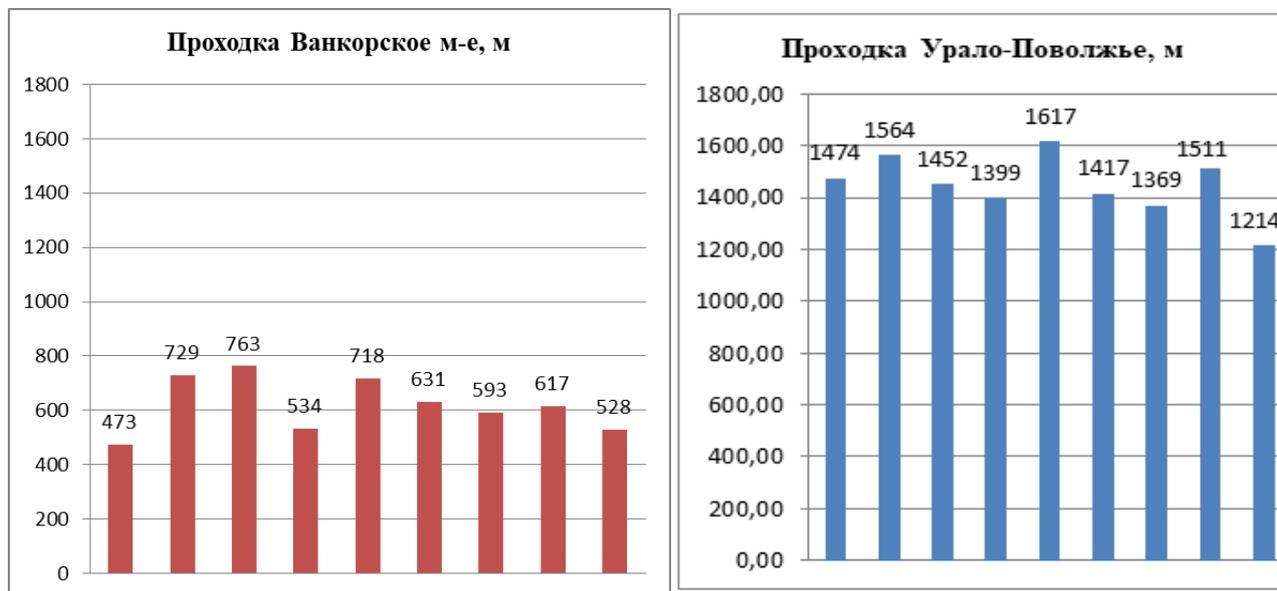


Рисунок 2 – Средняя наработка на долото БИТ 295,3 Z1RSJ U643 в различных горно-геологических условиях

На основании методики расчета остаточного запаса вооружения по рядам, проведен расчет для шарошечных долот БИТ 295,3 Z1RSJ U643 (IADC 117), предназначенных для бурения горных пород категории М и МС. Результаты приведены на Рисунке 3.

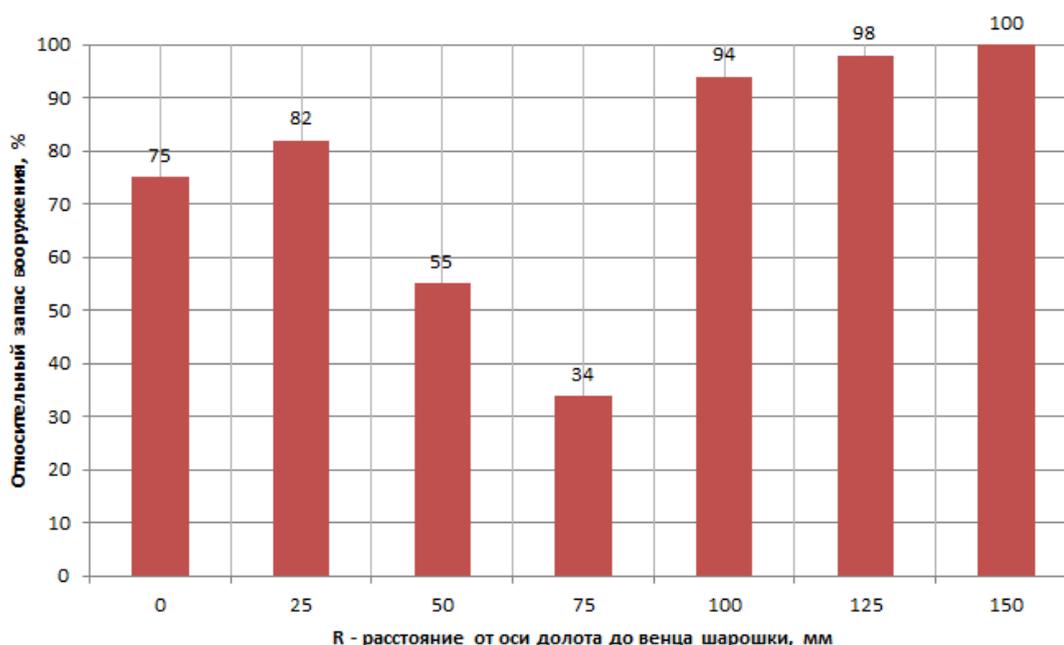


Рисунок 3 – Относительный запас вооружения БИТ 295,3 Z1RSJ U643 (IADC 117)

Относительный запас вооружения в предпреферийных рядах значительно ниже, что приводит к преждевременному износу, который начинается с предпреферийных внутренних рядов. Из анализа установлено, что при эксплуатации шарошечных долот в верхних интервалах (до глубин 450-500 м), основное ударное влияние оказывают пропластки валунно-галечных отложений. Валунны и галька имеют возможность заклинивать между зубьями шарошек, что приводит к их слому по телу у основания зуба. Так, при входе в интервал, насыщенный валунно-галечными отложениями на высокой скорости проходки (до 50 м/ч) происходит динамическое ударное воздействие на зубья, приводящее к усталостному износу основного металла. Характерный износ зубьев приведен на Рисунке 4 (а). На Рисунке 4 (б) фрагмент шлама – частица горной породы диаметром до 30 мм.

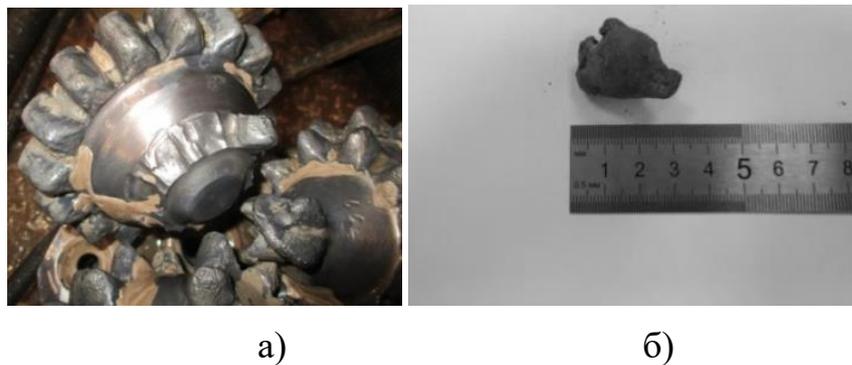


Рисунок 4 – Шарошка со сломанными зубьями ряда 2, шлам

Потеря механической скорости проходки обуславливается снижением эффективности перекрытия забоя за счет потери стальных зубьев. При потере хотя бы одного зуба происходит кратное увеличение нагрузки и количества совершаемой работы на соседние зубья.

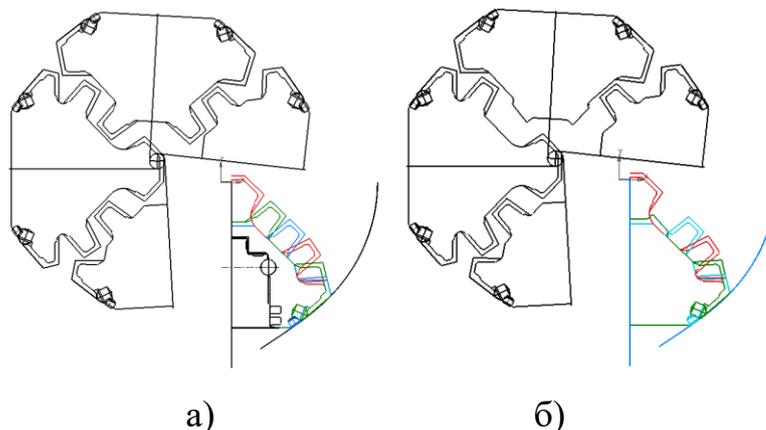


Рисунок 5 – Сравнительная схема самоочистки с потерей зубьев

Дополнительное нагружение снижает их стойкость и приводит к последующему слою по нелинейной зависимости. Как видно из Рисунка 5 (а), на котором приведена схема самоочищения для долота БИТ 295,3 Z1RSJ (новое), степень перекрытия забоя максимальна. Потеря хотя бы одного ряда зубьев, Рисунок 5 (б), на внутренних рядах приводит к снижению перекрытия забоя на 18-37 % в зависимости от расположения потерянного ряда зубьев.

Предлагается для бурения интервалов залегания валунно-галечных отложений применять пирамидальную конструкцию стального зуба шарошки бурового долота. Геометрические характеристики данного решения в сравнении со стандартными решениями в Таблице 1.

Для всех типов зубьев обеспечивается приблизительно равная удельная нагрузка на горную породу за счет площади контакта от 41 до 46 мм², что исключает значительное снижение механической скорости проходки при одинаковых значениях осевой нагрузки и количества зубьев на венцах шарошек долота с сохранением средней эффективности разрушения горной породы.

Таблица 1 – Варианты исполнения зубьев

Параметры зубьев	Тип зубьев		
	Стандартный	Усиленный	Пирамидальный
Высота Н, мм	29	29	29
Притупление Е, мм	3	4	3...14
Ширина В, мм	16,9	18,9	18,9
Угол заострения α , град	43	46	48
Площадь вершины зуба S, мм ²	41	46	46

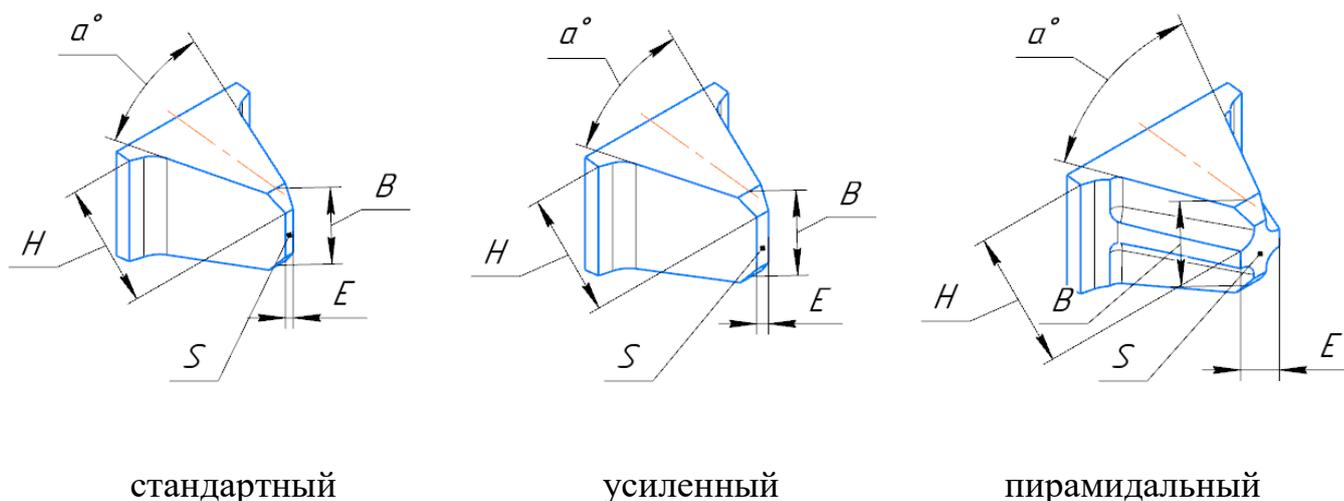


Рисунок 6 – Варианты исполнения зубьев

На Рисунке 6 показаны геометрические параметры стандартных и предлагаемых технических решений зубьев, характерных для долот класса М и МС. Ключевой отличительной особенностью является модифицированная форма зубьев внутренних рядов стального вооружения. Зубья выполнены в форме восьмигранной пирамиды с ребрами жесткости и с усечением верхней части, образующей в сечении восьмиугольник с попарно равными и параллельными сторонами. Это позволило увеличить прочность зубьев на изгиб и запас металла без существенного увеличения площади контакта с забоем.

Обоснование применения долотной стали 19ХГНЗМА приведено ниже. Сталь 19ХГНЗМА отличается увеличенным параметром ударной вязкости, которая позволяет воспринимать большую нагрузку без разрушения образца. Результаты сравнительного испытания на стандартных образцах показаны в Таблицах 2, 3. При моделировании в Ansys Workbench установлено, что при ударном приложении одинаковой нагрузки, сила, требуемая для разрушения образца пирамидальной формы из стали 19ХГНЗМА, на 33% выше (Рисунок 7), чем для стандартной конструкции зубьев.

Таблица 2 - Результаты испытаний на растяжение (для стали 19ХГНЗМА)

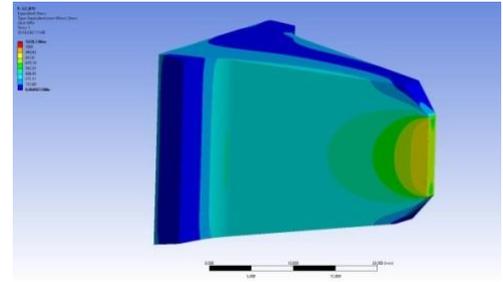
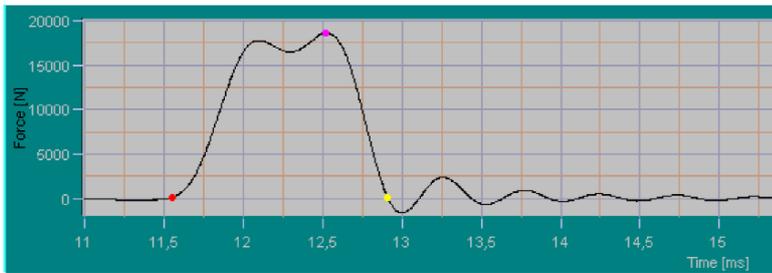
Тип образца ГОСТ 1497-84	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Отн. удли., %	Отн. сужение, %
III	1006,1	1275,2	11,6	52,0
Прогноз	≥ 785	≥ 883	≥ 11	≥ 50

Таблица 3 - Результаты испытаний на ударный изгиб (для стали 19ХГНЗМА)

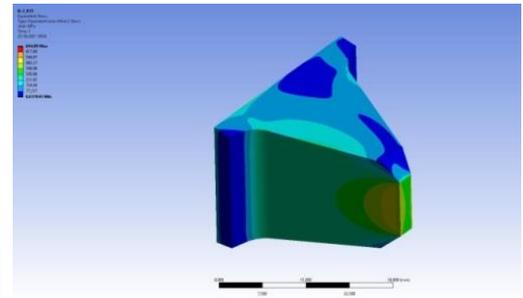
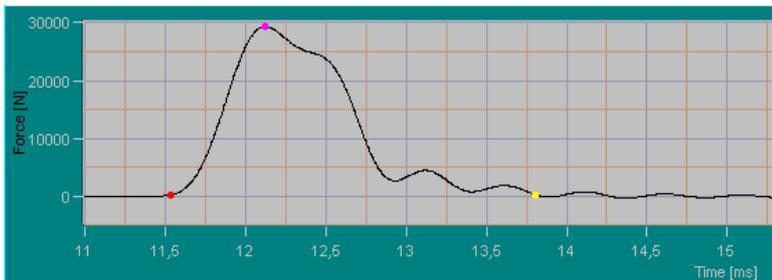
Тип образца по ГОСТ 9454-78	Площадь сечения образца, см ²	Работа разрушения, Дж	Ударная вязкость, КСУ, Дж/см ²
1	0,800	104,9	100,2
Прогноз	-	-	≥ 98

Таблица 4 – Расчет распределенных суммарных нормальных напряжений

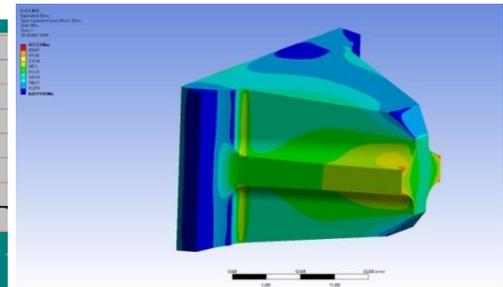
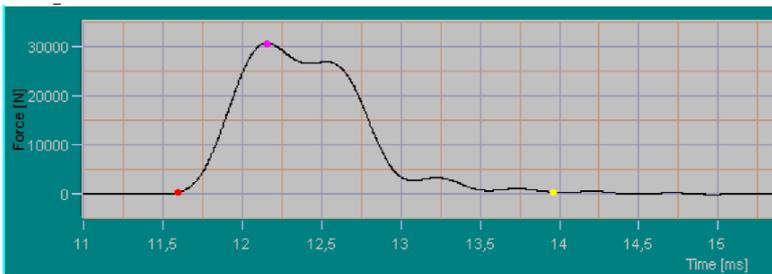
Вид напряжения	Стандартный	Усиленный	Пирамидальный
Максимальное напряжение сжатия, МПа	694,89	508,81	477,53
Максимальное напряжение изгиба, МПа	0,031	0,024	0,021



а)



б)



в)

Рисунок 7 – График нагружения при ударных испытаниях стандартного, усиленного и пирамидального зуба (а, б, в соответственно)

Результаты расчетов методом конечных элементов коррелируются с испытания на ударный изгиб и приведены в Таблицах 3, 4. Из Таблиц 1, 4 и Рисунка 7 видно, что с увеличением угла заострения зуба α в совокупности с увеличением притупления зуба E при неизменной высоте зуба H и наличии ребер жесткости, образующих в сечении пирамидальную форму зубьев, изгибающие и сжимающие напряжения снижаются, что обеспечивает положительный эффект на способности зуба воспринимать динамические (ударные) нагрузки. За счет внедрения ребер жесткости выравнивается напряжение $\sigma_{сж}$. Это обеспечивает увеличение стойкости зубьев к ударным нагрузкам и обосновывается выбор геометрических параметров зубьев стального вооружения.

Для подтверждения теоретических расчетов проведены сравнительные экспериментальные исследования.

В третьей главе приводятся результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных геометрических параметров стальных зубьев для обеспечения максимальной ударной стойкости (минимизации потери массы зубьев). Для поиска оптимальных условий проведено планирование эксперимента. Основными параметрами, влияющими на потерю массы образца зуба, являются площадь контакта, притупление, ударная вязкость материала. Уравнение регрессии после определения значимости коэффициентов принимает вид: $\hat{y} = 1,484 + 0,217 \cdot x_1 - 0,160 \cdot x_2 - 0,338 \cdot x_3 + 0,127 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,132 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,093 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$. Адекватность математической модели определяем по критерию Фишера:

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S^2(Y)} = 9,11 ; F_{\text{табл}} = 9,28. F_{\text{расч}} \leq F_{\text{табл}} , \text{ следовательно, модель адекватна. Она}$$

показывает взаимосвязь потери массы стального зуба с такими факторами, как площадь контакта, притупление, ударная вязкость материала. В данном случае на параметр оптимизации перечисленные факторы влияют пропорционально, и на это указывают линейные эффекты. С увеличением значений факторов уменьшаются потери при износе вооружения. Наибольшее влияние оказывают такие факторы как площадь контакта и притупление. Минимальная потеря массы основного металла достигается при использовании материала с максимальной ударной вязкостью, минимальной площадью контакта и максимальном притуплении. На основании планирования разработана методика проведения сравнительного эксперимента. Сравнительные испытания выбраны по причинам сложности бурения горно-геологического разреза и его неоднородности, т.к. нарушается повторяемость экспериментов, что приводит к снижению их информативности; невозможности имитировать в лабораторных условиях ресурсные испытания, для которых требуется разбуривание значительных интервалов; сложности обеспечения форсированных режимов бурения в течение продолжительного временного интервала.

Экспериментальный стенд разработан на базе токарно-фрезерного станка.

Испытания проводятся в следующей последовательности (Рисунок 8):

1. В оснастку шпиндельной части А устанавливаются испытываемые образцы В из перечня возможных конфигураций зубьев. В качестве ответной

детали устанавливается стальная термообработанная планка Г, жестко зафиксированная на подпружиненной балке Б.

2. Обеспечивается вращение шпиндельной секции с постоянной частотой вращения станка 300 об/мин.

3. Ответная деталь устанавливается так, чтобы ширина зоны перекрытия обеспечивала постоянную площадь контакта соударяемых деталей. Энергия одного удара рассчитывается как произведение момента инерции тела и угловой скорости тела и составляет для заданных параметров постоянную величину.

4. Проводится серия ударов, определенная из постоянного количества ударов, для обеспечения повторяемости проведения эксперимента.

5. При одинаковом количестве ударов наблюдается различная степень разрушения имитаторов стальных зубьев. Износ определялся по результатам исследований макроструктуры на наличие дефектов и потере массы образца.

Макроструктурные исследования отработанных образцов приведены в работе, следов катастрофического износа не обнаружено. Основные результаты экспериментов приведены в Таблице 5.

Таблица 5 – Результаты испытаний образцов

Вид напряжения	Стандартная		Усиленная		Пирамидальная	
	19ХГНМА	19ХГНЗМА	19ХГНМА	19ХГНЗМА	19ХГНМА	19ХГНЗМА
Частота вращения, об/мин					300	
Площадь контакта, мм ²					120	
Количество ударов, ед.					300000	
Суммарная энергия, затраченная на опыт, Дж					361800	
Начальная масса, г	217,1	220,4	215,4	213,65	215	217,5
Конечная масса, г	200,6	207,9	207,6	207,15	206,5	212
Потеря массы, г	16,5	12,5	8,0	6,5	8,5	5,5
Потеря массы, %	7,6	5,6	3,7	3,00	3,9	2,6

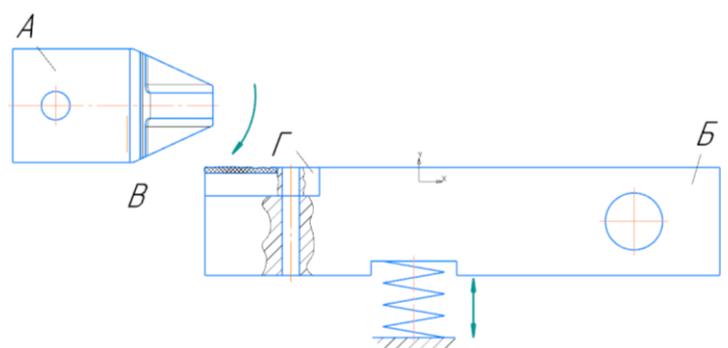


Рисунок 8 – Принципиальная схема станда

В четвертой главе показан процесс разработки конструкция долота с пирамидальным зубом из стали 19ХГНЗМА для шарошек и приведены результаты опытно-промысловых испытаний. Интервал сложен песчаниками, глинами, известняками и включениями доломитов, что соответствует мягким и средним горным породам. В интервалах от 0 до 500 м допускается наличие валунно-галечных отложений с диаметром отдельной фракции до 30 мм. Данные для проектирования: диаметр – 295,3 мм; интервал – 0–1000 м; предел прочности горной породы на сжатие – 3-10 Мпа; угол наклона цапфы – 33 градуса; – параллельное смещение осей – 10 мм; – количество рядов – 7 шт; – тип опоры – герметизированная опора скольжения; – частота вращения – до 280 об/мин; – ожидаемая скорость бурения – не менее 40 м/ч; – код IADC: 117. Схема долота приведена на Рисунке 9, данные по вооружению – в Таблице 6.

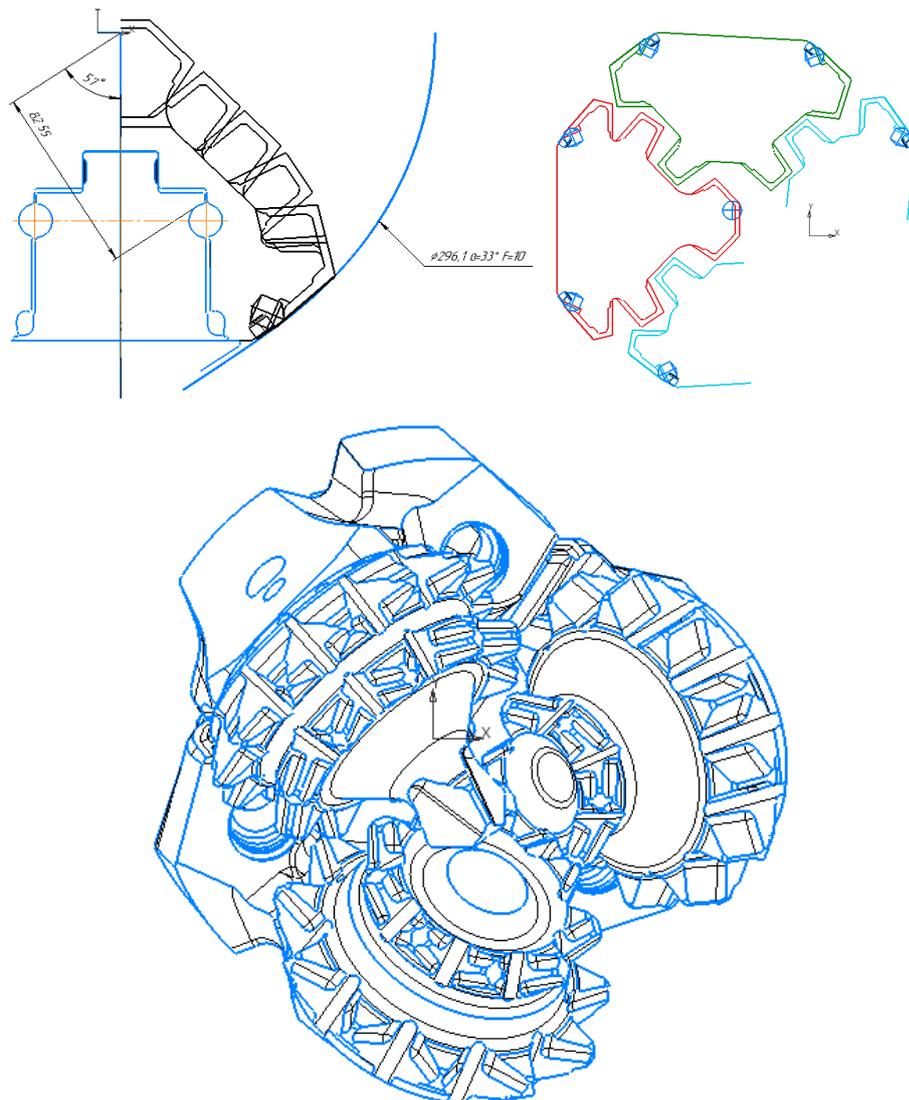


Рисунок 9 – Схема самоочистки и общий вид долота

Таблица 6 – Данные по вооружению шарошек долота

Шарошка №	1			2		3	
	1	2	3	1	2	1	2
Ряд, №	Калибр.	Внутр.	Внутр.	Калибр.	Внутр.	Калибр.	Внутр.
Количество зубьев, шт	13	10	3	12	6	11	8
Высота зуба, мм	29	29	29	29	29	29	29
Притупл. зуба, мм	8	3...14	3...14	8	3...14	8	3...14
Ширина, мм	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9
Угол заостр., °	48	48	48	48	48	48	48
Площадь вершины зуба, мм ²	50	46	46	52	46	52	46

Усовершенствована методика применения шарошечных долот со стальным вооружением при бурении валунно-галечных отложений. Главным выходным параметром при подборе наиболее эффективного режима бурения является достижение наибольшей механической скорости проходки. Данный подход не учитывает скорость износа вооружения при работе в условиях повышенных нагрузок, в том числе ударного характера, которые могут привести к катастрофическому износу вооружения, что снизит эффективность применения породоразрушающего инструмента при бурении. По итогам диссертационных исследований в методическое руководство «МР ЦРБИ 06-2016 Регламент по применению 3-х шарошечных долот производства ООО НПП «БУРИНТЕХ» внесено изменение (изм. от 27.10.2022).

При использовании шарошечных долот в горно-геологических условиях, состоящих из мягких, мягко-средних и средних по твердости горных пород с включениями валунно-галечных отложений, в которых размер фракции сопоставим с размером единичного элемента вооружения и/или окремнелых пропластков необходимо выполнять следующие рекомендации для эффективной эксплуатации шарошечных долот:

- учитывать неоднородность горно-геологического разреза, ориентируясь в подборе режимных параметров бурения на долотную программу, а также на отработки в схожих горно-геологических условиях аналогичных типов инструмента.

- При изменении горно-геологического разреза проводить подбор оптимального режима бурения, при котором достигается максимальная скорость проходки при минимальной осевой нагрузке.

- Контролировать параметры момента на роторе и давления на стояке (при работе с ГЗД) и в случае изменения абсолютных значений выше статистических колебаний проводить контроль прохождения зон с возможным присутствием валунно-галечных или окремнелых пропластков по шламу, выходящему из скважины на вибрационных ситах.

- При обнаружении вышеуказанных фракций выдать рекомендации по снижению осевой нагрузки и частоты вращения до стабилизации момента на роторе и давления на стояке (при работе с ГЗД).

- После прохождения интервала, осложненного валунно-галечными и/или окремнелыми пропластками повторно провести подбор оптимального режима бурения по общеизвестным регламентам для продолжения бурения.

По результатам опытно-промысловых работ на Ванкорском месторождении конструкцией БИТ 295,3 Z2RSJ U700 обеспечено прохождение интервала под кондуктор без значительного износа внутренних рядов (Таблица 7).

Таблица 7 – Фактические данные опытно-промысловых работ

Куст / Скважина, №	207 / 1110	
Интервал бурения, м	30	753
Проходка, м	723	
T бурения, ч	15,1	
T циркуляции, ч	22,89	
V общая, м/ч	47,8	
Износ по коду IADC	0-0-NO-A-EEE-IN-RR-TD	

На диаграмме бурения (Рисунок 10) наблюдается снижение механической скорости проходки в интервале залегания валунно-галечных отложений и снижение осевой нагрузки на долото. Комплекс технико-технологических решений позволил предотвратить износ зубьев стального вооружения и восстановить механическую скорость проходки после интервала валунно-галечных отложений. Визуализация процесса бурения.

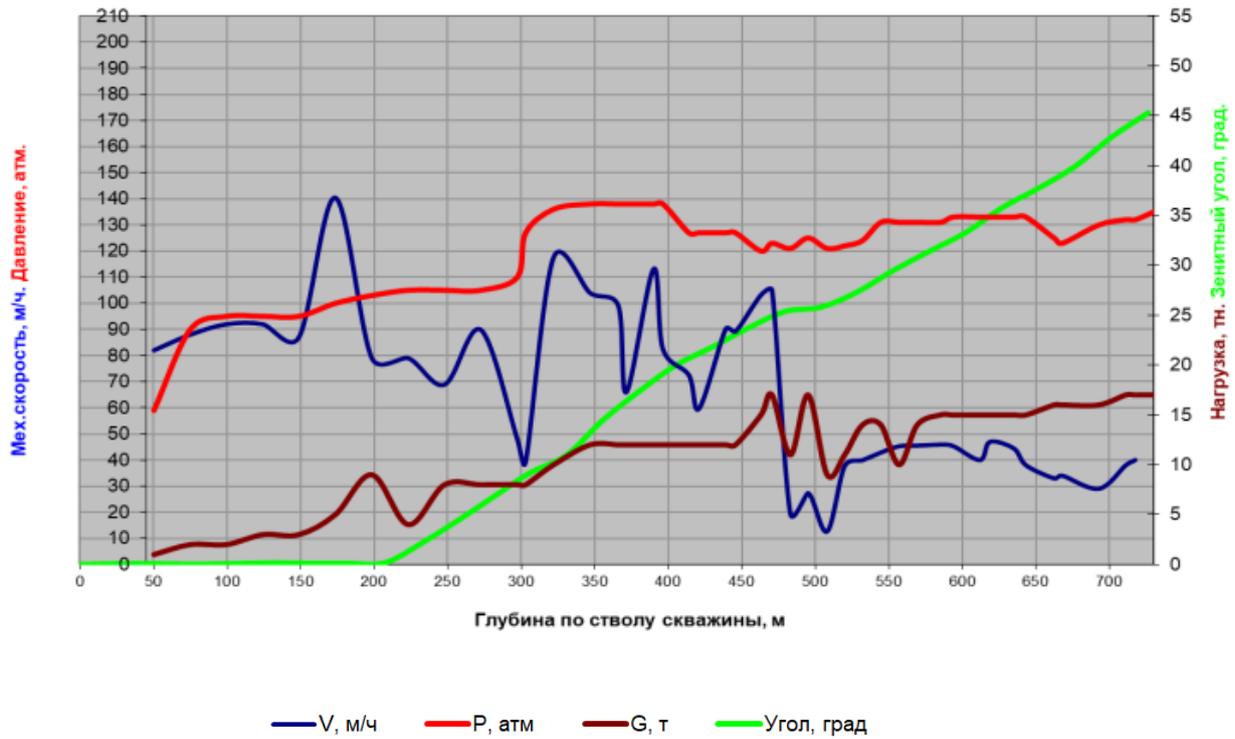


Рисунок 10 – Данные по опытно-промысловой отработке

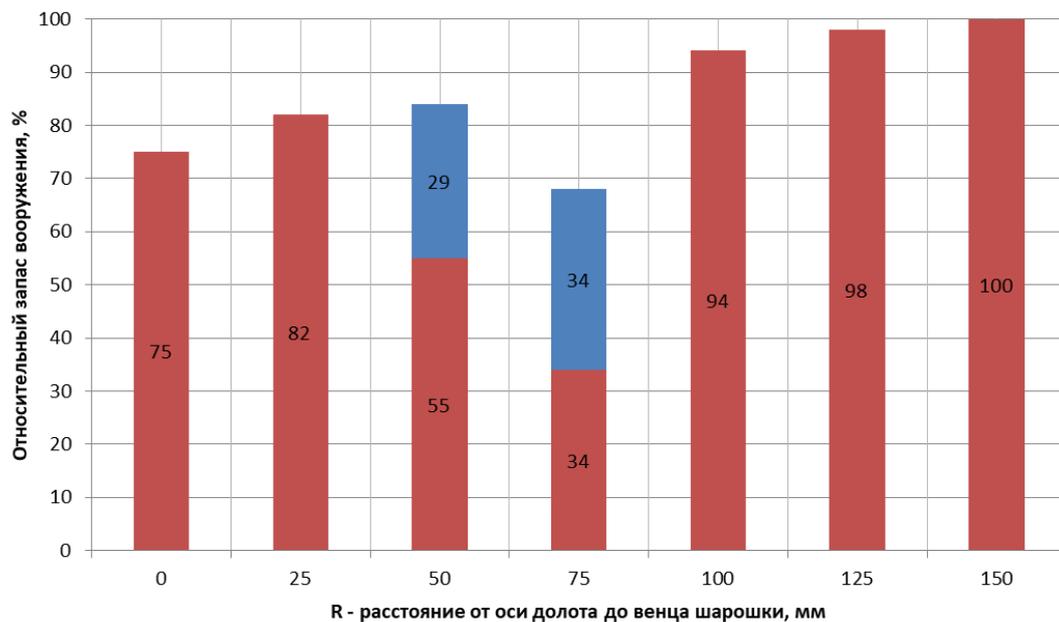


Рисунок 11 – Относительный запас вооружения БИТ 295,3 Z2RSJ U700

Износ долота БИТ 295,3 Z2RSJ U700 при средней скорости проходки 47,8 м/ч: 0-0-NO-A-EEE-IN-RR-TD. Для долота БИТ 295,3 Z2RSJ U700 рассчитан относительный запас вооружения (Рисунок 11), на котором наблюдается прирост относительного запаса вооружения на величину от 29 до 34 % в зависимости от венца шарошки долота, достигнутый за счет внедрения пирамидальной геометрии зубьев внутренних рядов в совокупности с изготовлением из долотной стали

19ХГНЗМА. Увеличение механической скорости проходки за долбление при аналогичных режимных и горно-геологических параметрах свидетельствует о сохранении средней удельной эффективности разрушения забоя. На данный момент проведено более 50 успешных отработок указанной конструкции с внедрением в серийное производство (приложение Г, Ж).

По результатам работы обеспечено повышение производительности бурения мягких, осложненных валунно-галечными отложениями, горных пород путем применения шарошечных долот с конструктивным усилением внутренних рядов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Повышена эффективность бурения мягких горных пород, осложненных валунно-галечными отложениями, путем применения шарошечного долота с пирамидальным стальным вооружением с увеличенным относительным запасом вооружения внутренних рядов.

2. Установлено, что пирамидальная геометрия зубьев обеспечивает наименьшие суммарные напряжения в сравнении со стандартной геометрией и снижает относительную массовую потерю металла при ударных нагрузках более чем в 2 раза за счет наличия ребер жесткости, образующих восьмигранную пирамиду, и изготовления шарошек из стали 19ХГНЗМА.

3. Разработана и внедрена в серийное производство конструкция шарошечного долота БИТ 295,3 Z2RSJ U700, отличающаяся пирамидальным исполнением зубьев внутренних рядов, выполненных из стали 19ХГНЗМА, для применения в условиях мягких горных пород с включениями валунно-галечных отложений.

4. Разработана методика по применению шарошечных долот для бурения разреза мягких горных пород, осложненных валунно-галечными отложениями с внедрением в методическое руководство «МР ЦРБИ 06-2016 Регламент по применению 3-х шарошечных долот производства ООО НПП «БУРИНТЕХ».

5. В результате выполненных опытно-промысловых испытаний подтверждено, что применение шарошечного долота с пирамидальным стальным вооружением внутренних рядов увеличивает износостойкость вооружения без

снижения средней эффективности разрушения горной породы. Секция под кондуктор пробурена за один рейс, увеличена механическая скорость проходки с 26,9 м/ч до 47,8 м/ч при бурении интервалов, осложненных валунно-галечными отложениями в Восточно-Сибирском регионе.

Список опубликованных работ

Статьи из журналов, рекомендованных ВАК РФ:

1. Разработка нового типа геометрии стального вооружения шарошечных долот // Г.Г. Ишбаев, К.Р. Валямов, // Бурение и нефть. – 2023. - №11 – С.44-46.
2. Актуальность адаптации применения шарошечных долот при бурении в переслаивающихся горных породах // К.Р. Валямов, Г.Г. Ишбаев, // Нефтяная провинция.-2023.-№4(36).- С. 359-368.
3. Рассмотрение причин вывода из эксплуатации шарошечных долот // К.Р. Валямов, Г.Г. Ишбаев, // // Нефтяная провинция.-2024.-№1(37).-С. 240-250.
4. Инновационные технологии и опыт нефтесервисной компании «БУРИНТЕХ» // Г.Г. Ишбаев, А.Г. Балута, А.А. Саломатин, В.В. Мыкалкин, К.Р. Валямов, // Бурение и нефть. – 2024. - №4 – С.6-9.

Патенты РФ:

1. Патент РФ на изобретение №2704049. Долотная сталь / Валямов К.Р., Ишбаев Г.Г., Лыжин В.В., Мыкалкин В.В., Гурьев И.С., Балута А.Г., оп. 23.10.2019 г.
2. Патент РФ на полезную модель №212334. Шарошка бурового долота / Ишбаев Г.Г., Валямов К.Р., Мыкалкин В.В., Гурьев И.С., оп. 18.07.2022 г.

Статьи из прочих изданий:

1. Износ шарошечных долот при бурении скважин / К.Р. Валямов, В.В. Мыкалкин, Г.Г. Ишбаев / Современные технологии в нефтегазовом деле – 2017: сборник трудов международной научно-технической конференции в 2-х т. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. – Т. 1. –С. 229-232.
2. Значимость выбора породоразрушающего инструмента для бурения скважин при разработке месторождений/ К.Р. Валямов, О.О. Валямова, В.В. Мыкалкин / VII Международной научно-практической конференции молодых ученых «Экологические проблемы нефтедобычи-2018», / сборник трудов международной научно-практической конференции – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. – С. 14-15.
3. Methods of improving rop and resource characteristics of roller cone bits / K.R. Valyamov, V.V. Sokolova / Материалы 70-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2019. Т.2 – С. 406.
4. Рассмотрение методов повышения ресурса вооружения шарошечных долот / К.Р. Валямов, В.В. Мыкалкин / Международная научно-техническая конференция «Современные

проблемы нефтегазового оборудования» / сборник трудов международной научно-технической конференции – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2019. – С. 64-68.

5. Адаптация применения долот дробяще-скалывающего действия к современным условиям бурения нефтяных и газовых скважин / К.Р. Валямов, В.В. Мыкалкин / 73-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2019» / РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. – Москва, 2019. – Т.1.-С. 435-436.

6. Актуальность подбора шарошечных долот при бурении наклонно-направленных нефтяных и газовых скважин / К.Р. Валямов / XIV Международная научно-практическая конференция молодых ученых, «Актуальные проблемы науки и техники-2021»: сборник трудов международной научно-практической конференции в 2-х т. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2021. – Т. 1. – С.100-101.

7. Актуальность оценки износа шарошечных долот при бурении нефтяных и газовых скважин / К.Р. Валямов / Научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и инновации в области строительства и ремонта скважин»: сборник тезисов докладов – Бугульма: Институт ТатНИПИНефть, 2022. – С. 44 – 45.

8. Влияние режимных параметров бурения на эффективность применения шарошечного породоразрушающего инструмента / К.Р. Валямов / 73 научно – техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ / сборник трудов международной научно-технической конференции – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2022. Т.1 – С. 57.

9. Влияние режимных параметров бурения на показатели отработки шарошечных долот / К.Р. Валямов, И.С. Гуряев / Международная научно – практическая конференция, посвященная 90-летию начала добычи первой башкирской нефти: Сборник трудов – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2022. – С. 274-275.

Прочие публикации:

1. Учебно-методическое электронное издание «Шарошечные долота. Основные узлы. Принцип работы. Область применения» / Г. Г. Ишбаев, Р. А. Исмаков, В.В. Мыкалкин, К.Р. Валямов / УГНТУ, каф. БНГС; Уфа: УГНТУ, 2023. - 1,43 Мб. - Текст: электронный, 27 с.

2. Методическое руководство «МР ЦРБИ 06-2016 Регламент по применению 3-х шарошечных долот производства ООО НПП «БУРИНТЕХ» изм.№556-22 от 27.10.2022г /Мыкалкин В.В., Рашитов И.З., Валямов К.Р. / ООО НПП «БУРИНТЕХ», 2022 – 28 с.