

На правах рукописи



Третьяк Александр Александрович

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ,
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
И ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН КОРОНКАМИ,
АРМИРОВАННЫМИ АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ
ПЛАСТИНАМИ**

Специальность 25.00.14. —«Технология и техника
геологоразведочных работ»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 2017

Работа выполнена в Южно-Российском государственном политехническом университете (Новочеркасском политехническом институте) имени М.И. Платова.

Научный консультант: Попов Виктор Владимирович доктор технических наук, профессор кафедры “Нефтегазовая техника и технологии”, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Официальные оппоненты: Нескормных Вячеслав Васильевич доктор технических наук профессор, заведующий кафедрой “Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых”, институт горного дела, геологии и геотехнологий ФГАОУ ВО, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Горшков Лев Капитонович доктор технических наук, профессор кафедры “Теоретическая механика,” Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург.

Борисов Константин Иванович доктор технических наук, доцент, советник директора ООО “Комплексные услуги безопасности”, г. Томск

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Иркутский национальный исследовательский технический университет”

Защита состоится 23 января 2018 г. в 13⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.121.05 при Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе. Адрес: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направить ученому секретарю диссертационного совета по указанному выше адресу.

Автореферат разослан

_____ 2017г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, советник РАЕН
e-mail: alexpnazarov@yandex.ru



Назаров А.П.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Разведочное, колонковое бурение в комплексе геологоразведочных работ является ведущим как по объему и качеству геологической информации, так и по сумме ассигнований, выделяемых на их производство. Только по Министерству природных ресурсов ежегодно бурится с отбором керна около 3 млн. метров скважин и затрачивается, примерно, 27% всех ассигнований на полевые геологоразведочные работы.

Твердосплавными коронками бурят осадочные, метаморфические и магматические породы с I по VIII категорию по буримости с применением промывочных жидкостей или с продувкой сжатым воздухом. Относительно низкая стоимость твердосплавных коронок, возможность бурения скважин под любым углом к горизонту в разнообразных геологических условиях обусловили широкое применение твердосплавного бурения. Создание новых типов твердых и сверхтвердых сплавов в перспективе расширяет возможности твердосплавного способа, как самостоятельного, так и в комбинации с природными и синтетическими алмазами.

Существующие способы упрочнения твердых сплавов и композиционных алмазосодержащих материалов из-за большой сложности и малой эффективности не нашли широкого применения при создании породоразрушающего инструмента (ПРИ). Практически отсутствуют способы повышения износостойкости серийно выпускаемых буровых коронок. Поэтому исследование проблемы упрочнения породоразрушающего инструмента, создание новых технологий по повышению его эксплуатационных показателей является актуальной проблемой.

Эффективность бурения скважин любого назначения, особенно в твердых горных породах, в значительной степени определяется эксплуатационными показателями породоразрушающего инструмента. Основным ПРИ для бурения скважин в различных геологотехнических условиях являются алмазные и твердосплавные коронки. Для их изготовления используются алмазы, твердые сплавы, легированные стали и различные припои. Все перечисленные материалы имеют высокую стоимость и относятся к категории остродефицитных, поэтому буровой инструмент достаточно дорог и заметно влияет на себестоимость бурения скважин. Этим определяется высокая актуальность поиска путей, обеспечивающих повышение его эксплуатационных показателей.

В данной работе мы попытались обобщить опыт и систематизировать результаты исследований по конструкции кольцевых коронок армированных твердосплавными и алмазно-твердосплавными пластинами (АТП), а также предложить новые технические решения, особенно для бурения горных пород VI-VIII категории по буримости коронками диаметром от 93 мм до 225 мм.

Главной причиной неэффективного бурения с отбором керна в породах VI-VIII категорий по буримости является отсутствие на рынке породоразрушающего инструмента коронок, способных эффективно разрушать такие горные породы.

В настоящее время технология бурения скважин коронками диаметром более 151 мм практически не разработана, особенно по горным породам с изменяющейся категорией по буримости, а коронки диаметром 164-225 мм в заводских условиях не выпускаются.

К настоящему времени опубликовано огромное количество работ, посвященных конструированию и разработке технологии применения твердосплавных и армированных алмазно-твердосплавными пластинами коронок. Наибольший вклад в решение этой проблемы внесли: Г.В. Арцимович, Д.Н. Башкатов, Р.К. Богданов, К.И. Борисов, Ю.Е. Будюков, Н.Н. Буренков, В.С. Владиславлев, Б.И. Воздвиженский, С.А. Волков, В.И. Власюк, В.К. Володченко, Л.К. Горшков, Н.Г. Егоров, А.П. Закора, А.М. Исонкин, А.Г. Калинин, В.Г. Кардыш, А.Т. Киселев, Е.А. Козловский, М.Г. Крапивин, Б.Б. Кудряшов, Н.И. Куличихин, Ю.Ф. Лит-

кевич, Л.А. Лачинян, В.В. Нескоромных, А.И. Осецкий, А.А. Погарский, В.М. Питерский, Б.М. Ребрик, С.Я. Рябчиков, В.И. Спирин, С.С. Сулакшин, Н.В. Соловьев, Н.И. Сысоев, В.С. Федоров, В.Ф. Чихоткин, Ф.А. Шамшев, Л.А. Шрейнер, Е.Ф. Эпштейн, Х. Вутс, Е. Галле, Д. Ламус, Х. Фулerton, В. Мауэр и др.

Сегодня геологоразведочные предприятия России покупают дорогостоящие и невысокого качества коронки за рубежом, а коронки, армированные АТП, вообще никто серийно не выпускает. Поэтому актуальной является проблема разработки современных конструкций коронок диаметром от 93 мм до 225 мм, армированных АТП, внедрение в производство технологий упрочнения и бурения скважин коронками такого типа, особенно горных пород VI-VIII категории по буримости. Серийно выпускаемые в России твердосплавные коронки типа СА, СМ, СТ не решают проблему бурения средне-твердых пород, особенно VIII категории по буримости.

В диссертационной работе содержатся новые научно-обоснованные результаты, исследование которых решает крупную прикладную проблему – разработку новых технических средств и технологий повышения эффективности геологоразведочного бурения.

Цель работы: совершенствование процесса проектирования, изготовления, испытания и внедрения в производство буровых коронок, армированных АТП, с целью повышения эффективности бурения скважин с отбором керна.

Основные задачи исследования:

1. Анализ известных конструкций твердосплавных коронок, технологии бурения геологоразведочных скважин и выбор направления исследований.
2. Развитие теоретических основ разрушения горных пород и расчет конструктивных параметров коронок, армированных АТП.
3. Разработка технологии уменьшения вибрации буровых коронок, армированных АТП.
4. Установление зависимости для определения интенсивности изнашивания АТП по высоте во времени.
5. Разработка оптимальных конструкций коронок, имеющих алмазно-твердосплавное вооружение
6. Экспериментальные исследования разработанных коронок, армированных АТП, в лабораторных и полевых условиях.
7. Установление значения твердости корпуса и вооружения коронок в зависимости от параметров криогенно-магнитной обработки и разработка технологического процесса – “низкотемпературная закалка-магнитный отпуск”.
8. Разработка рациональной технологии бурения скважин коронками, армированными АТП.

Идея работы. Идея настоящей работы заключается в повышении эксплуатационных показателей буровых коронок, армированных АТП, за счет разработки оптимальных конструкций и схем вооружения, методов их упрочнения и технологий применения в различных горно-геологических условиях.

Объектом исследований является породоразрушающий инструмент – буровые коронки, армированные АТП.

Методы исследования поставленных задач имеют комплексный характер и включают анализ и обобщение конструкций твердосплавных и алмазно-твердосплавных коронок, технологий их отработки, теоретических, лабораторных и полевых материалов по данной проблеме, а также результатов собственных аналитических, лабораторных и производственных исследований с использованием современных установок, приборов и вычислительной техники. Для решения данной проблемы нами используются собственные разработки в виде 11-ти патентов RU патент №2359103 “Кольцевая буровая коронка”, RU патент № 2422613 “Кольцевая буровая коронка” RU патент № 2435927 “Кольцевая буровая коронка”, RU па-

тент №102045 “Многоярусное долото режущего типа”, RU патент № 2566523 “Способ упрочнения буровых коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами”, RU патент на полезную модель №92900 “Стабилизирующее двухъярусное долото режущего типа”, RU патент №2445433 “Стабилизирующее двухъярусное долото режущего типа”, RU патент №2439271 “Способ создания нагрузки на забой горизонтальных скважин,” RU патент № 2577351 “Стабилизирующая кольцевая буровая коронка”, RU патент № 2582197 “Буровой раствор”, RU патент № 2613712 “Антивибрационная кольцевая буровая коронка”.

Научная новизна работы:

1. На основании выполненных экспериментов, установлена неизвестная ранее закономерность, позволившая определить, что механическая скорость бурения горных пород коронками, армированными АТП, во всем диапазоне рабочих частот, не зависит от частоты вращения, а зависит только от величины осевой нагрузки, при постоянном количестве промывочной жидкости.
2. Предложен и апробирован новый параметр, позволяющий прогнозировать механическую скорость бурения и проходку на коронку - модуль скорости бурения, установлена его зависимость от контактной прочности горных пород, а также величины удельной нагрузки на АТП буровых коронок.
3. Получены зависимости для определения скорости бурения и наработки буровых коронок, а также интенсивности изнашивания АТП по высоте во времени от задаваемых параметров режимов бурения.
4. Установлены значения величины твердости АТП, корпуса коронки и паянного слоя от параметров технологического процесса криогенно-магнитного упрочнения по схеме : “низкотемпературная закалка - магнитный отпуск”.

Основные защищаемые положения:

1. Экспериментальные исследования по разрушению горных пород целесообразно использовать при проектировании, изготовлении и прогнозировании механической скорости бурения, а также разработке рациональной технологии бурения скважин коронками, армированными АТП, с учетом прироста площадки затупления во времени.

2. Проектирование и изготовление буровых коронок, армированных АТП, и предназначенных для бурения горных пород VI-VIII категории по буримости, необходимо осуществлять в соответствии с разработанной методикой, позволяющей сформировать последовательность обоснования, а также выбора их конструктивных параметров.

3. Существенное повышение проходки и износостойкости коронок, армированных АТП, а также механической скорости бурения горных пород VI-VIII категорий по буримости достигается за счет предложенного нами технологического процесса – “низкотемпературная закалка - магнитный отпуск”.

4. Выполненные теоретические, экспериментальные и полевые исследования позволили установить оптимальные технологические параметры бурения горных пород VI-VIII категорий по буримости и оценить эффективность применения коронок, армированных АТП.

Практическая значимость работы:

1. Разработан графо-аналитический метод определения модуля скорости бурения .
2. Разработан метод определения прироста площадки затупления АТП во времени.
3. Апробирован метод, позволяющий рассчитать механическую скорость бурения поинтервально в течении всего времени отработки коронки
4. Созданы принципиально новые технологии изготовления, упрочнения и отработки буровых коронок, армированных АТП.
5. Разработан целый ряд буровых коронок, армированных АТП, диаметром 93, 112,123,151, 164,184,225 мм для бурения, как с помощью колонковой трубы, так и с помощью снаряда КССК, для коронок типа PQ по технологии Wire Line. При этом разработаны два способа крепления АТП на корпус коронки - механический и с помощью пайки.

6. Разработана технология уменьшения вибраций при бурении горных пород коронками, армированными АТП, позволяющая оптимизировать режимные параметры по критерию максимальной механической скорости бурения.

7. Разработана новая ресурсосберегающая технология упрочнения буровых коронок, армированных АТП, в жидком азоте с последующей магнитно-импульсной обработкой.

8. Разработан технологический регламент для бурения геологоразведочных скважин коронками, армированными АТП, по горным породам VI-VIII категорий по бурению.

9. Разработки по теме диссертаций внедрены в ОАО “Алроса” – Республика Саха – Якутия и в Ростовской буровой компании.

10. Результаты диссертационных работ используются в учебном процессе кафедры “Нефтегазовая техника и технологии” ЮРГПУ (НПИ) при изучении дисциплин: “Основы бурения”, “Технология бурения нефтяных и газовых скважин”.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены и одобрены на:

- Международных конференциях «Новые идеи в науках о Земле», Москва РГГРУ 2011г, 2016г, 2017 гг.

- 58, 59, 60 Научно-технических конференциях ППС и научных работников, аспирантов и студентов ЮРГТУ (НПИ), Новочеркасск 2009-2011 гг.

- VIII Международной научно – практической конференции «Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования», 2009г., г. Новочеркасск

- X Международной научно - практической конференция «Методы и алгоритмы прикладной математики в техники, медицине и экономике», Новочеркасск, 2010г.

- XII Всероссийское угольное совещание, 2010 г., г. Ростов на Дону.

- VIII Международная научно-практическая конференция 2009г. г. Новочеркасск.

- Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Ростовской обл., 2010 -2011 г. г. Новочеркасск.

- Международной молодежной научной конференции “ Нефть и газ”-2015 г, Москва, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина.

- II Всероссийской научно-практической конференции “Инновации в современной геологической науке и практике” СОФ МГРИ-РГГУ, 2016 г. г. Старый Оскол.

- Международной научно-практической конференции “Бурение в осложненных условиях”, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 5-6 октября 2016 г.

Публикации. Основные научные положения и результаты диссертационной работы отражены в 50 печатных работах, в том числе в двух монографиях, одной статьи в издании, входящей в Scopus, 16 печатных работах, изданных в журналах рекомендованных ВАК, 14 тезисах докладов, 11 патентах на изобретение.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций базируется на большом объеме производственных и лабораторных исследований, их современной методике, положительных результатах внедрения разработанных методов и технических средств использовании теоретически обоснованных и проверенных методов исследования, сходимости расчетных данных с результатами лабораторных исследований, а также больших объемах экспериментов.

Личный вклад автора заключается в определении стратегии исследований, постановке научных задач исследований и разработке методов их решения, разработке программ и методик экспериментальных и аналитических исследований, непосредственном участии автора в проведении всех исследований, результаты которых приведены в диссертации. Работа выполнена по материалам полученным в результате проведения НИР по двум контрактам с Министерством образования и науки РФ и четырем хоздоговорам с ОАО “Алроса”.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, шести глав, основных выводов и рекомендаций, изложенных на 319 страницах текста в редакторе MS Word, содержит

90 рисунков, 39 таблиц, список использованных источников из 195 наименований и двух приложений.

Диссертация является результатом производственных и научно-исследовательских работ, выполненных на кафедре “Нефтегазовая техника и технологии” ЮРГПУ (НПИ), а также по двум госконтрактам с Министерством образования и науки РФ - № П 458 от 13.05.2010г., №2645 от 2.12.2009 г. и по четырем хоздоговорам с ОАО “Алроса” - договор № 0507 от 05.07.2007г., договор № БН от 25.03.2008г., договор № 2005 от 25.07.2008г., договор №44/12 от 17.09.2012г. При подготовке диссертации использованы также материалы экспериментальных исследований выполненных по госбюджетной НИР №5.10 “Разработка современных конструкций породоразрушающего инструмента” (2010-2011 гг.).

Работа базируется на теоретических и экспериментальных исследованиях отечественных и зарубежных специалистов, а также разработках выполненных лично автором.

Автор считает своим долгом выразить признательность кандидатам технических наук Н.Н. Буренкову и Ю.Ф. Литкевичу за советы и ценные замечания, а также сотрудникам кафедры “Нефтегазовая техника и технологии” ЮРГПУ (НПИ) за оказанную поддержку и рекомендации при выполнении диссертационной работы. Особую благодарность автор выражает своему научному консультанту доктору технических наук, профессору В.В. Попову (ЮРГПУ (НПИ)), оказавшему помощь и поддержку при подготовке и апробации работы.

Содержание работы

Во введении рассматривается актуальность выбранного направления исследования, излагаются цели, задачи и методы исследования, научная новизна, основные защищаемые положения, личный вклад автора, практическая значимость и апробация работы, структура и объем диссертации.

В первой главе приведен анализ известных конструкций твердосплавных коронок, армированных АТП, описан анализ факторов, определяющих их эксплуатационные показатели. Сформулированы цели, задачи и основные вопросы исследований.

Во второй главе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований по разрушению горных пород, расчету конструктивных параметров буровых коронок, армированных АТП.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований по разработке и изготовлению буровых коронок, армированных АТП, с учетом влияния вибраций на их прочностные свойства, дано описание технологии крепления АТП на корпус коронки.

Четвертая глава посвящена разработке технологии упрочнения буровых коронок, армированных АТП. Дано описание теоретических исследований по криогенно-магнитной технологии упрочнения, детально описан криогенно-магнитный способ упрочнения, выполнены экспериментальные исследования процессов криогенно-магнитного упрочнения, обосновывается перспективность применения криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок.

Пятая глава отражает современное представление о технологических режимах отработки буровых коронок, армированных АТП. Дано описание экспериментальных испытаний, разработанных коронок, приведен технологический регламент их отработки. Установлены зависимости механической скорости бурения от конструктивных параметров коронок и параметров технологии бурения горных пород VI-VIII категории по буримости, сформулированы основные направления дальнейших исследований по технологии бурения горных пород коронками, армированными АТП.

В шестой главе проведен расчет экономической эффективности отработки коронок, армированных АТП.

В заключении приводятся основные выводы и рекомендации.

Первое защищаемое положение: экспериментальные исследования по разрушению горных пород целесообразно использовать при проектировании, изготовлении и прогнозировании механической скорости бурения, а также разработке рациональной технологии бурения скважин коронками, армированными АТП, с учетом прироста площадки затупления во времени.

Возможность прогнозирования механической скорости бурения во многом определяет экономическую эффективность геологоразведочных работ. Наши исследования позволили не только подтвердить некоторые известные результаты экспериментов (Нескоромных В.В, 2015 г.), но и предложить новую зависимость для прогнозирования механической скорости бурения.

Известно что нагрузка на коронку и частота вращения влияют на механическую скорость, однако в какой степени происходит это влияние до конца не выявлено. В результате выполненных экспериментальных исследований нами была составлена методика (рисунок 1), позволяющая рассчитать механическую скорость бурения поинтервально в течении всего времени отработки коронки. Решение данной задачи позволило определить зоны факторов, обеспечивающих максимальную скорость бурения в пределах точности эксперимента, с целью подбора оптимальных режимов. Было выполнено в лабораторных условиях экспериментальное бурение породы с одинаковой контактной прочностью $R_k=1780$ МПа. Основные технологические параметры бурения: осевая нагрузка - 12кН, 20 кН, 28кН, частота вращения от 90 об/мин, 155 об/мин, 280 об/мин, 430 об/мин, количество промывочной жидкости 110 л/мин. Бурение выполнялось на стенде, оснащённом буровым станком СКБ-4, промывочным насосом НБЗ-120/40, расходомером ППД-113, тахометром для измерения частоты вращения, секундомером и мерной линейкой, установленной на направляющих механизма подачи.

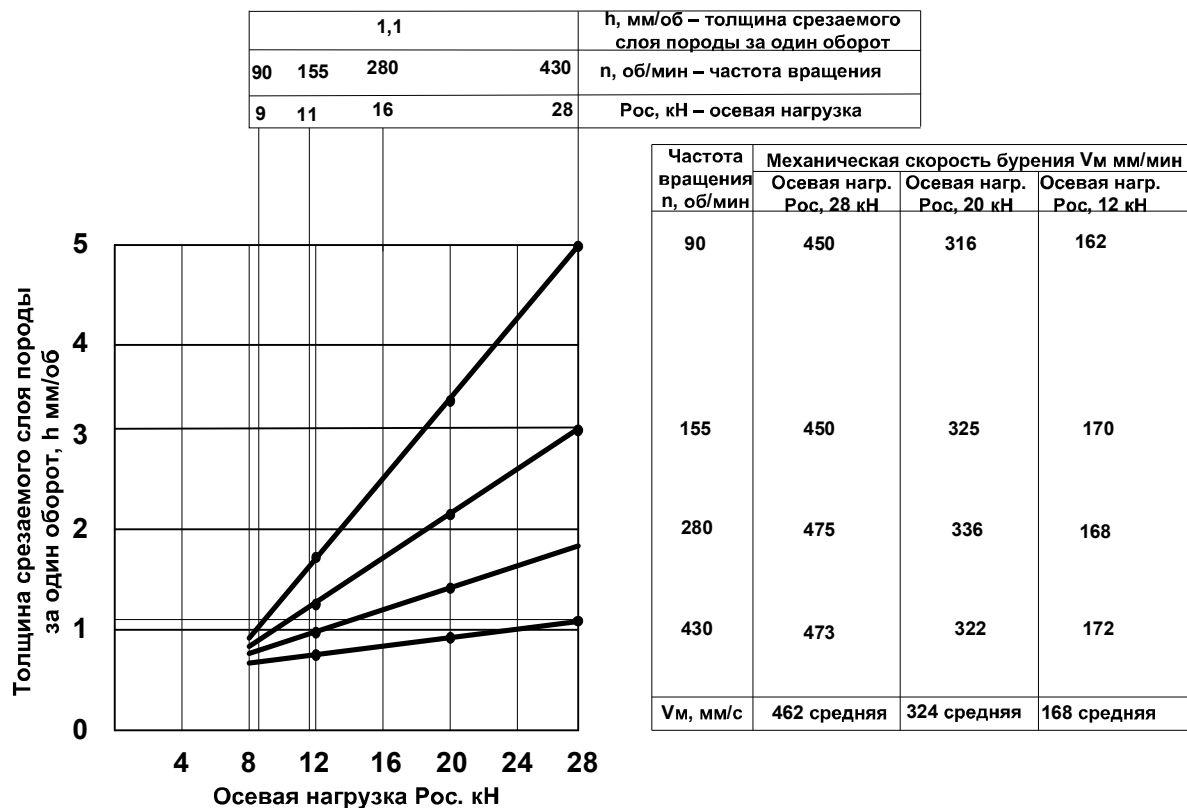


Рисунок 1. Зависимость интенсивности разрушения δ от осевой нагрузки P_{oc} и частоты вращения n

Обработка результатов эксперимента была выполнена следующим образом:

- 1) определяется толщина срезаемого слоя h за один оборот, исходя из формулы:

$$h = \frac{60H}{Tn}, \text{ мм/об}, \quad (1)$$

где: H - глубина бурения, мм;

T - время бурения, с;

n - частота вращения, об/мин.

Данная формула является одной из основных для расчета толщина срезаемого слоя за один оборот (Нескоромных В.В., 2015 г.).

- 2) для значения осевой нагрузки P_{oc} (28 кН) определяется толщина срезаемого слоя h (5 мм/об при 90 об/мин, 2,9 мм/об при 155 об/мин, 1,6 мм/об при 280 об/мин, 1,1 мм/об при 430 об/мин).

- 3) определяется механическая скорость бурения из выражения:

$$V_{мб} = h \cdot n, \text{ мм/мин} \quad (2)$$

Исходя из выражения (2) получим:

1) для частоты вращения 90 об/мин: $V_{мб} = 90 \cdot 5 = 450$ мм/мин,

2) для частоты вращения 155 об/мин: $V_{мб} = 155 \cdot 2,9 = 450$ мм/мин,

3) для частоты вращения 280 об/мин: $V_{мб} = 280 \cdot 1,6 = 448$ мм/мин,

4) для частоты вращения 430 об/мин: $V_{мб} = 430 \cdot 1,1 = 473$ мм/мин,

то есть, среднее значение для всех представленных частот примерно равное и составляет $V_{мб} = 462$ мм/мин.

Это явление объясняется невозможностью внедрения резца на достаточную глубину при высокой скорости резания. То есть, резец не успевает снять достаточную толщину слоя породы.

Таким образом, нами установлена закономерность, позволившая определить, что при бурении горной породы коронкой, армированной АТП, механическая скорость бурения во всем диапазоне рабочих частот не зависит от частоты вращения и зависит только от величины осевой нагрузки, при постоянном количестве промывочной жидкости (рисунок 1).

По каждому эксперименту было выполнено пять замеров при бурении скважин, общее количество экспериментов по одному значению осевой нагрузки равно 20, по всем значениям осевой нагрузки равно 80. Обработка результатов экспериментов выполнялась по известной методике.

Данные исследования подтверждены большим количеством экспериментальных данных, однако предложенные зависимости также не являются оптимальными, так как не включают в себя такие показатели, как износ инструмента, контактную прочность P_k и т.д. Для решения данной задачи нами была предложена универсальная формула для определения механической скорости бурения:

$$V_m = V_0 \cdot \frac{P_{уд}}{P_k}, \text{ мм/мин}, \quad (3)$$

где: P_k - контактная прочность породы, МПа;

V_0 - модуль скорости бурения, мм/мин;

$P_{уд}$ - удельная нагрузка на режущих кромках коронки, определяется по формуле:

$$P_{уд} = \frac{P_{oc}}{\sum F_{зат}}, \text{ МПа}, \quad (4)$$

где: P_{oc} - осевая нагрузка, Н;

$F_{зат}$ - площадь затупления одного режущего АТП, мм²;

Так как сопротивление необработанной поверхности породы внедрению в нее острого инструмента характеризуется контактной прочностью P_k , то для описания процесса бурения крепких пород важно знать соотношение удельной нагрузки и контактной прочности.

Анализ полученных величин показывает, что каждому значению соотношения P_{y0}/P_k соответствует вполне определенная мгновенная скорость проходки V_{mb} . Это позволило предположить физическую зависимость (от действия силы) для определения скорости бурения.

Для нахождения такого параметра, как V_0 - модуль скорости, нами был предложен графо-аналитический метод. Метод заключается в следующем. На экспериментальном стенде бурили породы с различной контактной прочностью, при различных значениях осевой нагрузки, определяли механическую скорость бурения и строили график зависимости V_{mb} от P_{oc} . График продолжали до пересечения с ординатой $P_{y0}=P_k$. Точка пересечения продолжения графика с этой ординатой соответствует скорости V_0 , когда $P_{y0}=P_k$. Обработка результатов определения V_0 для пород с контактной прочностью 650, 960, 1270 и 1780 МПа, представлена на рисунке 2. Модуль скорости бурения, как и критическая скорость резания, с увеличением P_k снижается по кривой $V_0 = \frac{A}{P_k}$.

Таким образом, модуль скорости бурения зависит от свойств породы и параметров режима бурения. Для приближенных инженерных расчетов по определению модуля скорости бурения получена эмпирическая зависимость:

$$V_0 = \frac{4270}{P_k}, \text{ мм/с}, \quad (5)$$

где P_k - контактная прочность породы, МПа,

На основании бурения пород с различной контактной прочностью. $P_k=650$ МПа, 960 МПа, 1270 МПа и 1780 МПа и модулями скорости бурения соответственно $V_0=2,4$ мм/с, $V_0=3,2$ мм/с, $V_0=4$ мм/с, $V_0=6,3$ мм/с. Коэффициент A определяется по формуле $A=V_0 \cdot P_k$.

$A_1 = 2,4 \cdot 1780 = 4272$, мм/с·МПа;

$A_2 = 3,4 \cdot 1270 = 4275$, мм/с·МПа;

$A_3 = 4,4 \cdot 960 = 4265$, мм/с·МПа;

$A_4 = 6,5 \cdot 650 = 4225$, мм/с·МПа;

$A_{\text{сред.}} = 4270$, мм/с·МПа.

При дальнейшей обработке эксперимента определяли среднеквадратичную ошибку по формуле:

$$\bar{A} = \sqrt{\frac{(A_{cp}-A_1)^2 + (A_{cp}-A_2)^2 + (A_{cp}-A_3)^2 + (A_{cp}-A_4)^2}{n-1}}, \quad (7)$$

где: n -число экспериментов.

Подставляя данные в выражение (7), получим $\bar{A}=26,3$

Далее находим коэффициент вариации:

$$K_{\text{вар}} = \frac{\bar{A}}{A_{cp}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

Исходя из выражения (8), получим коэффициент вариации определяемой величины A , который равен 0,6%. Произведя необходимые вычисления, мы можем убедиться в том, что выражение (5) универсально и подходит для определения модуля скорости на породах с различной крепостью.

Для определения наработки проходки коронки необходимо определить интенсивность прироста площадки затупления во времени. Известны исследования наработки твердосплавных инструментов в зависимости от свойств пород и режимов бурения, но имеющиеся результаты исследований невозможно использовать для оценки работоспособности коронок, оснащенных АТП, из-за особенности их износа и формирования площадки затупления на режущих кромках.

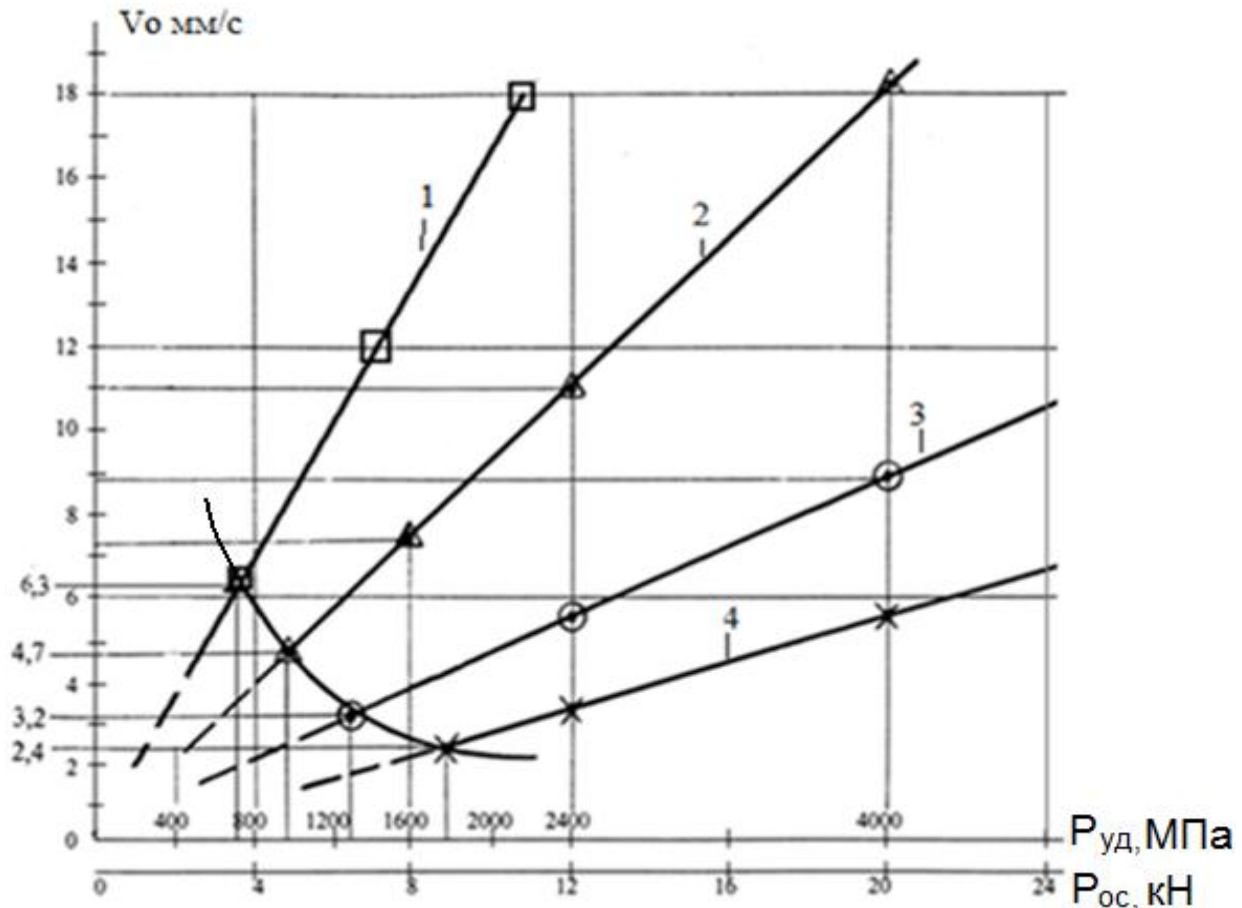
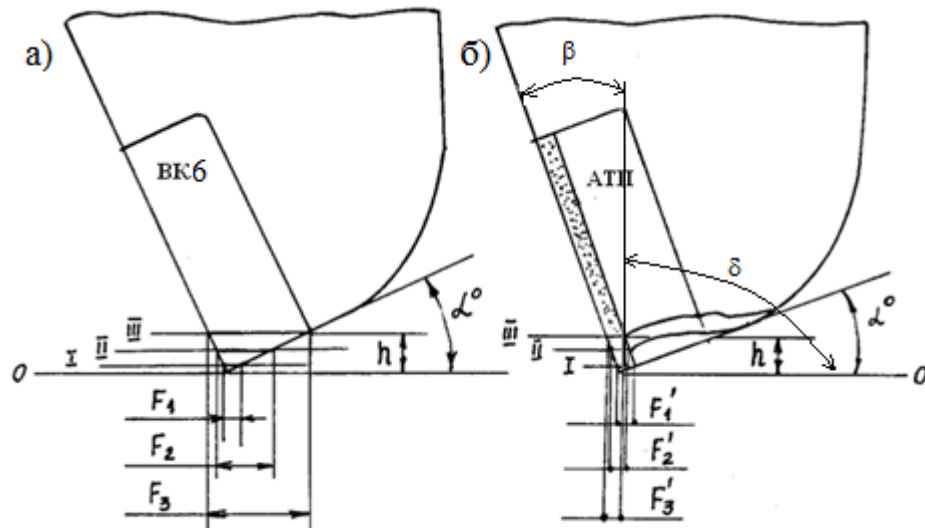


Рисунок 2. Графо-аналитический метод определения модуля скорости проходки V_0 : $V_0=6,3$ мм/с, 4,7 мм/с, 3,2 мм/с и 2,4 мм/с – модуль скорости бурения при $P_{уд}=P_k$ для различных пород
1- $P_k=650$ МПа, 2- $P_k=920$ МПа, 3- $P_k=1270$ МПа, 4- $P_k=1780$ МПа.

На рисунке 3 и 4 представлены схемы износа режущей части буровых инструментов, армированных пластинами из ВК6 и АТП, где: 0 – уровень острой режущей кромки (плоскость резания); I-I – уровень начального износа (притупление режущей кромки); II-II – уровень износа при установившемся режиме работы инструмента; III-III – уровень максимального допустимого износа; F_1, F_2, F_3 , (ВК-6), F'_1, F'_2, F'_3 (АТП) – фронтальные проекции площадей затупления.

У АТП прирост площадки затупления происходит только за счет увеличения длины режущей кромки при постоянной ширине по алмазному слою где $F'_1=F'_2=F'_3$. А так, как коэффициент износа алмазного слоя в АТП в 50 и более раз превышает коэффициент износа вольфрамокобальтовой подложки – это приводит к повышенному износу АТП по задней грани и формированию заднего угла α . Тем самым, АТП самозатачивается. Поэтому, исходя из выполненных исследований, установлено, что для АТП, у которых передний β и задний α углы взаимосвязаны конструктивно, целесообразно принимать меньшие значения заднего угла. Это приведет к уменьшению угла резания δ и уменьшению отрицательного переднего угла β , а следовательно, к уменьшению усилия резания $F_{рез}$.



а – твердосплавной пластины (BK6); б – алмазно-твердосплавной пластины (АТП);
Рисунок. 3 Схемы износа режущей части буровых инструментов

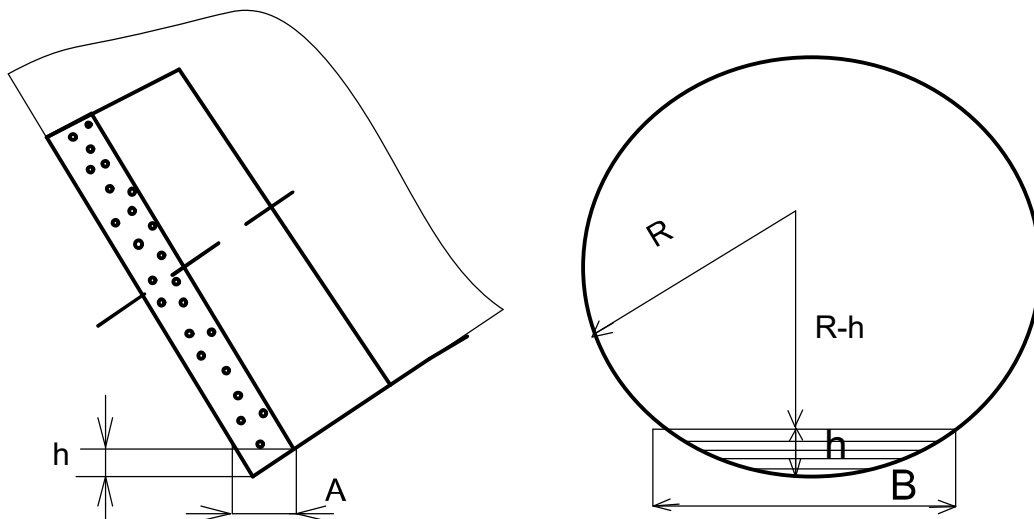


Рисунок. 4 Схема определения прироста площадки затупления АТП.

Площадка затупления определяется по формуле:

$$F_{\text{зат}} = A \cdot B, \text{ мм}^2 \quad (9)$$

где: А-ширина режущей части алмазного слоя, мм; В - длина режущей части площадки затупления, мм. Длина режущей части В (площадки затупления) определяется по формуле (рисунок 4):

$$B = 2 \cdot \sqrt{R^2 - (R - h)^2}, \text{ мм}, \quad (10)$$

где: R- радиус АТП, мм; h-износ по высоте, мм.

Износ АТП по высоте h (во времени) определяется по формуле:

$$h = i_{h(t)} \cdot t, \text{ мм}, \quad (11)$$

где: $i_{h(t)}$ - интенсивность износа по высоте во времени, мм/мин;

t- время работы коронки, мин.

Влияние свойств горных пород на интенсивность изнашивания при бурении коронками малых диаметров является сходным с бурением кольцевыми коронками больших и средних диаметров, вследствие сходства процессов разрушения. Поэтому в качестве базовой для исследования принята формула определения интенсивности прироста площадки затупления во времени (Крапивин М.Г., 1990 г.):

$$i_{F(t)} = P_k \cdot a \cdot \omega_b \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \pi \cdot l_m \cdot n, \text{ мм/мин}, \quad (12)$$

где: P_k – контактная прочность, МПа;

a – абразивность горной породы, мГ;

$l_m = \pi \cdot d$ – путь трения на мерном диаметре, мм;

ω_b – коэффициент износа при бурении, мм/мм (для сплава ВК8 – $1,30 \cdot 10^{-9}$, АТП – $1,54 \cdot 10^{-11}$) мм/мм;

C_1 – коэффициент, связывающий износ инструмента по высоте и по задней грани;

C_2 – коэффициент, связывающий износ инструмента по задней грани и проекцию площадки износа;

d – диаметр коронки, мм;

n – частота вращения, об/мин.

Заменяя коэффициенты C_1 и C_2 на скорость резания $V_{рез}$, которая, как было показано выше, в значительной мере влияет на интенсивность изнашивания, а также добавляя коэффициент превышения скорости резания над критической скоростью резания (рисунок 5) получим зависимость для определения интенсивности изнашивания режущего элемента по высоте во времени $i_{h(t)}$, мм/мин:

$$i_{h(t)} = P_k \cdot a \cdot V_{рез}^{\kappa} \cdot \omega_b \cdot \pi \cdot d_i \cdot n, \text{ мм/мин}, \quad (13)$$

где: P_k – контактная прочность породы, МПа;

a – абразивность породы, мГ ($\frac{\text{мм}^2 \cdot \text{с}}{\text{Нм}}$);

$V_{рез}^{\kappa}$ – скорость резания, м/с;

$\kappa = \frac{V_{рез}}{V_{кр}}$ – отношение фактической скорости резания к критическому значению скорости резания;

ω_b – коэффициент износа при бурении, мм/мм;

d_i – диаметр, на котором установлен i -й режущий элемент, мм;

n – частота вращения, об/мин.

Принимаем за показатель абразивности коэффициент абразивности по Л.И. Барону и А.В. Кузнецову. Изнашиваемость инструмента зависит не только от абразивности горных пород, но и от свойств инструментального материала, характеризующегося коэффициентом износа при бурении – ω_b .

Для ВК8, $\omega_b = 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ мм/мм}$, для ВК6, $\omega_b = 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ мм/мм}$;

Для АТП, $\omega_b = 1,54 \cdot 10^{-11} \text{ мм/мм}$ (до обработки); для АТП $\omega_b = 1,28 \cdot 10^{-11} \text{ мм/мм}$ (после криогенно-магнитной обработки).

Фактором, определяющим критическую скорость резания, горной породы, является критическая температура. Скорость резания должна быть такой, чтобы контактная температура не превышала критического значения. Исследованиями [Литкевич Ю.Ф. 1999 г.] установлено, что для всех твердых сплавов группы ВК с содержанием кобальта от 1 до 8%, критические температуры располагаются в пределах 500-700 °С. Критическое значение контактной температуры на режущих кромках АТП составляет $T_{кр} = 1690$ °С. Кроме того, нами установлены зависимости критических скоростей резания от контактной прочности породы, представленные на рисунке 5.

Выражая критическую скорость резания $V_{рез.кр}$ через контактную прочность P_k и контактную температуру на режущих кромках АТП с $T_{кр}$, получим:

$$V_{рез.кр} = \frac{T_{кр}}{P_k}, \text{ м/с}, \quad (14)$$

Определив значение $V_{рез.кр}$ для АТП и ВК6 при бурении пород с P_k : 1780 МПа, 1270 МПа, 960 МПа, 650 МПа, получим графики зависимости $V_{рез.кр}$ от P_k , представленные на рисунке 5.

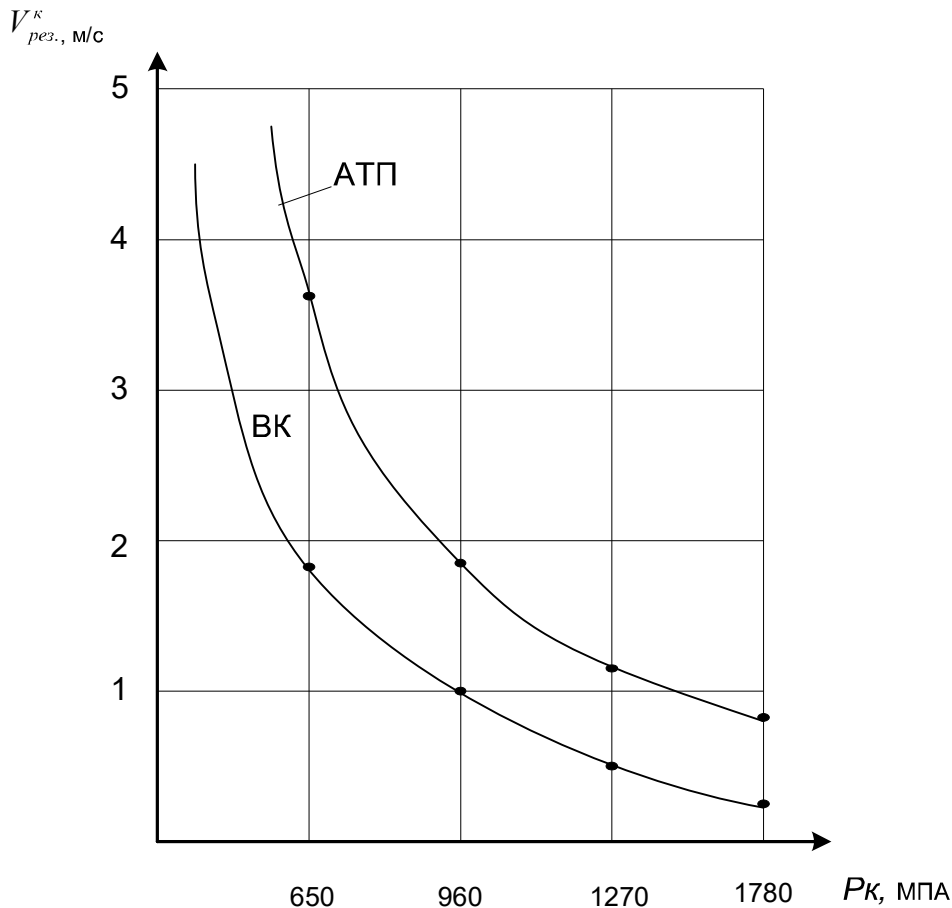
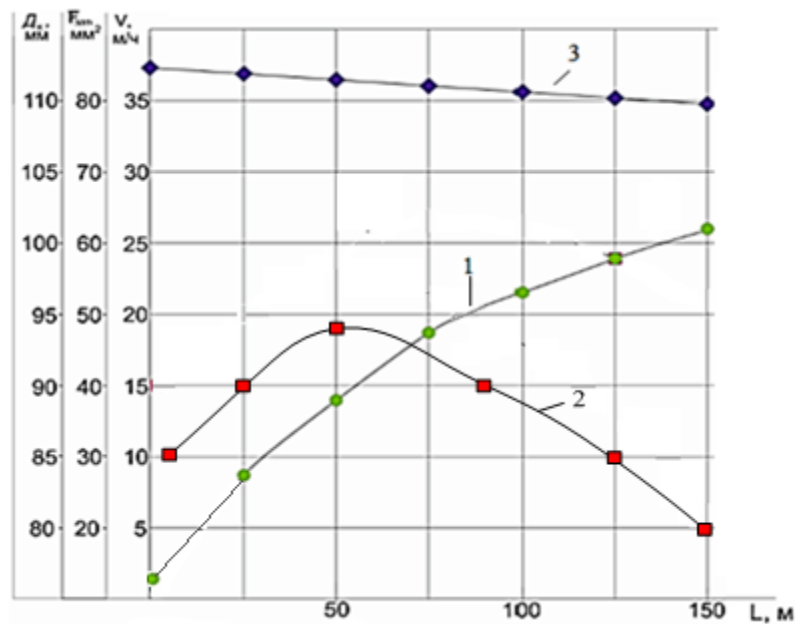


Рисунок 5. Зависимости критических скоростей резания $V_{рез.кр}$ от контактной прочности породы P_k

На основании полученных данных был составлен алгоритм работы коронки при проводке скважины в виде программы «Бурение», на языке Delphi 7. Программа «Бурение» позволяет проводить исследование в широком диапазоне параметров бурения. Принцип работы программы основывается на имитации рабочего процесса проводки скважины в разрезе, сложенном горными породами, толщина слоев и физико-механические свойства которых могут быть заданы и изменены пользователем во время работы. Программа «Бурение» также позволяет задавать режимные параметры и изменять неуправляемые параметры процесса: выбирать тип коронки, состав бурового оборудования, систему промывки, номинальную мощность двигателя.

Выполненные экспериментальные исследования позволяют прогнозировать механическую скорость бурения горных пород коронками, армированными АТП, во всем интервале сооружения скважин, с учетом интенсивности изнашивания резцов по высоте во времени (рисунок 6).



1- площадка затупления мм²; 2-скорость бурения, м/ч; 3-диаметр коронки, мм
Рисунок 6. График изменения механической скорости бурения, площадки затупления и диаметра коронки от проходки скважины

Второе защищаемое положение: проектирование и изготовление буровых коронок, армированных АТП, и предназначенных для бурения горных пород VI-VIII категории по буримости, необходимо осуществлять в соответствии с разработанной методикой, позволяющей сформировать последовательность обоснования, а также выбора их конструктивных параметров.

Разработанные нами коронки изготавливаются классическим способом. Их геометрия и схема установки АТП на короночном кольце позволяет коронке работать в более стабильном режиме. Преимуществом этих коронок является наличие пластин АТП, которые в процессе работы изменяют площадь контакта режущего инструмента (резца) с забоем, самозатачиваются и имеют 30% отработку алмазного слоя. При бурении коронками, оснащенными АТП, в породах средней и выше средней крепости они работают как режущий инструмент, срезая породу. При встрече твердых пород VIII-IX категории по буримости, эти коронки начинают работать в режиме микрорезания (истирания). Коронки предназначены, в первую очередь, для увеличения механической скорости бурения и увеличения проходки. Добиться значительного увеличения технико-экономических показателей работы данных коронок стало возможным за счет ориентированного расположения пластин АТП и последовательной их установки, в результате чего на забое образуются оптимальные, с точки зрения разрушения горной породы, гребенчатовидные канавки.

Предлагаемые буровые коронки имеют большую перспективу по результатам производства и применения. В их конструкции сконцентрировано несколько расчетов по геометрии рабочего торца коронок. Преимущество их перед аналогами заключается в том, что при расчетах учитывалась гидродинамика и использование ее на дополнительное разрушение забоя. В процессе работы коронка с гребенчатовидным рабочим торцом сохраняет заданную трассу скважины, гася возникающие при работе вибрации. Активный процесс теплосъема с торца коронки за счет ее конструкции и свойств АТП также говорит в ее пользу.

Выполненные работы позволили приступить к мелкосерийному производству коронок, армированных АТП. В условиях механических мастерских ЮРГПУ (НПИ) были изго-

товлены и отработаны в полевых условиях ОАО “Алроса” и “Ростовской буровой компании” следующие коронки: ККД-164, ККД-184, АТП-123, АТП-112, АТП-225. Эти коронки являются комплексными, многоцелевыми, то есть эффективно бурят горные породы от VI до VIII категории по буримости включительно. Стоимость их выше стоимости коронок типа СМ, СА, СТ, но расчет экономического эффекта показывает, что применять их выгоднее. Работают эти коронки в режуще-скалывающем режиме, то есть, одинаково эффективно бурят горные породы VI-IX категории по буримости. На коронки, армированные АТП, получено 6 патентов. АТП в коронке установлены под отрицательным углом и таким образом, что на забое образуются гребенчатовидные канавки. Первой нарезается центральная борозда, две боковые борозды нарезаются позже. Такая последовательность углубки забоя способствует уменьшению затрат мощности на разрушение и, как результат, возрастает механическая скорость бурения. Кроме того, установка 2^х боковых АТП под отрицательным углом 15° и с поворотом наружу и вовнутрь под углом 15° способствует улучшению удаления шлама из-под торца коронки, что способствует увеличению механической скорости бурения, при этом увеличивается процент выхода керна и уменьшается возможность его заклинивания. Центральная АТП устанавливается под отрицательным углом 15° и углом поворота равным 0°.

На рисунке 7 приведен общий вид буровой коронки сбоку, на рисунке 8 – вид сверху. Кольцевая буровая коронка режущего типа, содержащая корпус 1 с присоединительной резьбой, разделённая промывочными каналами 2 на секторы 3, которые с торцевой поверхности 4 снабжены резцами 5, 6, 7. Резцы 5, 6, 7, выполненные в виде секторов, армированных алмазно - твердосплавными пластинами, имеют отрицательные передние углы β_1 β_2 в плане к боковым внутренней и внешней поверхностям резания и отрицательные передние углы β_3 к торцевой поверхности забоя скважины, что обеспечивает их самозатачиваемость (патент № 2359103).

На основе этого патента разработана кольцевая буровая коронка режущего типа с механическим креплением алмазно-твердосплавных пластин цилиндрическими клиньями с прижимными винтами (патент RU № 2422613).

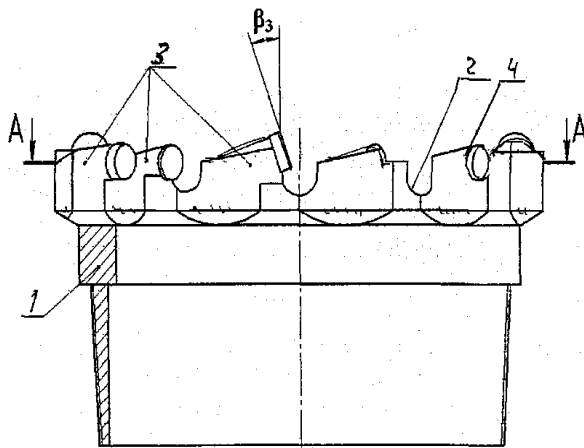


Рисунок 7 Общий вид буровой коронки

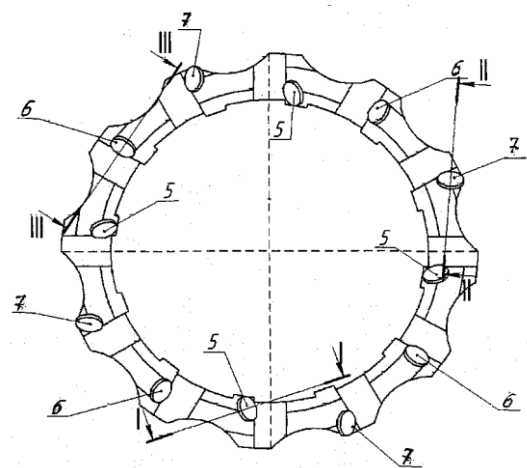


Рисунок 8 Буровая коронка (вид сверху)

Режущие элементы со стороны торцевой поверхности установлены с отрицательными передними углами к поверхности забоя скважины, что обеспечивает их самозатачиваемость, повышает надежность работы и долговечность буровой коронки. На конструкцию коронок получен патент № RU№2435927. К недостаткам выше описанных конструкций относится то, что высота корпуса коронки составляет порядка 70 мм. Коронка содержит основные режущие, кернообразующие и скважинообразующие резцы, но не содержит калибрующих резцов. Расположить их при такой высоте коронки не представляется возможным, учитывая то, что

высота резьбовой части должна быть минимум 40 мм. Отсутствие калибрующих резцов на коротком корпусе, часто, не удерживают коронку от искривления ствола скважины. Недостатком известных конструкций коронок является невозможность добиться плавной траектории бурения скважин, особенно если разрез скважины представлен переслаивающимися по твердости горными породами. Задача – добиться уменьшения искривления ствола скважины, увеличения механической скорости бурения и проходки за счет создания коронки с удлиненным корпусом. Поставленная задача была решена за счет предлагаемой нами удлиненной по высоте на 90 мм, конструкции стабилизирующей буровой коронки, на корпусе которой снаружи наклоненных под углом вправо по ходу вращения дополнительных наружных промывочных каналов размещено от трех до двенадцати АТП диаметром 8 мм. Основные и дополнительные промывочные каналы и АТП выполнены в виде винтовой линии под углом с большим шагом. Каждая из АТП, находящихся в промывочном канале, представляет собой элемент отдельной винтовой линии. Кроме того, каждая из АТП устанавливается и закрепляется за счет пайки с помощью припоя под отрицательным углом от минус 5 градусов до минус 15 (патент № RU №2577351, рисунок 9).

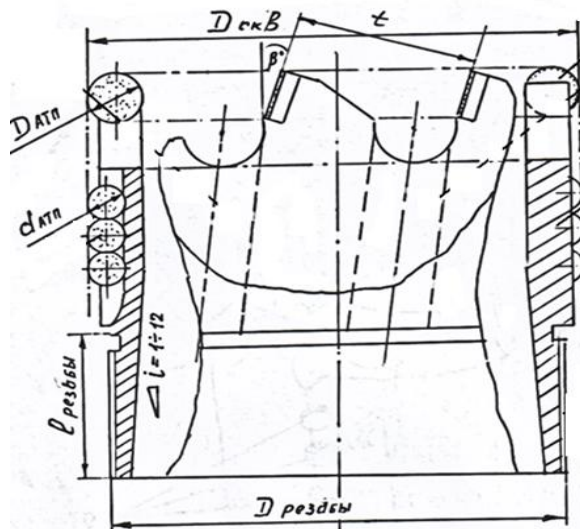


Рисунок 9. Стабилизирующая буровая коронка

С целью уменьшения степени вибрации и увеличения механической скорости бурения разработана стабилизирующая, антивибрационная буровая коронка (рисунок 10). Отличительное конструктивное исполнение коронки способствует уменьшению вибрации, уменьшению искривления скважины и количества сколов, а также поломок АТП, что способствует увеличению механической скорости бурения и проходки на коронку. Стабилизирующая, антивибрационная буровая коронка состоит из корпуса 1 с присоединительной резьбой 2, разделенная основными промывочными каналами 3 на секторы 4, которые с торцевой поверхности снабжены алмазно-твердосплавными пластинами 5, установленными разнонаправленно под углом 10-15° к направлению резания. Основные промывочные каналы 3 и дополнительные промывочные каналы 6 выполнены встречно под углом.

Разработанные, изготовленные и опробованные в полевых условиях стабилизирующие антивибрационные коронки показали высокие результаты работы при бурении горных пород от VI до VIII категории по буримости. Стабилизирующие, антивибрационные коронки особенно эффективны при бурении трещиноватых, переслаивающихся по категории буримости горных пород. При этом сохраняется вертикальная, плавная траектория ствола скважины, снижаются риски аварийности. Расположение основных резцов АТП по предлагаемой схеме обеспечивает прочный зубчатый профиль забоя, ограничивает горизонтальное смещение коронки со стабилизацией оси вращения, то есть уменьшается искривление скважины.

АТП, впаянные в корпус коронки и расположенные по винтовой спирали, предотвращают вихревые движения коронки, при этом уменьшается вибрация, улучшается вынос шлама с забоя.

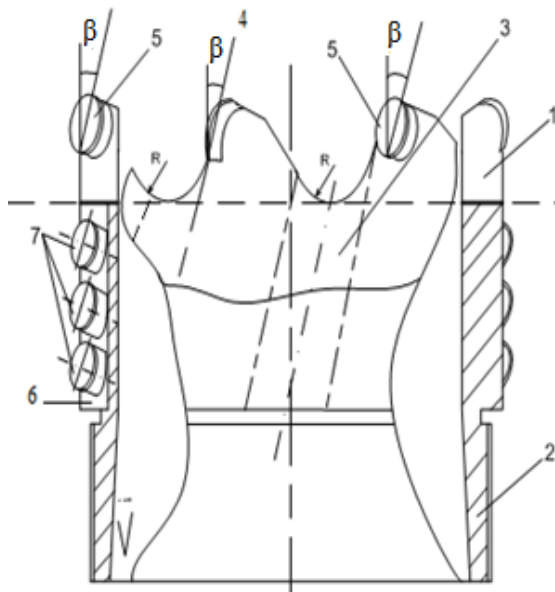


Рисунок 10. Стабилизирующая, антивибрационная буровая коронка

Установка 3^х калибрующих АТП в каждом дополнительном промывочном канале под отрицательным углом от -5° до -15° по винтовой спирали способствует качественной калибровке ствола скважины, улучшает качество промывки за счет усиления режима турбулентности потока, придает плавность траектории бурения и, как результат, уменьшает искривление скважины, увеличивает механическую скорость бурения и проходку на коронку.

Анализ работы коронок показал, что основным источником вибрационного импульса является режущие элементы (АТП), установленные перпендикулярно направлению резания. Сравнительный анализ процессов резания хрупких пород средней крепости единичным резцом (АТП) кольцевой коронки, установленным перпендикулярно направлению резания или под углом к направлению резания, показал значительное уменьшение вибрационного импульса, при одинаковом значении толщины срезаемого слоя породы. Установлено, что вибрационные импульсы от режущих элементов (АТП), разнонаправленные к корпусу кольцевой коронки, в значительной степени гасят друг друга, приводят к уменьшению результирующего его значения. Следовательно, в кольцевых коронках, армированных АТП, все режущие элементы необходимо устанавливать разнонаправленно под углом к направлению резания.

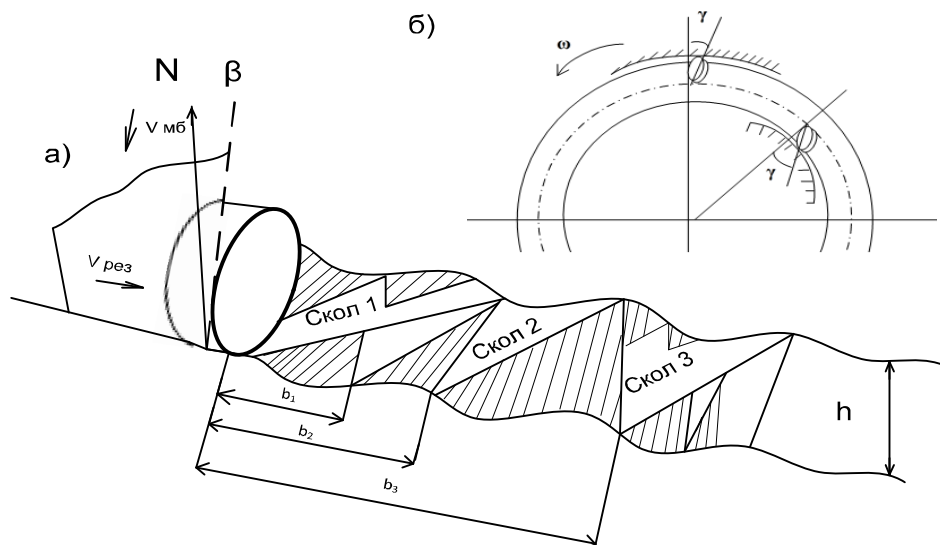
Исследования, выполненные при бурении в лабораторных условиях на станке СКБ-4 с различной толщиной срезаемого слоя и элементов скола, позволили предложить расчетную схему к математическому описанию процесса.

В случае, когда разрушение горных пород осуществлялось АТП, развернутыми на угол, равный 15° , идеализированная осциллограмма усилия резания для хрупких горных пород выглядит сглажено, то есть наблюдается уменьшение степени вибрации буровых коронок. При этом увеличивается механическая скорость бурения и наработка на коронку.

Предложенная схема предусматривает один, два и более промежуточных мелких сколов перед сколом крупного элемента (рисунок 11). Такая волнообразная схема резания горной породы подразумевает возможность формирования толщины срезаемой стружки, определяемой как разность между координатами предыдущего и текущего положения забоя. При этом максимальная толщина стружки $H_{\max}$ и максимальная сила трения $P_{z \max}$ формируется

при наложении выступа волны в предшествующем положении забоя с впадиной текущего положения забоя, а минимальная толщина стружки $h_{\min}$ и минимальная сила резания $P_{z \min}$ образуются при наложении впадины предшествующего положения забоя с выступом текущего положения. Теоретическое осмысление происходящих при этом явлений и процессов дает возможность оптимизировать процесс изготовления и применения буровых коронок, армированных АТП.

С целью выбора оптимальной конструкции буровой коронки и с учетом ранее проведенных работ были выполнены исследования по моделированию 3D оптимальной конструкции. Для решения этих вопросов был использован пакет прикладных программ и с помощью принтера 3D была изготовлена конструкция оптимальной буровой коронки диаметром 112 мм под колонковую трубу диаметром 108 мм. Конструкция коронки аккумулировала в себе все лучшее, что за последние годы нам удалось создать (рисунок 12). То есть коронка удлиненная, стабилизирующая, антивибрационная с установкой торцевых АТП диаметром 13,5 мм, с алмазным слоем 2 мм, под оптимальным отрицательным углом 15° , с разнонаправленным расположением к направлению резания. На наружной поверхности коронки, внутри двух дополнительных промывочных каналов размещены по три калибрующих АТП диаметром 10 мм. Дополнительные промывочные каналы выполнены по всей высоте корпуса коронки по винтовой линии вправо по ходу вращения коронки. Расположенные в ряд три калибрующие пластины диаметром 10 мм представляют собой элемент отдельной винтовой линии и закреплены на корпусе коронки с помощью пайки под отрицательным углом 15° относительно поверхности резания.



а - развернутым единичным резцом кольцевой коронки, б - элемент установлен под углом γ к плоскости резания (вид сверху)

Рисунок 11. Расчетная схема разрушения горных пород развернутым единичным резцом кольцевой коронки

Стабилизирующая и антивибрационная конструкция коронок снижает вибрацию, что приводит к предотвращению износа и поломок АТП, а также повышает механическую скорость бурения и наработку на коронку особенно в трещиноватых и неустойчивых горных породах VI-VIII категории по буримости.

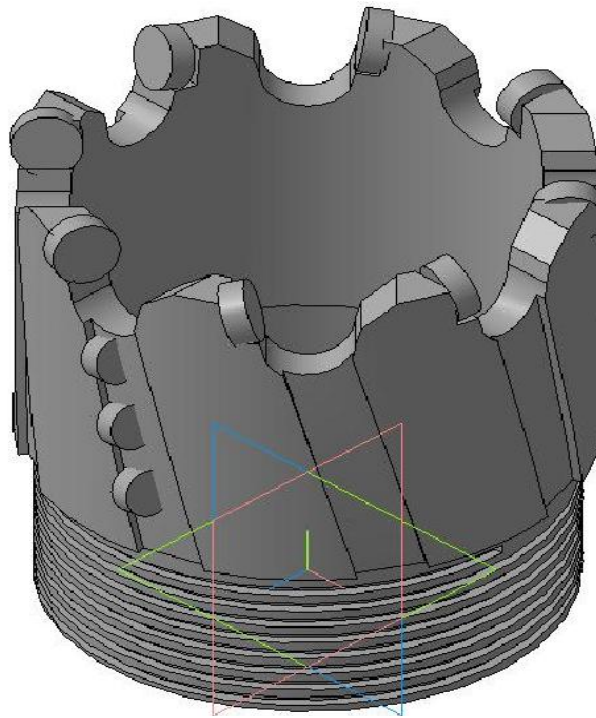


Рисунок 12. Модель 3D стабилизирующей, антивибрационной буровой коронки, армированной АТП

Анализ отработки коронок позволил выявить характер зависимости механической скорости бурения от времени работы коронки на забое. По мере отработки у коронки увеличивается площадка затупления или площадь контакта АТП с горной породой. Анализ закономерностей износа коронок позволил установить оптимальную среднюю углубку за один оборот коронки, на которую следует ориентироваться при отработке коронок для достижения максимальной проходки на последнюю. Оптимальная величина углубки изменяется для различных пород.

Когда резцы с АТП асимметрично внедряются в забой скважины, мгновенный центр вращения перемещается в это место и коронка пытается вращаться вокруг точки, не представляющей геометрический центр. Это создает обратнаправленное движение, или завихрение, поскольку центр вращения движется вокруг ствола скважины против направления вращения коронки. В результате этого создается многолепестковая картина забоя скважины вместо концентрического кругового резания коронкой, то есть возникают вибрации: осевая (продольная), крутильная и боковая (поперечная).

Предложена стабилизирующая, антивибрационная буровая коронка (рисунок 13), содержащая корпус 1 с присоединительной резьбой, разделенный основными промывочными каналами 3 на секторы, которые с торцевой поверхности снабжены алмазно-твердосплавными пластинами 2, имеющими отрицательные передние углы в плане к боковым внутренней и внешней поверхностям резания и отрицательные передние углы к торцевой поверхности забоя скважины, основные промывочные каналы 3 выполнены встречно под углом, кроме того, в корпусе коронки в секторах встречно под углом расположены дополнительные промывочные каналы 4, выполненные по всей высоте корпуса коронки по винтовой линии вправо по ходу вращения коронки, высота корпуса коронки зависит от шага винтовой линии основных и дополнительных промывочных каналов. Алмазно-твердосплавные пластины расположены на торцу коронки разнонаправленно под углом от 10° до 15° к направлению резания. Многоугольник разнонаправленных сил, действующих на коронку, будет на-

правлен в сторону забоя и керна и, как результат, будет происходить гашение вибрации самой коронки, при этом силы, действующие на буровую коронку, при работе ее на забое скважины, будут иметь заданное направление.

Анализ существующих технологических процессов изготовления твердосплавных коронок показал, что наибольшее влияние на стойкость инструмента оказывает процесс пайки. В настоящее время для изготовления твердосплавных коронок для колонкового бурения применяются следующие виды пайки: пайка погружением в расплавленный припой (60 % от общего объема выпускаемых в стране коронок); газопламенная пайка коронок (около 20 %); индукционная пайка коронок (около 20 %). В результате проведения экспериментальных работ по подбору флюсов и припоя было установлено, что лучшим припоем является припой типа ПСР-45, а лучшим флюсом является флюс специальный типа AG8 (паста припойная). Пайку АТП на тело коронки лучше всего выполнять на оборудовании с применением токов высокой частоты (ТВЧ), что и было выполнено в дальнейшем. Оптимальной является температура пайки $550-650^{\circ}$. При такой температуре алмазный слой на АТП не отслаивается и качество пайки АТП на корпус коронки высокое.

Установлено, что вибрационные импульсы от режущих элементов АТП, разнонаправленные к корпусу кольцевой коронки, в значительной степени гасят друг друга, что приводит к уменьшению результирующего его значения. Следовательно, в кольцевых коронках, армированных АТП, все режущие элементы необходимо устанавливать разнонаправленно под углом $10^{\circ}-15^{\circ}$ к направлению резания. (патент RU №2613712).

Поэлементный анализ работы коронок показал, что основным источником вибрационного импульса являются режущие элементы АТП, установленные перпендикулярно направлению резания. Сравнительный анализ процессов резания хрупких пород средней крепости единичным резцом АТП кольцевой коронки, установленным перпендикулярно направлению резания и под углом $10-15^{\circ}$ к направлению резания, показал значительное уменьшение вибрационного импульса, при одинаковом значении толщины срезанного слоя породы.

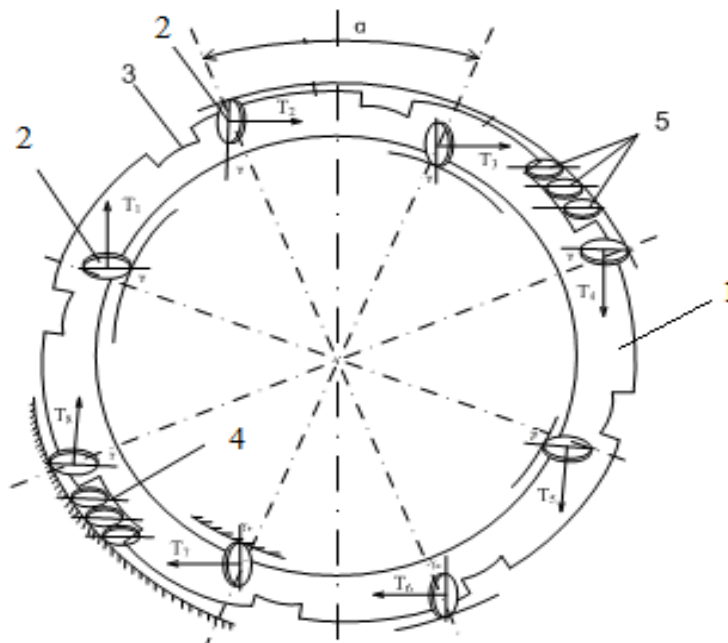


Рисунок 13 Стабилизирующая, антивибрационная буровая коронка, вид сверху

Предложенная схема расположения АТП предусматривает один, два и более промежуточных мелких сколов перед сколом крупного элемента горной породы. Такая волнооб-

разная схема резания горной породы подразумевает возможность формирования толщины срезаемой стружки, определяемой как разность между координатами предыдущего и текущего положения забоя. При этом максимальная толщина стружки $h_{\max}$ и максимальная сила резания $P_{z \max}$ формируется при наложении выступа волны в предшествующем положении забоя с впадиной текущего положения забоя, а минимальная толщина стружки $h_{\min}$ и минимальная сила резания $P_{z \min}$ образуется при наложении впадины предшествующего положения забоя с выступом текущего положения.

Такое конструктивное исполнение коронки способствует уменьшению вибрации, искривления скважины, количества сколов и поломок АТП, что обеспечивает увеличение механической скорости бурения и проходки на коронку. При этом калибрующие АТП закреплены в дополнительном промывочном канале и калибруют стенки скважины, добиваясь уменьшения искривления скважины. Основные алмазно-твердосплавные пластины работают в режиме резания с разнонаправленным усилием. Все это в целом создает возможность улучшить вынос шлама с забоя скважины, уменьшить вибрацию, количество сколов и поломок, придать плавность траектории бурения и, как результат, добиться увеличения механической скорости бурения и ресурса или проходки на коронку. Таким образом, все силы, действующие на коронку, являются разнонаправленными, то есть, направлены в сторону забоя скважины и керна и не дают коронке вибрировать.

Колонна бурильных труб при бурении находится под воздействием нагрузки P , собственного веса P_1 , момента вращения $M_{\text{вр}}$, сил трения и инерции. Остальными силами можно пренебречь, так как они ничтожно малы по сравнению с названными. Под действием перечисленных сил при осевой нагрузке, превышающей критическую, сжатая часть бурильной колонны в стволе скважины принимает спирально-изогнутое положение, при этом колонна бурильных труб прижимается к стенке скважины. Направление спирали может быть как левым, так и правым. Работа коронки на забое скважины происходит под влиянием совокупности технических, геологических условий и тесно связана с компоновкой низа бурильной колонны. Коронке передается момент вращения, осевое усилие, поперечное усилие P_n (при изгибе низа бурильной колонны) и центробежная сила (при нарушении балансировки труб). Кроме того, в искривленном стволе скважины на коронку передается нагрузка, направленная к вертикали. Момент и силы, передаваемые коронке, не постоянны при колебательных процессах в бурильной колонне.

Таким образом, под влиянием вышеперечисленных сил действующих на АТП возникают силы сопротивления. Горизонтальную составляющую активной силы на каждой отдельной АТП можно представить в виде сил $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$, перпендикулярных радиусу, и сил $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$, направленных вдоль радиуса. (рисунок 14).

Исходя из общности схем сил, действующих на коронку, можно представить обобщенную схему проекций горизонтальных сил сопротивления, на которой, кроме сил F и P , действуют: сила, возникающая при изгибе компоновки; центробежная сила, вызываемая неуравновешенностью масс; горизонтальная составляющая от массы коронки и части компоновки низа бурильной колонны, находящейся в скважине.

Схему сил, действующих на коронку, можно свести к одной равнодействующей R . Под влиянием осевой нагрузки и результирующей силы R коронка производит углубление ствола скважины с одновременной калибровкой стенок скважины.

Такое конструктивное исполнение коронки способствует уменьшению вибрации, искривления скважины, количества сколов и поломок АТП, что способствует увеличению механической скорости бурения и проходки на коронку.

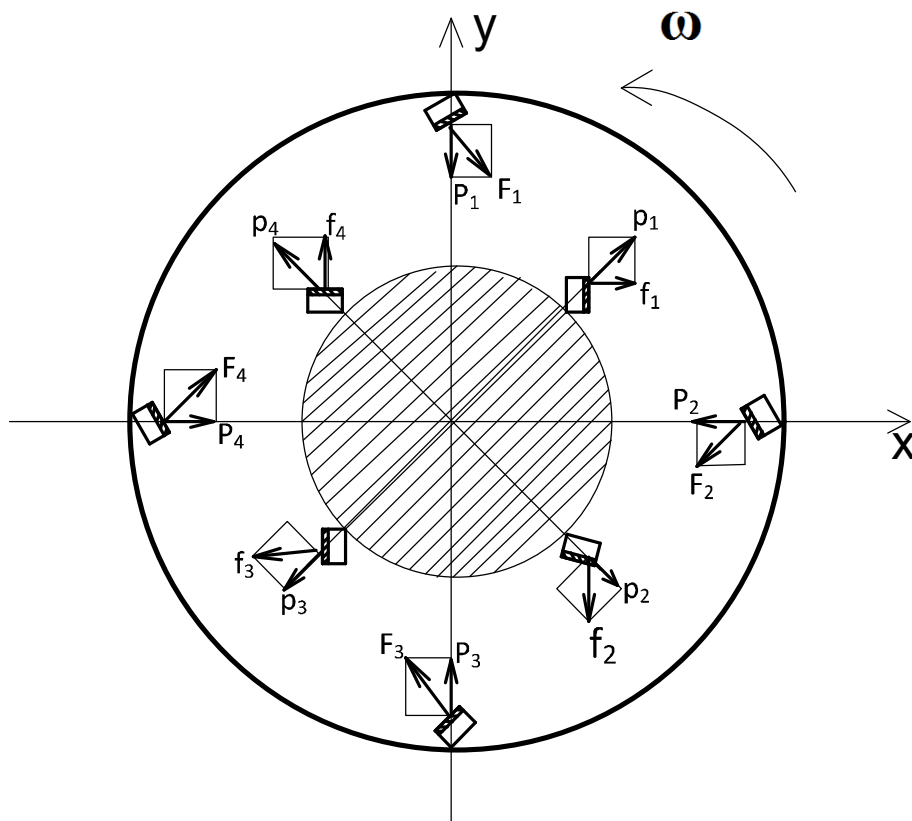


Рисунок 14. Схема проекций горизонтальных сил сопротивления буровой коронке

Экспериментальные исследования выполнялись непосредственно в полевых условиях, на участках работы ОАО «Алроса», на скважинах глубиной до 300 метров. Были установлены виды поломок и структура отказов резцов. Из данных таблицы 1 следует, что наиболее частым видом разрушения режущей части АТП является их износ 50.0%, и скол со стороны передней грани (23.7%), скол со стороны задней грани (14,5%). Резцы буровой коронки при этом еще некоторое время могут работать.

Таблица 1 – Виды разрушения АТП

№ п/п	Вид разрушения	количество поломок	
		шт.	% от общего числа
1	Износ АТП	38	50,0
2	Скол со стороны передней грани АТП	18	23,7
3	Скол со стороны задней грани АТП	11	14,5
4	Отрыв пластины АТП	2	2,6
5	Раздробленный АТП	7	9,2
	ВСЕГО	76	100

Оценивая вышеизложенное и с учетом опыта отработки буровых коронок, армированных АТП, необходимо отметить, что основными причинами вибраций при бурении горных пород VI-VIII категории по буримости являются: неверно подобранная конструкция низа бурильной колонны, отсутствие в комплектации бурового снаряда утяжеленных буриль-

ных труб и амортизатора, нерационально подобранные технологические параметры (нагрузка, частота вращения, количество и качество промывочной жидкости), применение бурового раствора без необходимой смазывающей способности, применение буровых коронок, не способных конструктивно решать вопросы снижения вибраций.

Выполненные исследования показывают, что размах продольных колебаний, при бурении с раствором, обладающим высоким уровнем смазки, снижается в 1,3-1,6 раза, а размах поперечных – в 1,5-2,1 раза. Необходимо заметить, что размах продольных колебаний увеличивается с ростом оборотов снаряда в 2 раза, а при бурении со смазкой только в 1,7 раза, т. е. с увеличением оборотов интенсивность возрастания демпфированных колебаний меньше, чем недемпфированных.

Геологический разрез скважин, для условий работы ОАО “Алроса”, представлен неустойчивыми, рыхлыми, пучащимися породами от II до VIII категории по буримости. С целью уменьшения вибрации, повышения устойчивости ствола скважины и скорости бурения предложен комплексный по свойствам, многокомпонентный, высокомолекулярный ингибирующий раствор, обладающий очень высокими смазывающими, фильтрационными, крепящими свойствами с качественными реологическими параметрами (патент RU № 2582197). Применение именно такого раствора позволило решить проблему отбора керна по всему стволу скважины. Состав раствора: мраморная крошка - CaCO_3 - 2-5%, полианионная целлюлоза - КМЦ 75/700 - 2-10 %, продукт переработки растительного масла - 20%, хлористый калий - KCL - 2-5%, феррохромлигносульфонат - ФХЛС - 1-5%, ацетат калия - CH_3COOK - 1,5-4%, метилсиликонат калия - CHSiOK - 1-4%, бишофит - $\text{MgCl}_6\text{H}_2\text{O}$ - 2-5%, сульфенол - $\text{C}_{18}\text{H}_{29}\text{NaO}_3\text{S}$ - 2-5%, гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость - ГКЖ-11 - 2-5%, пеногаситель - Пента- 465 - 0,5-1%, барит - BaSO_4 - 0,5-5%. Предложенный буровой раствор, имеет параметры: фильтрация - 2- 0 $\text{см}^3/\text{за 30 минут}$, липкость корки около 0, коэффициент трения меньше 0,1, толщина корки меньше 0,5 мм, плотность раствора от 1,1 до 1,2 $\text{г}/\text{см}^3$, условная вязкость по СПВ-5 - 35-40 секунд, пластическая вязкость - 20-40 $\text{мПа}\cdot\text{С}$, СНС 1/10 минут - 15-20/20-30 дПа, содержание песка меньше 0,5%, содержание Ca^{++} больше 16000 $\text{мг}/\text{л}$, содержание Cl^- больше 30000 $\text{мг}/\text{л}$.

Обобщая выполненные исследования по борьбе с вибрацией, необходимо сделать следующие выводы: из трех типов вибраций – поперечной, крутильной и продольной – последняя является самой значимой. Вибрация бурового става всегда нежелательна, так как влияет на износостойкость инструмента. В результате проведения экспериментальных работ по подбору флюсов и припоя было установлено, что лучшим припоем является припой типа ПСР-45, а лучше флюсом является флюс специальный типа AG8 (паста припойная). Пайку АТП на тело коронки лучше всего выполнять на оборудовании с применением токов высокой частоты (ТВЧ), что и было выполнено в дальнейшем. Оптимальной является температура пайки 550-650°C. При такой температуре алмазный слой на АТП не отслаивается и качество пайки АТП на корпус коронки.

Выполненное 3D моделирование и расчет по программе рабочих геометрических параметров коронок, армированных АТП, их изготовление и экспериментальное испытание позволяют сделать следующие выводы:

1. Нарботку коронок с алмазно-твердосплавным вооружением в различных горно-геологических условиях целесообразно определять через интенсивность изнашивания режущих элементов по высоте во времени.

2. Основной средний резец АТП (второй по счету) необходимо устанавливать с передним отрицательным углом 15^0 и углом поворота в плоскости торца, между проекциями радиуса коронки и продольной оси, равным 0^0 .

3. Кернаобразующую АТП (первую по расчету) необходимо устанавливать с передним отрицательным углом 15^0 и углом поворота в плоскости торца, между проекциями радиуса коронки и продольной оси, равным 15^0 .

4.Скважинообразующую АТП (третью по счету) необходимо устанавливать с передним отрицательным углом 15^0 и углом поворота в плоскости торца, между проекциями радиуса коронки и продольной оси, равным 15^0 .

5.Разработанный метод определения геометрических параметров режущей части АТП позволит на стадии проектирования проводить имитационные испытания, по результатам которых конструктор уточняет варьируемые параметры проектируемых резцов и находит их оптимальные варианты.

6.Выполненные экспериментальные и полевые исследования в ОАО “Алроса” на месторождениях кимберлитов показали, что при бурении горных пород VII категории по буримости максимальная механическая скорость бурения 19,8 м/ч была достигнута при использовании коронки 112 АТП с углами, указанными выше, при оптимальных технологических параметрах режима бурения.

Третье защищаемое положение: существенное повышение проходки и износостойкости коронок, армированных АТП, а также механической скорости бурения горных пород VI-VIII категорий по буримости достигается за счет предложенного нами технологического процесса – “низкотемпературная закалка - магнитный отпуск”.

Криогенно-магнитная обработка коронок представляет собой технологический процесс «низкотемпературная закалка – отпуск в магнитном поле», который позволяет повысить основные физико-механические характеристики и качество закрепления АТП в корпусе коронок, что обеспечивает существенное повышение их износостойкости, а также механической скорости бурения.

Выполненные в ВИТР, ТулНИГП, ИСМ НАН Украины, Томском политехническом университете работы по созданию и упрочнению алмазного ПРИ позволили установить научно-обоснованную связь между параметрами коронок, армированных АТП, и технологией бурения с учетом горно-геологических условий разрушения горных пород. Наиболее изучены и имеют практическое применение криогенная обработка коронок с последующим облучением их малыми дозами гамма-квантов, разработанные в Томском политехническом университете и ФГУНИГП “Тулское НИГП”.

Анализ классификации способов упрочнения, разработанной по признаку «глубина упрочнения», показал, что практический интерес для упрочнения ПРИ, работающего в условиях абразивного износа, представляют способы объёмного упрочнения. Наиболее перспективным из них является криогенно - магнитный. На использование криогенно-магнитной технологии упрочнения буровых коронок получен патент (RU№ 2566523).

Механизм упрочнения породоразрушающего инструмента при термическом ударе в области низких отрицательных температур обусловлен изменением тонкой кристаллической структуры твердых сплавов и композиционных материалов за счёт пластической деформации кобальтовой связки в локальных областях по периметру включений (карбид вольфрама, и др.) и имеет субструктурный характер.

Как показывают выполненные экспериментальные исследования, время «памяти» обработанной в магнитном поле коронки и характер релаксационной зависимости имеют плавную, затухающую во времени кривую. Опыты производились на аппарате с постоянными магнитами при напряженности 320 кА/м в течение 15 минут. Зависимость времени релаксации от эффективности криогенно-магнитной обработки буровых коронок показана на рисунке 15.

Анализируя рисунок 15, можно сделать вывод: время «памяти» коронки, обработанной в магнитном поле, довольно значительно и измеряется порядком чуть больше 26 часов, аномальные свойства омагниченных буровых коронок не остаются без изменений, они постоянно релаксируют к тем свойствам, которыми коронка обладала до обработки.

Явления «памяти» при криогенно-магнитном воздействии на буровые коронки может быть рассмотрено с квантово-механической точки зрения. «Память» связана с упорядочением дипольных моментов и образованием новых связей.

Впервые, на уровне изобретения, нами предложен криогенно-магнитный способ упрочнения буровых коронок, армированных АТП, заключающийся в погружении их на 15 минут в жидкий азот (-196°C), с последующим доведением температуры до 20°C и обработки в вращающемся постоянном магнитном поле напряженностью 320 кА/м в течение 15 минут.

Рентгеноструктурным анализом было установлено следующее: при криогенно-магнитной обработке коронок увеличивается плотность дислокаций в карбидной составляющей твердых сплавов. В результате происходит изменение физико-механических (снижение термоЭДС и коэффициента трения, увеличение коэрцитивной силы и твердости) и режущих (повышение до двух раз стойкости резцов) свойств буровых коронок, армированных АТП. Следовательно, криогенная обработка в жидком азоте с последующим отпуском в магнитном поле является весьма эффективным методом повышения стойкости и режущих свойств буровых коронок.

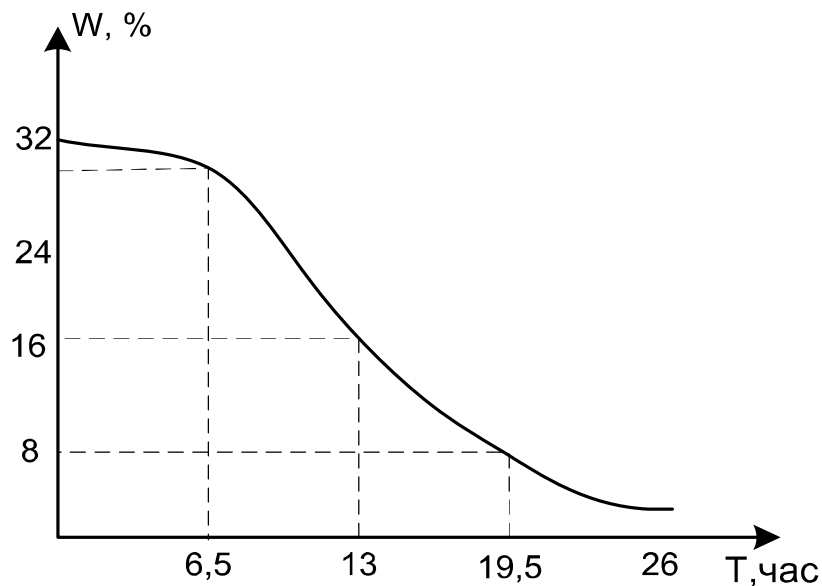


Рисунок 15. Зависимость эффективности магнитной обработки буровых коронок, армированных АТП, от времени релаксации при температуре 20°C

Использование метода рентгеноструктурного анализа позволило получить оценку плотности хаотических дислокаций. После применения криогенно-магнитного способа происходит повышение уровня микроискажений, что может быть связано с повышением количества структурных дефектов, при этом повышается плотность дислокаций. Усложнение структуры дислокационных границ блоков мозаики делает их более стабильными. Установлено, что повторная криогенная термообработка не приводит к изменению уровня остаточных напряжений в коронках.

Теоретические вопросы, касающиеся кинетики процессов, происходящих при криогенно-магнитном воздействии на коронку, армированную АТП, в настоящее время практически не исследовалась. Нами предпринята попытка объяснить с точки зрения физики твердого тела явления и процессы, происходящие при этом.

Экспериментальные исследования по перемагничиванию осуществляли следующим образом. Коронку помещали в постоянное магнитное поле напряженностью 320 кА/м на 10 мин, после чего измеряли твердость тела коронки. После этого коронку размагничивали и

снова в течение 10 минут помещали в постоянное магнитное поле. Твердость измеряли после 12 циклов «намагничивание-размагничивание». Результаты исследования показали, что эффективность магнитной обработки зависит от напряженности и оптимальной является напряженность постоянного магнитного поля, равная 320 кА/м. Повысить твердость корпуса коронок больше 66 HRA не удалось.

Теоретические и экспериментальные исследования способов магнитной обработки породоразрушающего инструмента позволили разработать устройство для упрочнения буровых коронок во вращающемся постоянном магнитном поле. Применение этого устройства позволяет многократно перемагничивать буровые коронки в постоянном магнитном поле напряженностью 320 кА/м. Перемагничивание осуществляется вращением вокруг неподвижно закрепленной буровой коронки постоянных магнитов с разноименными полюсами, закрепленными на столе. При этом скорость вращения постоянных магнитов изменили от 1 об/мин до 10 об/мин, напряженность постоянного магнитного поля при этом не изменялась (320 кА/м). Скорость вращения стола определяет частоту перемагничивания.

Результаты перемагничивания оценивали с помощью рентгеноструктурного анализа и замером величины магнитной напряженности. Длительность перемагничивания изменяли в пределах от 50 до 100 циклов. Перемагничивание буровых коронок привело к появлению в поверхностном слое напряжений сжатия. Исследования структуры перемагниченных коронок позволили установить, что исходная структура буровой коронки имела строение аустенита, а после перемагничивания приобрела мелкодисперсное зернистое строение по всему телу коронки в виде мартенсита.

С целью решения вопросов теории и практики при намагничивании и размагничивании буровых коронок, армированных АТП, в постоянном магнитном поле напряженностью 320 кА/м была разработана математическая модель, позволяющая описать процесс их упрочнения во вращающемся магнитном поле малой частоты. При криогенной обработке происходит “выдавливание” естественного магнитного поля из коронки и АТП. “Магнитный отпуск” необходим для снятия внутренних напряжений после криогенного воздействия и восстановления естественной намагниченности коронок.

Для описания магнитного гистерезиса (поведения буровой коронки в процессе омагничивания) была использована математическая модель Джилса-Аттертона. Она позволяет получить кривые зависимостей для процессов намагничивания и размагничивания (то есть намагничивания в противоположном направлении) для изотропного ферромагнитного материала:

$$\bar{B}(\bar{H}) = \mu \bar{H} = \mu_0 (\bar{H} + \bar{M}(\bar{H})) , \quad (15)$$

В ходе моделирования необходимо для каждого момента времени решать задачу моделирования стационарного магнитного поля с учетом гистерезисных зависимостей. Результатом моделирования будет распределение намагниченности по объему коронки. Для выполнения расчетов необходимо задать начальное распределение намагниченности по объему коронки до внесения ее в магнитное поле омагничивающего устройства. Будем считать, что она была размагничена. Для этого используем известную модель Джилса -Аттертона (Peeg Kis, 2006г.) и исследования (Денисов П.А., 2016 г.). Модель Джилса-Аттертона (рисунок 16) основана на безгистерезисной кривой намагничивания M_{an} и представляет собой дифференциальное уравнение:

$$\frac{dM}{dH} = \frac{\delta_M}{k\delta} (M_{an} - M) + c \frac{dM_{an}}{dH} , \quad (16)$$

где M_{an} – известная безгистерезисная зависимость намагниченности материала от напряженности магнитного поля (такая кривая получается в случае, когда воздействующее

на материал поле имеет две составляющих: постоянную и переменную с затухающей амплитудой),

$k = H_C$ – величина коэрцитивной силы петли,

$c \approx \frac{\mu}{\mu_0} < 1$, μ_0 – начальная магнитная проницаемость, μ – магнитная проницаемость

по безгистерезисной кривой,

$$\delta_M = \begin{cases} 0, & \text{если } dH/dt < 0 \text{ и } M_{an} - M > 0, \\ 0, & \text{если } dH/dt > 0 \text{ и } M_{an} - M < 0, \\ 1, & \text{в остальных случаях} \end{cases}, \quad (17)$$

δ – знак приращения напряженности;

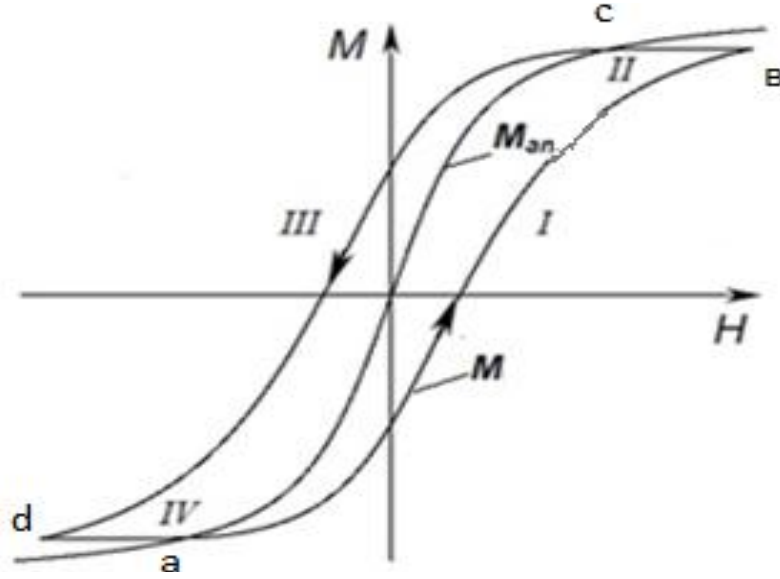
B – магнитная индукция, вебер;

H – напряженность магнитного поля, кА/м;

μ_0 – магнитная проницаемость;

$\vec{M}$ – вектор намагниченности.

Следует отметить, что модель, построенная в виде уравнения, является упрощенной и содержит допущение, что отвечающий за взаимодействие магнитных доменов малый по значению параметр $\alpha = 0$. Данное взаимодействие будет учитываться при моделировании распределения поля.



Участок I: (a,b); Участок II: (b,c); Участок III: (c,d); Участок IV: (d,a), M – восходящая ветвь намагниченности, M_{an} – безгистерезисная кривая намагниченности

Рисунок 16 – Участки намагничивания-размагничивания на петле гистерезиса, согласно модели Джилса -Аттертона.

Уравнение (4.6) имеет численно-аналитическое решение:

$$M^+(H) = \left[\frac{1-c}{k} I^+(H, H_0) + (M_0 - cM_{an}(H_0)) e^{\frac{H_0}{k}} \right] e^{-\frac{H}{k}} + cM_{an}(H),$$

$$M^-(H) = \left[\frac{1-c}{k} I^-(H, H_0) + (M_0 - cM_{an}(H_0)) e^{\frac{H_0}{k}} \right] e^{\frac{H}{k}} + cM_{an}(H), \quad (18)$$

$$M^0(H) = M_0 + c(M_{an}(H) - M_{an}(H_0)),$$

где зависимость $M^+(H)$ описывает восходящую ветвь петли гистерезиса (участок I), соответствующую процессу намагничивания, а $M^-(H)$ – нисходящую (участок III), соответствующую процессу размагничивания, $M^0(H)$ соответствует участкам II и IV ,

функции $I^+(H, H_0) = \int_{H_0}^H M_{an}(t) e^{\frac{t}{k}} dt$ и $I^-(H, H_0) = \int_H^{H_0} M_{an}(t) e^{\frac{t}{k}} dt$ определяются чис-

ленным интегрированием, $M(H_0) = M_0$ – начальная точка процесса или точка реверса, на рисунке 16 обозначена точкой C .

Использование кусочно-постоянной аппроксимации магнитной проницаемости приводит к вытеснению источников поля $\bar{B}_\Phi$ на границы S_{ij} областей однородности, где должны выполняться условия:

$$\begin{aligned} \bar{B}_n^+ &= \bar{B}_n^-; \\ \bar{H}_s^+ &= \bar{H}_s^-, \end{aligned} \quad (19)$$

где $\bar{B}_n$ – нормальная составляющая магнитной индукции; $\bar{H}_s$ – тангенциальная составляющая напряженности; знаки «+» и «-» обозначают расположение со стороны положительного и отрицательного направлений нормали соответственно.

Граничные условия позволяют для моделирования магнитного поля реакции ферромагнетика использовать ПДС φ_Φ , введенный следующий образом:

$$\bar{B}_\Phi = -\mu_0 \text{grad} \varphi_\Phi. \quad (20)$$

Данный подход делает потенциал двойного слоя магнитных зарядов (ПДС) совместимым с потенциалом прослой магнитных зарядов (ППС) и удобен для моделирования поля постоянных магнитов. Равенством потенциал φ_Φ определяется с точностью до постоянного слагаемого в каждой элементарной области ферромагнетика и окружающем его пространстве.

При размещении на границах элементарных областей ферромагнетиков двойного слоя фиктивных магнитных зарядов его плотность τ определяется из интегрального уравнения второго рода:

$$\tau(Q) + \frac{\lambda_Q}{2\pi} \iint_{S_\Phi} \tau(P) \frac{\bar{r}_{PQ} \cdot \bar{n}_P}{r_{PQ}^3} dS_P = -2\lambda_Q \mu_0 \varphi_0(Q) + C_{ij}, \quad (21)$$

где точка Q пробегает поверхность всех элементарных областей разбиения ферромагнетика S_Φ ; $\lambda_Q = (\mu_Q^- - \mu_Q^+) / (\mu_Q^- + \mu_Q^+)$; μ_Q^+ и μ_Q^- – магнитные проницаемости со стороны положительного и отрицательного направлений нормали в точке Q соответственно; $\bar{r}_{PQ}$ – расстояние от точки P до точки Q ; $\bar{n}_P$ – нормаль в точке P ; φ_0 – ППС поля внешних источников; значения констант C_{ij} в правой части, возникающих при переходе в

условии (21) от напряженности к потенциалу, калибруются выбором значений постоянных в определении φ_{Φ} .

Однородный постоянный магнит удобно моделировать на основе ППС с плотностью $\mu_0 M_n$, где M_n – нормальная составляющая намагниченности. Тогда напряженность магнитного поля, создаваемого постоянным однородно намагниченным магнитом в точке Q , может быть вычислена интегрированием по поверхности магнита:

$$\bar{H}_{\text{ПМ}}^{PM}(Q) = \frac{1}{4\pi} \iint_{S_{\text{ПМ}}} M_n(P) \frac{\bar{r}_{PQ}}{r_{PQ}^3} dS_P. \quad (22)$$

Магнитная индукция, создаваемая постоянным магнитом, будет равна:

$$\bar{B}_{\text{ПМ}}^{PM} = \mu_0 (\bar{H}_{\text{ПМ}}^{PM} + \bar{M}) \text{ – внутри постоянного магнита;} \quad (23)$$

$$\bar{B}_{\text{ПМ}}^{PM} = \mu_0 \bar{H}_{\text{ПМ}}^{PM} \text{ – вне постоянного магнита.} \quad (24)$$

Потенциал постоянного магнита, связанный с напряженностью соотношением $\bar{H} = -\text{grad}\varphi$, задается равенством

$$\varphi_{\text{ПМ}}^{PM}(Q) = \frac{1}{4\pi} \iint_{S_{\text{ПМ}}} M_n(P) \frac{1}{r_{PQ}} dS_P. \quad (25)$$

Описанная модель предполагает, что постоянные магниты намагничены однородно. Предложенная математическая модель медленно изменяющегося магнитного поля позволяет выполнить моделирование трех этапов (внесение, вращение, извлечение коронки), а также получить траекторию движения рабочей точки на плоскости М-Н (намагниченность-напряженность магнитного поля) на всех участках коронки.

При наложении импульсных магнитных полей ферромагнитная коронка испытывает магнитострикционные напряжения и деформации, в результате которых происходит микропластическая деформация субмикрообъектов коронки, проявляющаяся в изменении структуры. Это явление называется магнитострикционным упрочнением корпуса коронки, паяного слоя и твердосплавной подложки ВК 20.

После магнитной обработки структура коронки была исследована электронно-микроскопическим методом декорирования. В результате магнитной обработки частицы корпуса коронки оказались ориентированными по плоскостям и образовали слои, характеризующие границу между двумя твердыми фазами (корпус коронки – паяный слой).

При вращении ферромагнетика (коронки) в постоянном магнитном поле, из-за явления гистерезиса, направление намагниченности тела составляет с направлением поля некоторый угол. В результате возникает скручивающий момент, приводящий к появлению в теле касательных напряжений. Индукционные токи, взаимодействуя с внешним полем, создают пондеромоторные силы, которые тоже могут служить причиной появления внутренних касательных напряжений. Таким образом, перемагничивание сопровождается достаточно большим числом электромагнитных, тепловых и механических воздействий на ферромагнитный и электропроводный материал. Поскольку для перемагничиваемых коронок внешнее поле является переменным, то плотности магнитного потока в нем и индукционных токов не одинаковы по объему и тем больше, чем ближе рассматриваемый элементарный объем к поверхности. Поэтому и все перечисленные выше воздействия должны иметь наибольшую величину в приповерхностных слоях упрочняемого тела коронки.

Перемагничивание буровых коронок сопровождается изменениями напряженного состояния и структуры приповерхностного слоя. При этом происходит диффузия к поверхно-

сти элементов как из окружающей среды, так и из более глубоких слоев корпуса коронки и твердосплавной подложки ВК-20. В результате перемагничивания из-за повышенной устойчивости структуры корпуса коронки аустенит не распадается полностью, но количество его уменьшается. Распад аустенита сопровождается изменениями параметров кристаллической решетки мартенсита и карбидов. В частности, уменьшается количество мартенсита и увеличивается параметр решетки карбида, наиболее выраженного на спектре. Массовое содержание углерода в решетке мартенсита уменьшается. Зафиксированные изменения могут приводить к появлению напряжений сжатия, образованию предкарбидных фаз и росту карбидов с увеличением их твердости. Хотя одновременно твердость мартенсита из-за выхода из его решетки углерода должна несколько снижаться, твердость поверхности должна увеличиваться, поскольку зависит она в этом случае от карбидной фазы.

На рисунке 17 показано омагничивание коронки в постоянном магнитном поле напряженностью 320 кА/м. Коронка за один оборот четырех постоянных магнитов дважды намагничивается-размагничивается в течении одной минуты, она как бы подвергается «винтовому сжатию», при котором электродинамические силы уплотняют и упорядочивают кристаллы структуры, вследствие чего снижается их внутреннее перенапряжение. При этом намагничивание коронки и выдержка после магнитной обработки способствует оптимальным превращениям ее структуры. В результате в коронке концентрируется энергия, которая частично превращается в тепловую, а частично в электромагнитную.

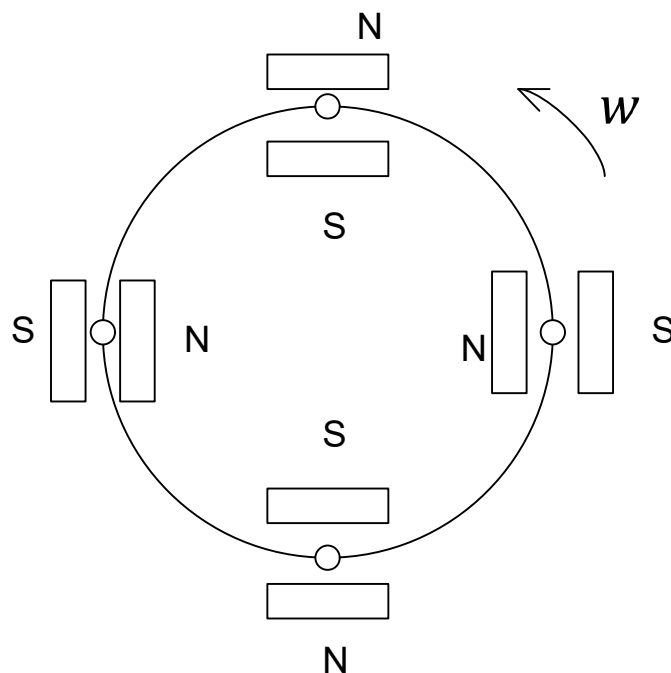


Рис.17 Схема омагничивания-размагничивания коронки.

Как показали исследования по магнитной обработке коронок, основными показателями, влияющими на ее твердость, являются: род магнитного поля (переменное, постоянное, пульсирующее, импульсное); напряженность магнитного поля установки; время намагничивания; материал, масса, габариты коронки; расположение изделия в устройстве омагничивания и конструктивное исполнение последнего; полярность намагничивания; размагничивание изделия после обработки его в магнитном поле; многократность перемагничивания; частота следования импульсов и их амплитуда; напряженность магнитных полей установок для намагничивания изделия и остаточная намагниченность инструмента.

В лабораторных условиях были выполнены исследования по намагничиванию-размагничиванию буровой коронки. Сущность исследования заключается в намагничивании образца коронки в постоянном магнитном поле (320 кА/м) до состояния практического насыщения и измерение коэрцитивности при полном размагничивании. Коронку помещают в постоянное магнитное поле, намагничивают до технического насыщения, далее размагничивают с помощью устройства в постоянном магнитном поле обратного направления. Определяют коэрцитивную силу по намагниченности, необходимой для размагничивания коронки. Коэрцитивная сила по намагниченности А/м есть величина обратного магнитного поля, требующаяся для уменьшения степени намагниченности коронки до нуля. Замеры выполняют с помощью веберметра (1эрстед = 79,6 А/м). Данные замеров представлены в таблице 2.

Максимальный прирост твёрдости HRA наблюдался при 60 циклах, а продолжение перемагничивания дальнейшего повышения твердости не дает. Размагничивание выполнялось в течение 15 минут, путем изменения полярности постоянных магнитов на приборе без вращения. Перемагничивание выполнялось на приборе путем вращения коронки в постоянном магнитном поле в течение 15 минут со скоростью 60 об/мин. Данные эксперимента показывают, что при напряженности магнитного поля 320 кА/м твердость коронки (сталь ХГСА), паяного слоя (ПСР-45) и твердосплавной подложки АТП (ВК-20) увеличилась в среднем на 30 %, 22%, и 3 % соответственно, при этом добиться увеличения твердости алмазного слоя АТП практически не удалось. (таблица 2).

Таблица 2 – Данные замеров твердости коронок до и после обработки в криогенно-магнитном поле

№	Тип коронки	Напряженность постоянного магнитного поля, эрстед	Твердость, HRA							
			до обработки в магнитном поле				после обработки в магнитном поле			
			корпус коронки сталь ХГСА	подложка ВК-20	паяный слой ПСР-45	Алмазный слой	корпус коронки сталь ХГСА	подложка ВК-20	паяный слой ПСР-45	Алмазный слой
1	93 АТП	4000	58,1	89,0	57,5	96,0	75,6	91,5	70,1	96,0
2	112 АТП	4000	58,0	89,0	57,5	96,0	75,5	91,5	70,1	96,0
3	151 АТП	4000	58,0	89,0	57,5	96,0	75,5	91,5	70,0	96,0
4	225 АТП	4000	58,0	89,0	57,5	96,0	75,1	91,4	70,0	96,0

Сравнительные испытания буровых коронок диаметром 112 мм, армированных АТП, выполнялись при бурении песчаника со средней категорией по буримости VII, глубина скважин составляла до 300 м. Бурение выполнялось на буровом станке СКБ-4 с использованием бурового насоса НБ-32 и малоглинистой полимерной промывочной жидкости. Сравнительные результаты бурения песчаника VII категории по буримости коронками до и после воздействия холодом и постоянным магнитным полем показаны в таблице 3.

Используя возможности У КП «Нанотехнологии» ЮРГПУ (НПИ), было выполнено комплексное металлографическое исследование материалов коронок, армированных АТП, - химический и спектральный анализ, структурные исследования (макро-микроструктура), электронно-оптический и рентгеноструктурный анализ, фактографический анализ, дефектообразование в корпусах буровых коронок.. Испытанию подвергались АТП Ø 8 мм с толщиной алмазного слоя h-2 мм, высотой подложки Н – 4,5мм; АТП Ø 10 мм (h – 2 мм, Н – 4,5 мм); АТП Ø 13,5 мм (h – 0,8 мм – 1 мм, Н – 4,5 мм); Кроме того, обследованию подвергались корпуса коронок, фрагменты коронок (сектора), паяный слой, твердосплавная подложка ВК-

20 и стыковочные швы между корпусом коронки – паяным слоем, паяным слоем – твердосплавной подложки, твердосплавной подложкой – алмазным слоем. Тщательно исследовался слой алмазного порошка (монокристаллические синтетические алмазы). Твердость всех составляющих буровых коронок определялась на приборе ПМГ-3 с алмазным индентором по методу Роквелла (HRA). Все испытания выполнялись до и после воздействия криогенно-магнитным полем.

Таблица 3 – Сравнительные результаты бурения до и после обработки в криогенно-магнитном поле

№ п/п тип коронки	Время воздействия жидким азотом, мин	Время воздействия постоянным магнитным полем, мин	Напряженность постоянного магнитного поля, кА/м	Проходка на коронку, м	Увеличение проходки, %
1 обычная	-	-	-	127,2	-
2 экспериментальная	10	10	240	151,9	19,4
3 обычная	-	-	-	128,1	-
4 экспериментальная	12	12	240	153,2	19,6
5 обычная	-	-	-	129,7	-
6 экспериментальная	13	13	320	155,1	19,6
7 обычная	-	-	-	130,0	-
8 экспериментальная	14	14	240	155,6	19,7
9 обычная	-	-	240	130,1	-
10 экспериментальная	15	15	240	156,0	19,9
11 обычная	-	-	-	128,2	-
12 экспериментальная	18	16	240	154,2	20,3
13 обычная	-	-	-	129,1	-
14 экспериментальная	17	17	320	155,2	19,8
15 обычная	-	-	-	129,6	-
16 экспериментальная	15	15	280	156,3	20,6
17 обычная				130,3	-
18 экспериментальная	15	15	320	159,7	22,6
19 обычная	-	-	-	128,0	
20 экспериментальная	15	15	360	155,0	21,1
21 обычная	-	-	-	129,8	-
22 экспериментальная	16	16	360	158,3	22,0
23 обычная	-	-	-	130,1	-
24 экспериментальная	15	15	320	158,1	21,1
25 обычная	-	-	-	126,0	21,5
26 экспериментальная	15	15	320	153,9	22,1

Выполненные теоретические исследования позволили сделать следующие выводы: предложена, теоретически обоснована и подтверждена практическими опытами теория механизма криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок; высказаны предположения о причине «памяти», определено время релаксации буровых коронок; показано, что основной причиной проявления эффектов криогенно-магнитного упрочнения (увеличение твердости, механической скорости бурения, наработки на коронку) является изменение структуры корпуса коронки (сталь ХГСА), паяного слоя ПСР-45, твердосплавной подложки; упрочнение буровых коронок, армированных АТП, криогенно-магнитным способом связано с высокой

концентрацией внутренних напряжений в корпусах коронок, внутреннее напряжение зависит от физико-механических характеристик материала буровых коронок; криогенно-магнитное упрочнение буровых коронок является технологическим приемом «низкотемпературная закалка – магнитный отпуск», который позволяет существенно повысить их прочностные характеристики за счет изменения физико-механических свойств; разработаны рациональные технологические параметры криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок, позволяющие существенно увеличить твердость и, как результат, механическую скорость бурения и наработку; твердость буровых коронок, армированных АТП, прошедших криогенно-магнитное упрочнение, увеличивается на 30%.; рациональными технологическими параметрами криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок является напряженность постоянного магнитного поля, равная 320 кА/м при 60 циклах перемагничивания в течении 15 минут, со скоростью вращения постоянных магнитов - 4 об/мин; криогенно-магнитная обработка коронок, армированных АТП, приводит к существенному увеличению прочности

Применяя коронки, армированные АТП, и криогенно-магнитный способ упрочнения, удалось добиться уменьшения потери резцов до 29%, увеличения механической скорости бурения в 1,7 раза и проходки на коронку в более чем три раза. Доказано, что применение буровых коронок, отработанных в криогенно-магнитном поле, позволяет достичь механической скорости бурения до 19,8 м/час и наработки на коронку 160 метров по горным породам VII категории по буримости. С учетом выполненных опытных работ по криогенно-магнитному упрочнению буровых коронок считаем целесообразным проведение дальнейших исследований по этой проблеме.

Четвертое защищаемое положение: выполненные теоретические, экспериментальные и полевые исследования позволили установить оптимальные технологические параметры бурения горных пород VI-VIII категорий по буримости и оценить эффективность применения коронок, армированных АТП.

Выполненные теоретические, экспериментальные и полевые исследования позволили установить оптимальные технологические параметры бурения горных пород VI-VIII категории по буримости и оценить эффективность применения коронок, армированных АТП.

Основные показатели бурения скважин (механическая скорость и износостойкость коронок) определяются параметрами режима бурения: частотой вращения, осевой нагрузкой, количеством и качеством промывочной жидкости. При этом важное значение для повышения эффективности буровых работ имеют не столько каждый из параметров в отдельности, сколько их совместное влияние. Для оценки эффективности работы коронок режущего типа принят комплексный критерий, отражающий механическую скорость бурения, проходку на коронку и характеристику износа, так как оптимизация именно этих параметров делает коронку более предпочтительной по сравнению с аналогами в данных геолого-технических условиях.

Экспериментальные исследования коронок были проведены в лабораторных условиях на базе станка СКБ-4 и в полевых условиях с усилием подачи от 10 до 46 кН, в диапазоне скоростей вращения от 120 до 430 об/мин, при подаче промывочной жидкости от 100 до 360 л/мин и количестве АТП на коронке от 6 до 18. Плотность раствора изменялась от 1,02 до 1,3 г/см³, условная вязкость – от 17 до 40 с.

Выполненные лабораторно-экспериментальные работы позволили установить, что бурить эксплуатационные скважины диаметром 225 мм по горным породам VIII категории по буримости более эффективно, когда коронка имеет на вооружении 10 съемных АТП с встречным направлением промывочных каналов, при этом количество промывочной жидкости составляет 225 л/мин при плотности раствора – 1,2 г/см², вязкости – 22с, нагрузке – 39 кН, частоте вращения – 130 об/мин.

Экспериментальные исследования буровых коронок выполнялись в центре коллективного пользования «Нанотехнологии» НИИ «Нанотехнологий» и новых материалов ЮР-ГПУ (НПИ) имени М.И. Платова и в полевых условиях Мирнинской ГРЭ и Поморской ГРЭ ОАО «Алроса», а также в Ростовской буровой компании. В лабораторных условиях было выполнено комплексное металлографическое исследование материалов коронок, химический и спектральный анализ, структурные исследования (макромикроструктура, электронно-оптический и рентгеноструктурный, фрактографический анализ, дефектообразование в корпусах. При этом особенно тщательно исследовались корпус коронки (сталь ХГСА), вырезанные из коронки фрагменты (сектора коронки), паяный слой, алмазно-твердосплавные пластины диаметром 8 и 10 мм, слой алмазного порошка (малокристаллические синтетические алмазы), пограничный слой (контакт алмазного порошка с твердосплавной подложкой ВК-20), слой подложки ВК-20, пограничный слой (контакт твердосплавной подложки ВК-20 с паяным слоем), пограничный слой (контакт паяного слоя с корпусом коронки). Исследование выполнялось с помощью сканирующего электронного микроскопа ARL QUANTX. Рентгенофазовый анализ (XRD) образцов проводили на дифрактометре ARL XTRA («Thermo Scientific», Швейцария) с монохроматизированным $\text{CuK}\alpha$ – излучением методом сканирования по точкам. Определение качественного фазового состава осуществляли методом сравнения экспериментальной дифрактограммы с дифрактограммами из базы данных PDF-2 в программном комплексе Crystallographica.

В результате исследований установлено, что для изготовления АТП завод твердых сплавов провинции Ялунь (Китай) использует синтетические алмазы зернистостью 40/25 мкм, спекание АТП выполняют при давлении 810 ГПа, при этом используют добавки диборита титана. За счет того, что поверхность подложки ВК-20 выполнена в виде ребер с различными узорами, наблюдается повышенное качество сцепления (усилие на отрыв алмазного слоя достигает 30 кг/мм^2). Состав алмазного слоя высотой 1-2 мм: углерод C-96,5%, кобальт Co – 0,5%, вольфрам W – 3%. Теплостойкость алмазного слоя – $750-800^\circ\text{C}$. Было установлено, что при повышении температуры более 800°C , алмазный слой отслаивается от подложки ВК-20. Сектора коронки как и сам корпус изготовлены из высоколегированной стали ХГСА (хром Cr – 1,5%, железо Fe – 97,9 %, углерод C- 0,3-0,6%, паянный слой ПСР - 45 (серебро Ag-45%, медь Cu – 31%, цинк Zn – 20%, олово Sn – 4%). Все исследования выполнялись до и после обработки в криогенно-магнитном поле. Сравнительные испытания по твердости выполняли по методу Роквелла (шкала А) в соответствии с ГОСТ 20017 (таблица 4).

С целью определения оптимального количества АТП для коронок 112АТП и 225АТП были выполнены лабораторные испытания на буровом стенде СКБ-4 на породе с $R_k=960 \text{ МПа}$,) Результаты представлены в таблице 5.

Выполненные исследования позволили установить зависимость механической скорости бурения коронками, армированными АТП, от количества промывочной жидкости, осевой нагрузки, частоты вращения и количества АТП (рисунок 18). Значения удельных показателей для коронок, армированных АТП, приведено в таблице 6.

С целью определения оптимального количества АТП для коронок 112АТП и 225АТП были выполнены лабораторные испытания на буровом стенде СКБ-4 на породе с $R_k=960 \text{ МПа}$,) Результаты представлены в таблице 5.

Выполненные исследования позволили установить зависимость механической скорости бурения коронками, армированными АТП, от количества промывочной жидкости, осевой нагрузки, частоты вращения и количества АТП (рисунок 19). Значения удельных показателей для коронок, армированных АТП, приведено в таблице 6

Таблица 4. Сравнительные испытания материалов по твердости

Группа сплавов	Марка сплава	Состав, %			Плотность, г/см ³	Твердость, HRA	
		WC	C	Co		До обработки	После обработки
ВК	ВК-6	94		6	14,6-15,0	88	89
	ВК-8	92		8	14,4-14,8	87,5	88,5
	ВК-20	80		20	14,5-14,7	89	91,5
АТП	АТП Ø8 мм		99,5	0,5		96	96
	АТП Ø10мм		99,5	0,5		96	96

Таблица 5. Зависимость механической скорости бурения от типа коронки и режимных параметров

Тип коронок	Категория по буримости	Режимные параметры бурения			Скорость бурения, V _м , м/ч
		Нагрузки, Р, кН	Частота вращения, n, об/мин	Количество промывочной жидкости, Q, л/мин	
АТП 112, с шестью АТП	VI	15,0-16,0	330	120-130	17,2
	VII	16,0-17,0	280	110-120	17,3
	VIII	17,0-18,0	250	100-110	16,4
АТП 112, с шестью АТП	VI	15,0-16,0	330	120-130	17,2
	VII	16,0-17,0	280	110-120	17,3
	VIII	17,0-18,0	250	100-110	16,4
АТП 112, с восьмью АТП	VI	15,0-16,0	330	120-130	18,7
	VII	16,0-17,0	280	110-120	19,0
	VIII	17,0-18,0	250	100-110	15,2
АТП 151, с шестью АТП	VI	21,0-22,0	300	150-180	18,0
	VII	22,0-24,0	280	140-150	18,1
	VIII	24,0-26,0	130	120-140	13,9
АТП 151, с восьмью АТП	VI	21,0-22,0	300	150-180	18,0
	VII	22,0-24,0	280	140-150	18,3
	VIII	24,0-26,0	130	120-140	14,0
АТП 225 с восьмью АТП	VI	33,0-34,0	280	260-280	16,1
	VII	38,0-39,0	130	240-260	16,9
	VIII	39,0-40,0	100	225-240	14,2
АТП 225 с десятиью АТП	VI	33,0-34,0	280	260-280	19,1
	VII	35,0-37,0	130	240-260	19,8
	VIII	38,0-40,0	100	225-240	15,1
АТП 225 с четырнадцатью АТП	VI	34,0-35,0	280	240-260	18,1
	VII	36,0-38,0	130	240-250	17,9
	VIII	39,0-40,0	100	225-240	16,3

Таблица 6. Значения удельных показателей для коронок, армированных АТП

Тип коронки	Категория по буримости	Удельная нагрузка Руд, кН	Удельный расход промывочной жидкости, $\frac{\text{л/мин}}{\text{см}}$	Оптимальная частота вращения, об/мин
93 АТП	VI	1,3	9	430
	VII	1,4	8	300
	VIII	1,5	7	230
112 АТП	VI	1,3-1,4	10	400
	VII	1,4-1,5	9	250
	VIII	1,5-1,6	8	200
151 АТП	VI	1,4-1,5	10	300
	VII	1,5-1,6	9	180
	VIII	1,6-1,7	8	150
225 АТП	VI	1,5-1,6	12	280
	VII	1,6-1,7	11	130
	VIII	1,7-1,8	10	100

Выполненные исследования позволили установить основные технологические параметры для буровых коронок, армированных АТП (таблица 7).

Таблица 7 Основные технологические параметры коронок, армированных АТП

№ п/п	Тип коронки	Категория по буримости	Осевая нагрузка, кН	Частота вращения, об/мин	Количество промывочной жидкости л/мин.
1	93 АТП	VI	10,0-12,0	430	80-100
	93 АТП	VII	12,0-13,0	300	70-80
	93 АТП	VIII	14,0-15,0	230	60-70
2	112 АТП	VI	15,0-16,0	400	120-130
	112 АТП	VII	16,0-17,0	250	110-120
	112 АТП	VIII	17,0-18,0	200	100-110
3	151 АТП	VI	21,0-22,0	300	150-180
	151 АТП	VII	22,0-24,0	180	140-150
	151 АТП	VIII	24,0-26,0	150	120-140
4	225 АТП	VI	34,0-36,0	280	260-270
	225 АТП	VII	36,0-39,0	130	225-240
	225 АТП	VIII	38,0-40,0	100	225-230

С учетом разработанного технологического регламента отработки буровых коронок графическая зависимость механической скорости бурения (V_m , м/ч) от количества промывочной жидкости Q , нагрузки на коронку P , частоты вращения n , и количества АТП для ко-

ронок, армированных АТП, и прошедших криогенно-магнитную обработку будет иметь вид (рисунок 18)

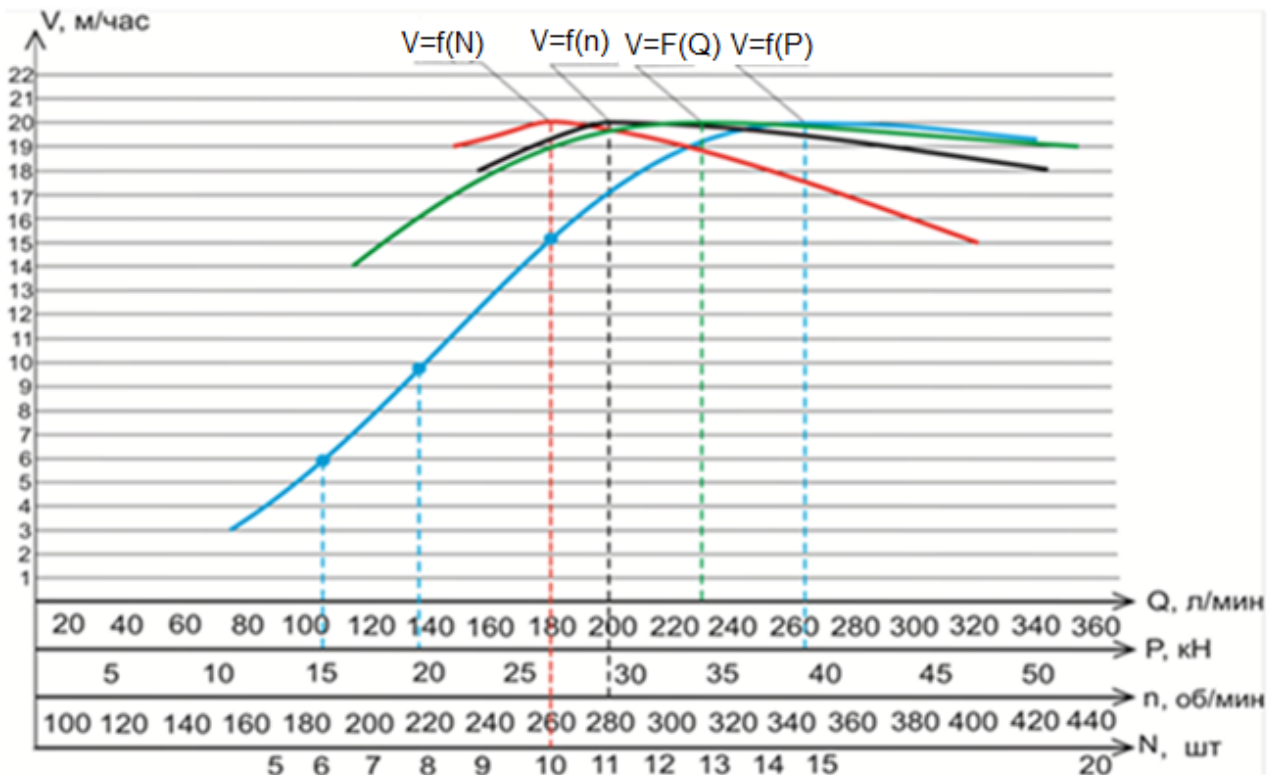


Рисунок 18. Зависимость механической скорости бурения V_m от количества промывочной жидкости Q , нагрузки на коронку P , частоты вращения n , количества АТП N (Для коронок диаметром 225 мм).

Основные выводы и рекомендации

Выполненные экспериментальные и теоретические исследования по теме диссертации позволили сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Обобщен опыт и систематизированы результаты исследований по конструкции и технологии применения кольцевых коронок, армированных твердосплавными резцами.
2. Установлено, что при бурении разведочных и эксплуатационных скважин коронками режущего-скалывающего типа, армированных АТП, механическая скорость бурения во всем диапазоне рабочих частот не зависит от частоты вращения, а зависит только от величины осевой нагрузки, при постоянном количестве промывочной жидкости.
3. Разработана методика расчета скорости бурения скважин коронками режущего-скалывающего типа, учитывающая контактную прочность породы (P_k) и удельную нагрузку на режущих кромках АТП ($P_{уд}$).
4. Разработан графо-аналитический метод определения модуля скорости бурения пород коронками режущего типа, армированными АТП, позволяющий прогнозировать механическую скорость бурения.
5. Выполненные экспериментальные исследования позволяют прогнозировать проходку и механическую скорость бурения горных пород коронками, армированными АТП, во всем интервале сооружения скважин, с учетом интенсивности изнашивания резцов по высоте во времени.

6. Разработанная программа “Бурение” позволяет выявить зависимости механической скорости бурения от осевой нагрузки, частоты вращения, количества и качества промывочной жидкости, на основании которых предложена рациональная технология бурения скважин коронками, армированными АТП.

7. Выполненные экспериментально-лабораторные и полевые исследования позволили создать, на основе 11 изобретений, оптимальные конструкции коронок нового поколения с учетом количества АТП в каждой коронке, возможности их замены, расположения АТП, конфигурации промывочных каналов и технологии бурения.

8. В результате расчёта по программе рабочих геометрических параметров коронок, армированных АТП, было установлено, что оптимальными являются следующие углы: основной, центральный резец АТП необходимо устанавливать на коронке под отрицательным углом 15° и углом поворота в плоскости торца, равным 0° ; кernoобразующую и скважинообразующую АТП необходимо устанавливать с передним отрицательным углом 15° и углом поворота в плоскости торца равным 15° .

9. Разработана технология уменьшения вибраций буровых коронок, армированных АТП, с использованием конструкции стабилизирующей, антивибрационной буровой коронки и специального бурового раствора с высокой смазывающей способностью.

10. Для достижения оптимальных показателей процесса бурения в породах VII категории по буримости технологические параметры, для коронок диаметром 112 мм, должны составлять: нагрузка - 16 кН, частота вращения - 250 об/мин, количество промывочной жидкости - 120 л/мин, что позволит достичь механической скорости бурения до 20 м/час.

11. Разработан технологический процесс реализующийся по схеме - “низкотемпературная закалка - магнитный отпуск,” который позволяет повысить эксплуатационные показатели буровых коронок, армированных АТП.

12. Разработаны теоретические положения механизма криогенно-магнитной обработки буровых коронок, армированных АТП. В результате выполнения большого объема экспериментальных работ предложена криогенно-магнитная гипотеза механизма упрочнения буровых коронок, армированных АТП, объясняющая происходящие при этом явления.

13. Разработаны оптимальные технологические параметры криогенно-магнитного способа упрочнения коронок: время выдержки в жидком азоте - 15 минут при температуре - 196°C , нагревание до температуры 20°C с последующим омагничиванием в знакопеременном, постоянном, вращающемся магнитном поле напряженностью 320 кА/м в течении 15 минут при 4 оборотах в минуту, при этом удалось добиться уменьшения потери АТП до 29%.

14. Разработанная рациональная технология бурения скважин внедрена на буровых предприятиях ОАО “Алроса” и “Ростовской буровой компании”, при этом удалось достичь увеличения твердости рабочих частей коронки от 20 до 30 %, механической скорости бурения в 1,7 раза, проходки на коронку до 160 метров.

15. Экономический эффект от внедрения одной коронки, армированной АТП, составляет 38.4 тыс. рублей.

16. Выполненные исследования позволили приступить к мелкосерийному производству коронок, армированных АТП, способных успешно бурить горные породы с VI по VIII категорию по буримости, но не могут претендовать на законченность и требуют продолжения работ по данной проблеме.

Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в следующих основных работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ.

1. Разработка ингибированного раствора для бурения скважин в осложненных условиях/ Третьяк А.А.; Рыбальченко Ю.М.; Бурда М.Л.; Онофриенко С.А.// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море.- 2009.- №6.- с.29-33.
 2. Управление реологическими свойствами буровых растворов и опыт применения высокоингибирующего полимерглинистого раствора/ Третьяк А.А.; Рыбальченко Ю.М.; Бурда М.Л.; Онофриенко С.А.// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море.- 2009.- №7.- с.20-23.
 3. Разработка методики расчета наработки породоразрушающего инструмента с алмазно-твердосплавным вооружением/ Третьяк А.А.; Литкевич Ю.Ф.; Асеева А.Е.// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море.- 2010.- №12.- с. 2-5.
 4. Разработка технологического регламента отработки коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами/ Третьяк А.А.// Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2011.- №12.- с. 228-232.
 5. Технология бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными пластинами/ Третьяк А.А.// Разведка и охрана недр.- 2011.- №12.- с.63-65.
 6. Зависимость механической скорости бурения горных пород коронками, армированными АТП, от основных технологических параметров/ Третьяк А.А.// Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2011.- №12.- с.233-237.
 7. Разработка буровых коронок, армированных АТП, для бурения с отбором керна съемным керноприемником/ Третьяк А.А.; Литкевич Ю.Ф.// Строительство нефтяных и газовых скважин на море и на суше. ВНИИОЭНГ – 07.2014, №7 с.33-36.
 8. Криогенная обработка алмазно-твердосплавных пластин для коронок/ Третьяк А.А.; Литкевич Ю.Ф.// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Техн. науки.- 2014. - №4 – с. 82-84.
 9. Конструкция буровых коронок, армированных АТП, с учетом схемы разрушения забоя скважины/ Третьяк А.А.; Гроссу А.Н.; Борисов К.А.// Строительство нефтяных и газовых скважин на море и на суше. ВНИИОЭНГ – 06.2015., №6.- с.9-12.
 10. Буровой раствор для строительства скважин в сложных условиях/ Третьяк А.А.; Рыбальченко Ю.М.; Лубянова С.И.; Борисов К.А.; Турунтаев Ю.Ю.// Нефтяное хозяйство.- 2016.- №2.- с.28-31.
 11. Упрочнение буровых коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами/ Третьяк А.А.// Строительство нефтяных и газовых скважин на море и на суше. ВНИИОЭНГ – 2016., №10.- с.24-28
 12. Влияние вибраций на прочностные свойства буровых коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами/ Третьяк А.А.// Строительство нефтяных и газовых скважин на море и на суше. ВНИИОЭНГ- 2016, №10.- с.20-24
 13. Исследование виброустойчивости буровых коронок./ Третьяк А.А.// Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2016.- №10.- с.5-14
 14. Технология упрочнения буровых коронок./ Третьяк А.А.// Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2016.- №10.- с.121-130
 15. Определение скорости бурения и наработки коронок нового поколения, армированных алмазно-твердосплавными пластинами./Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Борисов К.А. //Нефтегаз 2016; №10, с. 52-56
 16. Определение рациональных значений рабочих углов армирующих элементов буровых коронок/Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Борисов К.А. //Нефтегаз 2017; №3, с. 46-49
- Монографии:**
1. Буровые коронки, армированные алмазно-твердосплавными пластинами.// А.А. Третьяк, О.В. Савенок, В.В. Швец.// Изд-во ИД «Политехник» ЮРГПУ(НПИ), Новочеркасск, 2015.- 186 с.

2. Технология бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными пластинами./ Третьяк А.А. // Изд-во ИД «Политехник» ЮРГПУ(НПИ), Новочеркасск, 2017.- 262 с.

Тезисы докладов:

1. Третьяк А.А., Бурда М.Л., Онофриенко С.А. //Современные конструкции буровых долот режущего типа. Результаты исследований – 2009: материалы 58-й науч.-техн. конф. Профессорско-преподавательского состава, науч. работников, аспирантов и студентов ЮРГПУ(НПИ) / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ).- Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2009.- с. 102-108.

2. Третьяк А.А. // Технология бурения скважин коронками, армированными АТП. Студенческая научная весна -2009: материалы Межрегион. научн.-техн. конф. Студентов, аспирантов и молодых ученых Юж. Федер. Округа/ Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ).- Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2009.- с. 385-386.

3. Литкевич Ю.Ф., Третьяк А.А., Асеева А.Е. и др // Оптимизация технологического процесса бурения скважин долотами режущего типа в сложных геологических условиях. Методы и алгоритмы в прикладной математике в технике, медицине и экономике: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., г.Новочеркасск. 26 фев. 2010 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ).- Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2010.- с. 92-97.

4. Чихоткин В.Ф., Третьяк А.А. // Моделирование состояния рабочего торца матрицы алмазной коронки при бурении. Методы и алгоритмы в прикладной математике в технике, медицине и экономике: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., г.Новочеркасск. 26 фев. 2010 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ).- Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2010.- с. 97-105.

5. Третьяк А.А. // Совершенствование технологии бурения скважин кольцевыми коронками с алмазно-твердосплавным вооружением.// Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., 3 дек. 2009г., г.Новочеркасск. - Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2010.- с. 123-130.

6. Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф. Технология колтюбингового бурения горизонтальных скважин на нефть и газ.// Студенческая научная весна – 2010: материалы регион. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Рост. Обл./ Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2010.- с.403-404.

7. Литкевич Ю.Ф., Третьяк А.А., Асеева А.Е. и др. Конструкция калибрующего двухъярусного долота режущего типа.// Инновационные направления изучения, оценки и эффективности использования минерально-сырьевой базы горных ископаемых: материалы XII Всерос. угольного совещания, г. Ростов-на-Дону, 27-29 апр. 2010 г. – Ростовн/Д,2010. – С.243-246.

8. Третьяк А.А. // Исследования по технологии отработки породоразрушающего инструмента, армированного алмазно-твердосплавными пластинами.// Сборник научно-исследовательских работ финалистов конкурса аспирантов и молодых ученых в области энергосбережения в промышленности (г.Новочеркасск, окт. 2010 г.) [Эврика 2010]/ Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2010. – С.267-271.

9. Третьяк А.А., Симонян А.С., Онофриенко С.А. Безглинистый высокоингибированный буровой раствор.// Студенческая научная весна – 2011: материалы регион.научн. техн. конф. Студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Рост. обл./– Новочеркасск:ЮРГПУ, 2011. – С.31-32.

10. Третьяк А.А.// Оптимальные технологии бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными пластинами/ Новые идеи в науке о Земле: X Межд. конф. 12-15 апр. 2011 г. / Рос.гос. геологоразвед ун-т. - Москва, 2011. – С 317.

11.Третьяк А.А., Гроссу А.Н., Борисов К.А. // Буровые коронки нового поколения.// «Нефть и газ – 2015» 60-я Международная молодежная научная конференция Москва 2015 г., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина – С.283.

12. Третьяк А.А., Лубянова С.И., Борисов К.А.// Буровой раствор для бурения горизонтальных скважин. // «Нефть и газ – 2015» 60-я Международная молодежная научная конференция Москва 2015 г., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина – С.282.

13. Третьяк А.А., Борисов К.А. Способ упрочнения буровых коронок, армированными алмазно-твердосплавными пластинами. // Инновации в современной геологической науке и практике: материалы II Всероссийской науч. практ. конф. Старый Оскол. – 2016, - С.201-203.

14. Третьяк А.А. Виброустойчивая буровая коронка.// “Бурение в осложненных условиях” : материалы Международной практической конференции. Санкт-Петербургский горный университет, 5-6 октября 2016 г. -с.113-118

Патенты на изобретения:

1. Кольцевая буровая коронка. Патент №2359103 Рос. Федерация./ Трещев С.Л.; Литкевич Ю.Ф.; Третьяк А.А. и др.// - Заяв. 11.12.2007; опубл. 20.06.2010, Бюл. №17.

2. Кольцевая буровая коронка. Патент №2422613 Рос. Федерация./ Литкевич Ю.Ф.; Асеева А.Е.; Третьяк А.А. и др. // - Заяв. 10.12.2011; опубл. 27.07.2011, Бюл. №21.

3. Кольцевая буровая коронка. Патент №2435927 Рос. Федерация - Литкевич Ю.Ф.; Третьяк А.А.; Бурда М.Л. и др. // Заявл. 13.07.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. №34.

4. Стабилизирующее двухъярусное долото режущего типа. Патент на полезную модель №92900 Рос. Федерация./ЛиткевичЮ.Ф; Асеева А.Е.; Третьяк А.А. и др.// – Заявл. 16.06.2008; опубл. 10.04.2010, Бюл. №10.

5. Многоярусное долото режущего типа. Патент №102045 Рос. Федерация Литкевич Ю.Ф., Асеева А.Н., Третьяк А.А. и др. / - Заяв. 15.12.2009; опубл. 10.02.2011 г. Бюл.№4

6. Буровой раствор. Патент № 2582197 Рос. Федерация: Третьяк А.А., Рыбальченко Ю.М., Швец В.В. и др // - Заявл. 25.03.2015; опубл. 20.04.16, Бюл. №11.

7. Стабилизирующая кольцевая буровая коронка. Рос. Федерация: Патент № 2577351.// - Третьяк А.А.; Литкевич Ю.Ф.; Савенок О.В. и др. Заявл. 26.01.2015; опубл. 20.03.16, Бюл. №8.

8. Стабилизирующее двухъярусное долото режущего типа. Патент на изобретение № 2445433 С1 Рос. Федерация./ Литкевич Ю.Ф.; Третьяк А.А.; Бурда М.Л. и др.// - Заявл. 04.05.2010; опубл. 20.03.2012, Бюл. №8.

9. Способ создания осевой нагрузки на забой горизонтальных скважин и устройство для его осуществления. Патент на изобретение № 2439271 С1 Рос. Федерация/ Литкевич Ю.Ф.; Асеева А.Е.; Третьяк А.А. и др. - Заявл. 15.06.2010; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1.

10. Способ упрочнения буровых коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами. Патент на изобретение №2566523 С1 Рос. Федерация/ Третьяк А.А.; Литкевич Ю.Ф.; Савенок О.В.и др. Заявл. 13.11.2014; опубл. 27.10.2015, Бюл. №30.

11. Антивибрационная кольцевая буровая коронка // Патент № 2613712 Рос. Федерации./ Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Борисов К.А. Заявл. 29.03.16., опубл. 2.03.17 бюл. №9.

Публикации в других изданиях:

1. Технологические режимы бурения скважин кольцевыми коронками с алмазно-твердосплавным вооружением./Третьяк А.А.// Вестник ЮРГТУ (НПИ). Сер. Науки о земле. - 2010. - № 1. - С. 104-109.

2. Оптимизация режимных параметров бурения скважин двухъярусными долотами режущего типа./Третьяк А.А.// Вестник ЮРГТУ (НПИ). Сер. Науки о земле. - 2010. - № 1. - С. 35-39.

3. Биополимерный раствор для осложненных условий бурения./Рыбальченко Ю.М.Третьяк А.А.// Oil and Gas Journal Russia.- 2011 № 11. - С. 52- 57

4. Расчет конструктивных параметров буровых коронок, армированных PDC./Сысоев Н.И.; Буренков Н.И. Третьяк А.А.// OilandGasJournal. PennWell 05.2012 №5 - стр.66-69.

5. Режущая часть долота PDC: оптимизация геометрических параметров./Буренков Н.И.; Чихоткин А.В. Третьяк А.А. // OilandGasJournal. PennWell 05.2013 №5-стр.56-58

6. Новое двухъярусное долото режущего типа./ Третьяк А.А. Савенок О.В.; Гроссу А.Н.;

Борисов К.А.// OilandGasJournal. Penn Well 05.2015 №5 - стр.50-53

7. Стабилизирующая кольцевая буровая коронка/Третьяк А.Я.//Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия “Горно-геологическая” №1(24)Донецк, 2016 с 37-41.

Третьяк Александр Александрович

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ,
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
И ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН КОРОНКАМИ,
АРМИРОВАННЫМИ АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ
ПЛАСТИНАМИ**

Автореферат

Подписано в печать

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ № 46-0939.

Отпечатано в ИД «Политехник»

346400, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166

idp-npi@mail.ru