

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова

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»

Диссертация на соискание ученой степени доктора
технических наук.

Новочеркасск 2017

Содержание

Введение.....	4
1. Состояние вопроса изученности конструкций твердосплавных буровых коронок.....	13
1.1 Анализ известных конструкций твердосплавных буровых коронок и коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами (АТП).....	16
1.2 Цель, задачи и основные вопросы исследований.....	32
2. Развитие теоретических основ разрушения горных пород и расчет параметров буровых коронок, армированных АТП.....	34
2.1 Современные представления о теории разрушения горных пород буровыми коронками.....	34
2.2 Расчет конструктивных параметров буровых коронок.....	41
2.3 Прогнозирование проходки и механической скорости бурения коронками, армированными АТП.....	56
3. Разработка конструкций буровых коронок нового поколения, армированных АТП.....	74
3.1 Разработка стабилизирующих буровых коронок.....	74
3.2 Разработка коронок типа PQ для бурения по технологии WIRE LINE.....	79
3.3 Разработка антивибрационных буровых коронок.....	90
3.4 Разработка технологии крепления АТП на корпусе буровой коронки.....	98
3.5 Влияние вибраций на прочностные свойства буровых коронок, армированных АТП.....	111
4. Разработка технологии упрочнения буровых коронок, армированных АТП.....	142
4.1 Анализ современных методов повышения прочностных свойств буровых резцов.....	142
4.2 Теоретические исследования криогенно-магнитной технологии упрочнения буровых коронок.....	152
4.3 Криогенно - магнитный способ упрочнения буровых коронок.....	173

4.4 Экспериментальные исследования процесса криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок.....	211
5. Разработка оптимальной технологии бурения скважин коронками, армированными АТП.....	231
5.1 Изучение физико-механических свойств горных пород.....	231
5.2 Технологические рекомендации по отработке буровых коронок.....	233
5.3 Экспериментальные испытания буровых коронок.....	238
5.4 Разработка технологического регламента отработки буровых коронок..	265
6. Расчет экономической эффективности отработки буровых коронок, армированных АТП.....	277
Основные выводы и рекомендации.....	279
Список литературы.....	282
Приложение А. Результаты рентгеноструктурного исследования буровых коронок, армированных АТП.....	304
Приложение Б. Акты внедрения буровых коронок, армированных АТП.....	315

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 геолого-технических условиях являются алмазные и твердосплавные коронки. Для их изготовления используются алмазы, твердые сплавы, легированные стали и различные припои. Все перечис-

ленные 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. Загора, 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. Литкевич, 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 патент №102045 “Много-ярусное 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 мгновенной скорости проходки .

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 статье в издании, входящем 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 четырьмя хоздоговорами 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 г., 2011 г.)

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.

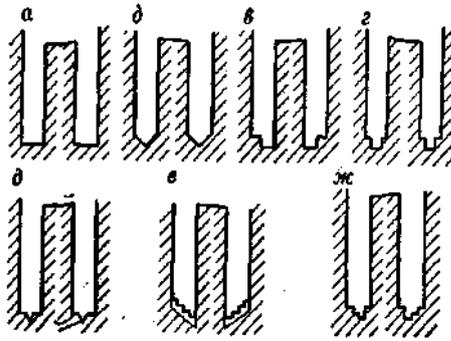
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИЗУЧЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ БУРОВЫХ КОРОНОК.

В настоящее время предприятиями геологоразведочной отрасли выпускается более 30 типов твердосплавных коронок. Известно, что конструктивные особенности твердосплавных буровых коронок тесно связаны со свойствами разбуриваемых пород и подразделяются на три группы: для бурения мягких пород, для бурения малоабразивных и абразивных пород средней твердости, для бурения абразивных пород средней твердости. С учетом перечисленных выше признаков твердосплавные коронки подразделяются на следующие группы [1,2,3,4]; Ребристые коронки для бурения мягких пород – М5, М6; резцовые коронки для бурения малоабразивных пород средней твердости (гладкостенные) – СМ4, СМ5, СМ6, СТ2; самозатачивающиеся коронки для бурения абразивных пород средней твердости (гладкостенные) - СА1, СА2, СА4, СА5, СА8; СА5 и СА6. По типу резцов и их расположению они подразделяются на микрорезцовые СА2, СА3, СА6, тонкопластинчатые СА1 и комбинированные СА4, в которых содержатся элементы резцовых и самозатачивающихся коронок.

Основными конструктивными элементами коронок с резцами из твердых сплавов являются: расположение резцов в короночном кольце, величина их выхода, углы наклона и поворота, число резцов.

Принцип самозатачивания коронки заложен в конструктивное исполнение вставки резца твердого сплава. Режущая вставка состоит из тонкой пластины мягкой стали, к которой прикрепляются резцы твердого сплава с помощью оберточной пластины. Этот пакет пластин вставляется в паз корпуса коронки и пропаивается латунью. При бурении абразивных пород стальная пластинка, как более мягкая, изнашивается быстрее и регулярно обнажает твердосплавные резцы.

Подрезные резцы выступают за боковую поверхность - больше за наружную и меньше - за внутреннюю. Для повышения эффективности работы основных резцов выход их над торцом делают на разную величину для того чтобы забой получился ступенчатой формы (принцип «подбойки» и «отбойки»), (рисунок 1.1). Располагают резцы с таким расчетом, чтобы полностью перекрывался торец короночного кольца одним, двумя, тремя или группой резцов. При ступенчатом расположении резцов порода разрушается более эффективно, так как образуются дополнительные плоскости обнажения породы [1,2,6].



а-плоский, б-клиновой, в,г,д-одноступенчатый, е,ж-многоступенчатый
Рисунок 1.1 Формы кольцевого забоя

Наличие достаточно высокого уступа при ступенчатой форме забоя должны обеспечить большую эффективность работы коронки. Механическая скорость бурения коронки со ступенчатым расположением резцов в 1,9-2 раза превышает скорость бурения обычной коронкой.

Очевидно, использование всех благоприятных факторов - угла резания, формы врубовых резцов и ступенчатого их расположения позволяет создать более рациональные типы твердосплавных коронок. Число резцов подбирается в соответствии со свойствами пород и в зависимости от диаметра коронки, прочности бурового инструмента и самих резцов.

Промывочная система коронок в основном обеспечивается вырезами - промывочными каналами, которые симметрично располагаются по окружности коронки. Каналы в большинстве случаев выполняются в виде трапеции с высотой до 10 мм и большим основанием у торца коронки. Промывочные ка-

налы бывают также прямоугольной формы. В гидравлическую систему коронок входят и шламовые пазы, располагаемые симметрично вдоль наружной боковой поверхности короночного кольца. Число и площадь промывочных каналов шламовых пазов зависит от величинышламообразования, типа и диаметра коронки.

Между промывочными каналами коронок находятся зубки, в которые ставятся резцы твердых сплавов. Выпуск резцов на боковые стороны необходим для создания кольцевых зазоров между керном и внутренней поверхностью коронки, а также между стенками скважины и колонковым набором. Зазор обеспечивает беспрепятственное поступление керна в колонковую трубу циркуляцию промывочной жидкости и вынос шлама.

Особую трудность представляет бурение в перемежающихся породах VI-VIII категорий по буримости, в которых неудовлетворительно работают как твердосплавные, так и алмазные коронки. Первые в этих условиях быстро выходят из строя при встрече с крепкими пропластками пород, при применении вторых, получается малая механическая скорость бурения, особенно при бурении сланцевых пород, за счет затирания матрицы коронки глинистыми частицами.

В то же время установлено[4,5,6,7,8,9,11], что при использовании алмазного породоразрушающего инструмента, в породах средней твердости, также можно получить высокие результаты. Для этого породоразрушающий инструмент, наряду с высокой износостойкостью режущих элементов, должен обладать положительными признаками твердосплавных коронок: сложной конфигурацией рабочей части, наличием развитой промывочной системы, значительным выступом алмазов и другими. Выполнение этих конструктивных элементов возможно при использовании алмазов крупных размеров, сопоставимых с размерами твердосплавных резцов.

С этой точки зрения большие возможности открывает применение в качестве режущих элементов синтетических сверхтвердых материалов (СТМ) и синтетических алмазов (СА). Кроме увеличения производительности

сти буровых работ и повышения их эффективности, использование этих материалов позволит экономить дефицитное природное алмазное сырье и высвободить его значительную часть для бурения более твердых и абразивных пород. Для широкого внедрения синтетических алмазов необходимо решить ряд задач, как по конструкции, так и по разработке технологии бурения коронками.

1.1 Анализ известных конструкций твердосплавных буровых коронок и коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами (АТП)

Созданием породоразрушающего инструмента, с применением в качестве режущих элементов синтетических твердых материалов, занимаются многие организации: ИСМ АН Украины, ВИТР, ФГУНИГП «Тульское НИГП», МГРИ-РГГРУ, Сибирский федеральный университет, Национальный исследовательский, Томский политехнический университет, Иркутский национальный исследовательский технический университет, ЮРГПУ (НПИ), ОАО «Терекалмаз», шведская фирма «Atlas Copco», Reed Huscalog и др.

В настоящее время разработано несколько типов коронок, показавших удовлетворительные результаты на производственных испытаниях. Однако по ряду причин они имеют ограниченное применение. Трудности создания эффективного породоразрушающего инструмента, армированного синтетическими алмазами и сверхтвердым материалом, связаны с новизной решаемой задачи и специфичностью бурения перемежающихся пород средней твердости и выше средней.

Для бурения пород средней твердости выпускаются монокристаллические алмазы марки MBS, поликристаллические - марки Geoset и композиционные - Stratapax и Sindite. Особо высокие результаты по сравнению с коронками, армированными синтетическими алмазами, обеспечивают коронки, армированные поликристаллами марки Geoset и композиционным материалом Stratapax в виде дисков диаметром 13,5 мм. Так, ресурс коронки с алма-

зами Geoset выше ресурса однослойных и импрегнированных коронок, армированных синтетическими алмазами соответственно на 21 и 40%, а механическая скорость на 68 и 25%. Высокая эффективность применения Stratapax объясняется тем, что твердосплавная пластина с алмазным покрытием сочетает лучшие свойства поликристаллических алмазов (высокую твердость, износостойкость, прочность на сжатие) и твердого сплава (высокую прочность на изгиб). Композиционные материалы типа Stratapax и Siadite представляет наибольший интерес при армирования породоразрушающего инструмента для бурении пород средней твердости [10,11,13]. За последние годы освоено промышленное производство ряда сверхтвердых материалов. Синтетические сверхтвердые материалы изготавливают на основе нитрида бора(кубонит, эльбор, гексанит) и композиционных материалов (славутич, АТП или PDC). Славутич - композиционный материал, состоящий из твердого сплава и зерен алмаза и обладающий высокой износостойкостью. Его преимуществом является возможность получения изделий практически любой формы в зависимости от конструкции инструмента. Крепление вставок в корпусе осуществляется путем пайки при температуре до 900°С.

В Институте сверхтвердых материалов АН Украины созданы буровые коронки БС2 и БС3 с использованием сплава Славутич в виде резцов призматической формы на рабочем торце и цилиндрических вставок для подрезных элементов. Коронки диаметром 93 мм имеют восемь рабочих секторов, у коронки типа БС2 перекрытие забоя скважины осуществляется пятью элементами. Во избежание сколов режущие элементы защищены спереди и сзади опорными пластинами. Промежутки между секторами образуют хорошо развитую промывочную систему, обеспечивающую возможность использования промывочных растворов повышенной вязкости. Ощутимыми особенностями коронки БС3 является меньшая площадь контакта рабочих элементов с породой: на рабочем торце коронки диаметром 93 мм размещено только 12 вставок и улучшена промывочная система. Перекрытие забоя осуществляется тремя вставками, расположенными поочередно в каждом секторе по две или

одной (через сектор). Результаты испытаний показали, что при применении этих коронок по сравнению с твердосплавными механическая скорость бурения повышается на 39-70% [13].

В ИСМ АН УССР, кроме указанных, с применением синтетических алмазов, разработаны импрегнированные коронки для монолитных и слаботрешиноватых пород VI-X категорий - типа БС01, для V-VIII категорий - типа БС02. Их отличительной особенностью является применение штабиков Славутич только в качестве подрезных элементов, а в объемном слое - синтетических алмазов марки АСС.

В настоящее время заводами серийно выпускаются коронки: 36, 46, 59, 76, 93, 112, 132, 151 мм. Опыт эксплуатации показывает их эффективность при частоте вращения не менее 450-500 об/мин и осевой нагрузке на 20-30% меньше, чем при использовании серийных коронок с природными алмазами [8].

Кубический нитрид бора (КНБ) получают обработкой нитрида бора в специальной камере при давлениях и температуре того же порядка, что и при синтезе алмазов. В зависимости от назначения имеется возможность в процессе изготовления изменять физико-механические и эксплуатационные свойства материала в широких пределах. С применением резцов из эльбора во ВНИИАШ разработаны коронки типа ЛКР, а в ВИТРе - типа КРК. Коронка ЛКР имеет семь секторов, в каждом из них размещены по три цилиндрических зерна эльбора высотой около 4 мм. Выступа алмазов из тела матрицы нет. Косые промывочные каналы коронки способствуют свободному проходу промывочной жидкости.

Коронка КРК конструктивно выполнена более совершенной. С целью эффективного поражения забоя для увеличения удельного давления на породу угол наклона резцов к плоскости торца составляет 130° . Величина заданного выпуска резцов доведена до 1,5 мм. Для более надежного закрепления резцов их продольная ось обращена внутрь матрицы, при этом угол поворота в плоскости торца, между проекциями радиуса коронки и продольной оси,

составляет 15° . Боковые поверхности секторов по наружному и внутреннему диаметрам коронки армированы зернами природных алмазов.

Коронка КСАВ диаметром 59 мм имеет четыре сектора, в каждом из них по торцу установлено три резца с выпуском над матрицей, а продольная ось резцов параллельна оси коронки. В плане они размещены по схеме разностороннего треугольника, причем центральные резцы смещены в сторону скважинообразующих. В процессе испытаний отмечалось выкрашивание и сколы объемных резцов, в основном периферийных, а также сколы и отрывы секторов.

В ВИТРе разработаны две конструкции коронок с использованием синтетических алмазов: коронка типа РКС с целыми заготовками и типа I6A3 CB, I5A3 CB с алмазными зернами. Коронки типа РКС имеют девять секторов: три с опережающими резцами и по три со скважино- и кернаобразующими резцами, причем скважинообразующие резцы по высоте расположены дальше от забоя, чем кернаобразующие. Все резцы наклонены к плоскости резания и имеют выступ. Коронки РКС достаточно широко испытаны в различных геологических условиях, главным образом характерных для угольных месторождений. Особенностью коронок, предназначенных для работы в породах средней твердости является применение режущих элементов крупных размеров: заготовок синтетических сверхтвердых материалов или крупных фракций дробленых зерен. Большинство типов коронок имеет значительные (до 1,5 мм) выступы объемных резцов. Характерно большое сечение проходных каналов промывочной системы, в два-три раза больше, чем у мелкоалмазных коронок.

ОАО «Терекалмаз» выпускает буровые коронки, армированные синтетическими алмазами типа КС. Коронки этого типа предназначены для колонкового бурения геологоразведочных скважин в горных породах различной твердости и абразивности с категорией от V до VII с пропластками до 15% VIII категории по буримости.

Фирма «Атлас Копко» производит для бурения по породам средней твердости поликристаллические алмазные композитные коронки (ПАК). Эти коронки являются альтернативой карбидвольфрамовым твердосплавным и однослойным алмазным коронкам, применяются при бурении несвязных горных пород и пород средней твердости. Коронки разрушают горную породу скорее резанием, чем истиранием. Выпускает фирма также коронки Трипакс. Коронки изготавливаются с паянными кубическими или трехгранными вставками из поликристаллического алмазного композита (ПАК), заделанными в матрицу, и рекомендуются для бурения горных пород средней категории по буримости. Эти коронки специально предназначены для бурения с получением высококачественного керна при скорости проходки в три раза превышающей скорость проходки при использовании обычных однослойных алмазных коронок. Фирма производит также карбидвольфрамовые коронки различных типов: КВ коронки с восьмиугольными вставками, КВ коронки с пластинчатыми вставками. Эти коронки армированы восьмиугольными вставками из карбидвольфрама, закрепленными под углом 10° для образования режущих кромок. Использование карбидвольфрама специально разработанной марки, обеспечивает высокое сопротивление износу при вращательном бурении. КВ коронки с пластинчатыми вставками обычно используются при бурении несвязных горных пород в сочетании с оборудованием фирмы «Атлас Копко» - колонковыми трубами типа Геобор, Т6 и Т6S. Пластинчатые вставки установлены таким образом, что обломки выбуренной породы (шлам) удаляются наружу, при этом улучшается выход керна и уменьшается возможность его заклинивания. Основой всех этих коронок является сплавы типа ВК-6, ВК-8, ВК-11, ВК-15, ВК-20, ВК-22.

Одним из самых важных показателей, влияющих на механическую скорость бурения, при отработке коронок, армированных АТП, является глубина внедрения резца. Точечная нагрузка на породу каждого резца зависит не только от отдельной нагрузки, но и от конфигурации используемых резцов на коронке. Размер резца, угол атаки, угол бокового наклона, расположение на

коронке, а также его состояние – все это влияет на механическую скорость бурения. Конечное значение глубины внедрения резца зависит от механических свойств породы, количества оборотов в минуту, количества и качества промывочной жидкости, удельной нагрузки на резец. От глубины внедрения резца зависит два ключевых элемента отработки - механическая скорость бурения и реактивный момент. Реактивный момент - это глубина внедрения резца в сочетании со свойствами породы и конфигурацией резцов.

При проектировании коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами (АТП), используются следующие конструктивные элементы: конфигурация коронок (высота и толщина коронки, количество, направление и глубина промывочных окон, материал коронки); характеристика резцов (количество резцов, расстояние между ними, размер резцов, угол атаки, угол бокового наклона резца); интерфейс основного резца (конфигурация, состав, форма). Исходя из вышеизложенного нами были разработаны и внедрены в производство коронки, армированные АТП.

Коронки армированные АТП, эффективно бурят горные породы от VI до VIII категории по буримости. Этот нюанс имеет принципиально важное значение, особенно для условий, где пропластки горных пород IX категорий встречаются в разрезе довольно часто. Выпуск этих коронок – это попытка найти ответ на вопрос: как одной коронкой пробурить горные породы с VI до VIII категорий по буримости за один рейс. Но, до последнего времени, однозначно ответа на этот вопрос нет.

Предложенные нами коронки изготавливаются классическим способом. Их геометрия и схема установки на короночном кольце АТП позволяет коронке работать в более стабильном режиме. Преимуществом этой коронки является наличие пластин АТП, которые в процессе работы не меняют площадь контакта режущего инструмента (резца) с забоем, самозатачиваются и имеют до 30% отработку алмазного слоя. При бурении коронками, оснащенными АТП, в средних породах они работают как режущий инструмент, срезают породу. При встрече твердых пород, VIII-IX категории по буримости, эти

коронки начинают работать в режиме микрорезания. Коронки предназначены, в первую очередь, для повышения механической скорости бурения, увеличения проходки на коронку, улучшения качества очистки забоя от шлама, снижения момента сопротивления и усилия подачи. 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 них сконцентрировано четыре патента и одна заявка на изобретение, а также несколько расчетов по геометрии рабочего торца коронок. Преимущество их перед аналогами заключается в том, что при расчетах учитывалась гидродинамика и использование ее для дополнительного разрушения 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, так же говорит в ее пользу. На первый взгляд конструктивно коронки похожи на существующие модели породоразрушающего инструмента, но в геометрии гребней рабочего торца инструмента заложен расчет по принципу минералогического закона. Исходя из вышеизложенного, требования, предъявляемые к разрабатываемому инструменту, определяются сочетанием известных достоинств твердосплавных и алмазных кольцевых коронок: коронка должна обеспечивать высокую скорость, низкую энергоемкость и большую наработку при бурении скважин по породам средней категории по буримости и выше средней.

В настоящее время освоен промышленный выпуск АТП (УкрНИИСМ), пластин Стратапакс, PDC (Дженерал Электрик) и пластин из синтетических алмазов типа АБС, АСПК, ТАКМ и других, не только в виде штабиков диаметром 4 мм и высотой 4 мм, но и пластин круглой цилиндрической формы

13,5 мм с толщиной алмазного слоя 0,8-2,0 мм и высотой 4-4,5 мм. Такие формы пластин полностью исключают возможность использования их в известных конструктивных схемах армирования коронок твердосплавными пластинами, так как угол заострения, равный 90° позволяет АТП работать в режиме резания только с отрицательным передним углом, исключая посадку его на заднюю грань. За границей алмазно-твердосплавные пластины носят название PDC.

Оптимальной является узорчатая поверхность твердосплавной подложки ВК-20, это способствует увеличению сопротивления сдвиговым и ударным нагрузкам, так и улучшению сопротивления эрозии (рисунок 1.2). Узорчатая поверхность уменьшает напряжение между алмазным слоем и твердосплавной подложкой.

В 2002 году, компания Reed Nycalог внедрила новый резец PDC, названный Трех, у которого на поверхности АТП находится сверхтвердый алмазно-содержащий слой. Лабораторные тесты, подтвержденные полевыми испытаниями ПРИ показали до 40% прироста износостойкости АТП. Основная масса резцов PDC или АТП - круглая диаметром от 8 мм до 24 мм. Кромка резца может быть скошенной или скругленной для уменьшения повреждений от ударов, особенно это важно при использовании резцов с высоким углом атаки. В некоторых дизайнерских решениях используются гравированные резцы, где часть резца, находящаяся в контакте с породой, заострена, что дает сосредоточенную нагрузку. Это очень важно при бурении пород с высокой степенью сжатия, особенно в кристаллических известняках.



Рисунок 1.2 ATP диаметром 13,5 мм. Высота алмазного слоя от 1 до 2 мм

Эффективность работы резцов с синтетическими поликристаллическими алмазами повышается не только за счет алмазного материала с лучшим ударным и абразивным сопротивлением, но также за счет крепления алмазного слоя к твердосплавной поверхности. Ребристая поверхность обеспечивает механическое зацепление между алмазной пластиной и карбидвольфрамовой подложкой и представляет собой большую площадь поверхности для диффузии кобальта. Это улучшает профиль напряжений резцов с синтетическими поликристаллическими алмазами, увеличивает сопротивление ударному воздействию и позволяет значительно увеличить качество ATP. Усовершенствования конструкции ATP в части ударной жесткости внесли существенный вклад в повышение абразивного сопротивления за счет снижения едва обнаруживаемого микроскалывания алмазных пластин. Однако дело заключается вовсе не в увеличении объема алмазного слоя пластин. Более толстые алмазные пластины имеют меньшее сопротивление к абразивности, поэтому следует оптимизировать характеристики абразивности и износа за счет ударного воздействия. Скошенные резцы частично снижают первоначальные концентрации напряжений на краях синтетических поликристаллических алмазов.

Одной из актуальных задач является организация производства коронок, армированных АТП, диаметром 76, 93, 112, 123, 132, 151, 164, 172, 184 мм, и, если потребуется, диаметром 195, 219, 225, 245, 273, 325, 350, 450 мм.

В течение последних нескольких лет на кафедре “Нефтегазовые техника и технологии” Южно-Российского государственного политехнического университета выполняются научно-исследовательские работы по проблеме разработки конструкций и технологии бурения породоразрушающим инструментом, армированным АТП. Выполненные работы позволили приступить к мелкосерийному производству коронок, армированных АТП. В условиях механических мастерских ЮРГПУ (НПИ) были изготовлены и отработаны в полевых условиях ОАО “Алроса” следующие коронки ККД-164, ККД-184, АТП - 93, АТП-112, АТП-123, АТП-151, АТП-225. Эти коронки являются комплексными, многоцелевыми, то есть эффективно бурят горные породы от VI до VIII категории по буримости включительно. Стоимость их выше коронок типа СМ,СА, СТ, но расчет экономического эффекта показывает, что применять их выгоднее. Работают эти коронки в режущем-истирающем режиме, то есть одинаково эффективно бурят горные породы VI-VIII категории по буримости. На конструкцию коронок, армированных АТП, получено шесть патентов.

АТП на корпусе коронки 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° приводит к 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 1.5 приведён общий вид буровой коронки, на рисунке 1.6 – вид сверху.

Кольцевая буровая коронка режущего типа содержащая корпус 1, с соединительной 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 и имеют отрицательные передние углы α_1 α_2 (см. рисунок 1.3,1.4) в плане к боковым внутренней и внешней поверхностям резания и отрицательные передние углы β_3 к торцевой поверхности забоя скважины, что обеспечивает их самозатачиваемость, так как твердосплавная основа изнашивается быстрее алмазного слоя, образуя задний угол у режущей пластины (патент №2359103).

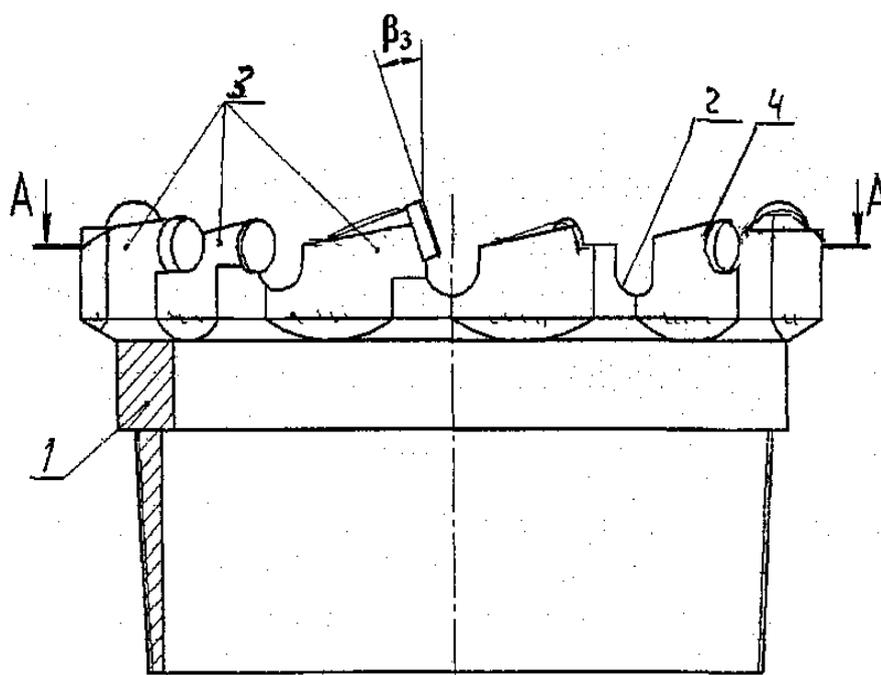


Рисунок 1.3 Общий вид буровой коронки

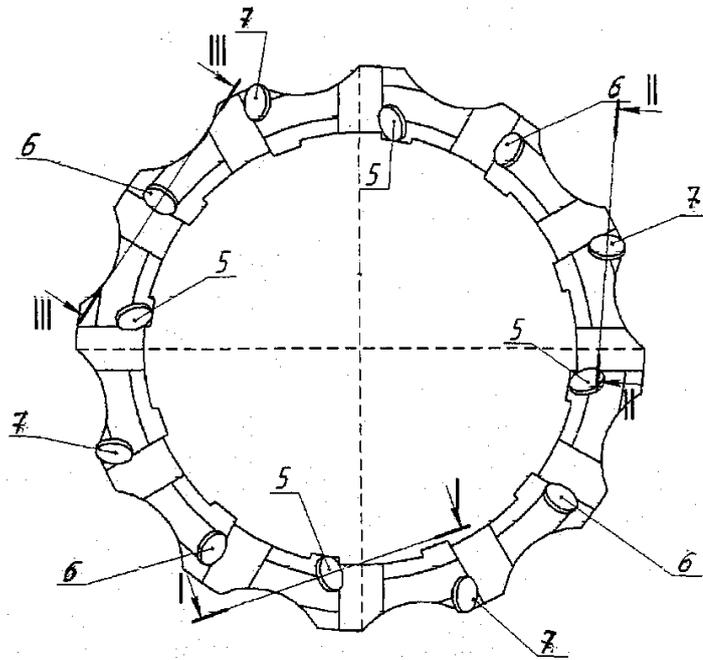


Рисунок. 1.4 Буровая коронка (вид сверху)

По результатам полевых испытаний в ОАО “Алроса” коронки, армированные АТП, были усовершенствованы и по просьбе заказчика изготовлены и испытаны в полевых условиях. Коронки 112АТП армированы 8 пластинами АТП, (рисунок 1.5), коронки Д225 АТП армированы 18 пластинами АТП.(рисунок 1.6)



Рисунок 1.5 – Коронка диаметром 112 мм, армированная АТП



Рисунок 1.6 – Коронка диаметром 225 мм, армированная АТП

Целью дальнейшего исследования стало увеличение наработки на кольцевую буровую коронку, путем замены алмазно-твердосплавных пластин, без замены корпуса коронки, с закреплением их механическим способом. Достигается это тем, что АТП закрепляется в цилиндрических пазах цилиндрическими клиньями с помощью прижимных винтов (патент RU 2422613)[41].

На рисунок 1.7 показан вид кольцевой буровой коронки режущего типа с механическим креплением алмазно-твердосплавных пластин цилиндрическими клиньями с прижимными винтами. На рисунке 1.8 показан фрагмент вида сверху кольцевой буровой коронки режущего типа с механическим креплением АТП цилиндрическими клиньями с прижимными винтами. Кольцевая буровая коронка режущего типа содержит корпус 1 с присоединительной резьбой 2, разделена промывочными каналами 3 на секторы 4, снабженные резцами 5, армированными АТП 6. В корпус 1 в цилиндрическом пазу 7, имеющий диаметр, равный диаметру АТП 6, расположен цилиндрический клин 8, обладающий ограниченной степенью свободы в перемещении по осям X и Z, но способный перемещаться вдоль оси Y. Вставленная в цилиндрический паз 7 АТП 6 упирается своей задней поверхностью 9 в торцевую поверхность 10 цилиндрического паза 7 и прижимается к ней силой резания F и осевой силой P_z . Цилиндрический клин 8, закрепленный прижимным

винтом 11 диаметром d , удерживает АТП 6 от перемещения вдоль оси Y . Прижимной винт 11 удерживает цилиндрический клин 8 от вращения [41].

Кольцевая буровая коронка режущего типа работает следующим образом. При вращении, передаваемом от става бурового станка, коронка, соприкасаясь с забоем скважины, разрушает его за счет того, что резцы 5, армированные алмазно-твердосплавными пластинами 6, установленные с отрицательным передним углом β и задним углом α , прорезают concentricкие перекрывающиеся друг друга каналы. В процессе резания участвуют лишь часть круглой кольцевой кромки АТП 6, контактирующая с породой, износ которой приводит к изменению размеров инструмента. При этом большая часть круглой кольцевой кромки, не участвующая в резании, остается острой. Конструкция, после перестановки алмазно-твердосплавных пластин, позволяет использовать коронку многократно. Это увеличивает общую наработку дорогостоящего инструмента в несколько раз, по сравнению с коронкой с припаянными алмазно-твердосплавными пластинами, чем и достигается решение поставленной задачи.

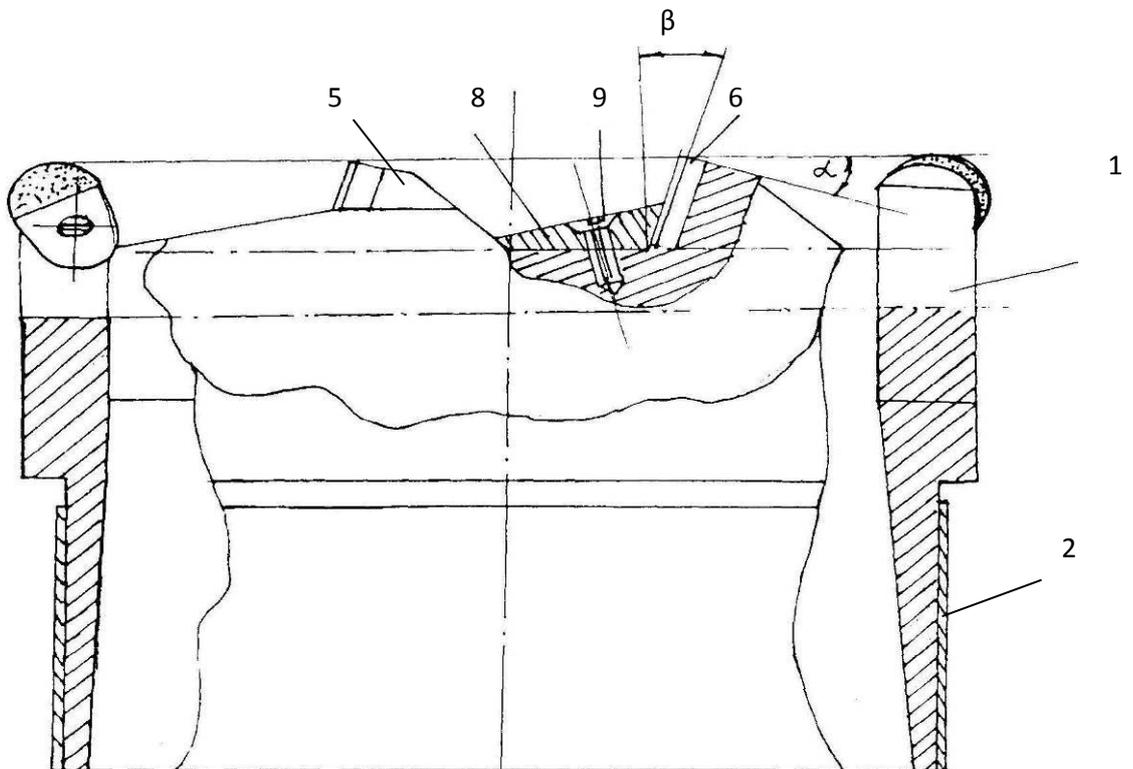


Рисунок 1.7 Кольцевая буровая коронка с механическим креплением

С целью усовершенствования конструкции буровой коронки нами предложено промывочные пазы на коронке выполнить разнонаправленными под углом. Разнонаправленные промывочные пазы позволяют создать эффективный турбулентный поток промывочной жидкости на забое, что способствует увеличению механической скорости бурения горных пород, так как улучшается очистка забоя скважины, то есть крупные частицы шлама не попадают под режущую пластину коронки и вторично не разрушаются. Изобретение относится к коронкам, предназначенным для бурения скважин с отбором керна по трещиноватым и перемежающимся по твердости породам при разведке месторождений на твердые полезные ископаемые.

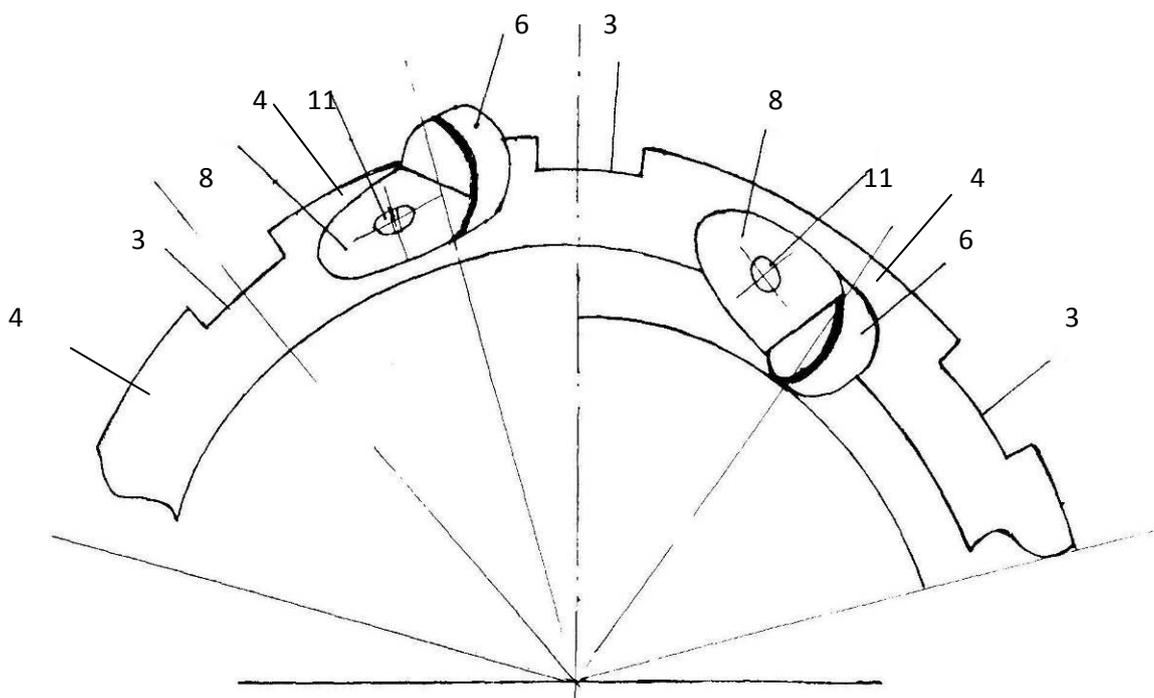


Рисунок 1.8 Кольцевая буровая коронка(вид сверху)

Недостатком известных коронок является низкая скорость проходки вследствие режуще - истирающего способа разрушения породы , а также наличие промывочных каналов, расположенных под прямым углом, что не способствует турбулентности восходящего потока.

Задачей изобретения новой коронки является повышение механической скорости бурения и ресурса коронки. Кольцевая буровая коронка режущего типа, содержит корпус с присоединительной резьбой, разделенный промывочными каналами на секторы, которые с торцевой поверхности снабжены твердосплавными пластинами имеющие отрицательные передние углы в плане к боковым внутренней и внешней поверхностям резания и отрицательные передние углы к торцевой поверхности забоя скважины, причем промывочные каналы выполнены встречно под углом.

Режущие элементы со стороны торцевой поверхности установлены с отрицательными передними углами к поверхности забоя скважины, что обеспечивает их самозатачиваемость и повышает надежность работы и долговечность буровой коронки, а расположенные встречно под углом промывочные каналы, увеличивают интенсивность выноса из забоя скважины бурового шлама, за счет создания турбулентного потока. В результате этого значительно увеличивается механическая скорость бурения. Получен патент на конструкцию коронок, армированных АТП с встречным расположением промывочных каналов (RU № 2435927).

Обзор отечественных и зарубежных конструкций твердосплавных коронок и коронок, армированных АТП, для бурения горных пород средней и выше средней категории по буримости позволил установить следующее:

1. При бурении скважин колонковым способом в породах средней и выше средней категории по буримости наиболее эффективным материалом для армирования породоразрушающих инструментов становятся сверхтвердые материалы и синтетические алмазы.

2. Выпускаемые в настоящее время твердосплавные коронки для бурения горных пород VI-VIII категории по буримости по своему качеству невысокого уровня, так как проходка на коронку не превышает 40 м, а механическая скорость не более 11 м/ч.

3. Считаю, что со временем, по мере усовершенствования конструкций и технологий бурения скважин, коронки типа СА, СМ и СТ будут

полностью заменены на коронки, армированные алмазно-твердосплавными пластинами.

4. Заводы бурового оборудования практически не выпускают твердосплавные и алмазно-твердосплавные коронки диаметром более 151 мм.

5. В настоящее время разработано несколько типов коронок, показывающих удовлетворительные результаты на производственных испытаниях. Однако по ряду причин они имеют ограниченное применение. Трудности создания эффективного породоразрушающего инструмента, армированного синтетическими алмазами и сверхтвердыми материалом, связаны с новизной решаемой задачи и специфичностью бурения перемежающихся пород средней и выше средней твердости.

6. Оценивая известные конструкции коронок, армированных АТП, необходимо отметить, что применение их позволяет улучшить технологию проходки горных пород VI-VIII категории по буримости, но с учетом реалий сегодняшнего дня, буровым компаниям требуются новые усовершенствованные конструктивно коронки, обладающие повышенной износостойкостью, то есть, прошедшие упрочнение, с высокими стабилизированными и антивибрационными свойствами. Решению этих вопросов и посвящены следующие главы.

1.2. Цель, задачи и основные вопросы исследований.

Целью работы является разработка конструкций коронок нового поколения, технологии их применения, увеличение стойкости бурового породоразрушающего инструмента, армированного АТП, за счет изменения его физико-механических и эксплуатационных свойств, а также разработка методики отработки коронок с учетом прочности, износа и вибрации.

Повышение стойкости буровых коронок достигается за счет криогенно-магнитного упрочнения. Разработка и внедрение криогенно-магнитного способа упрочнения коронок позволит добиться повышения технико-экономических показателей бурения геологоразведочных скважин.

Основные вопросы исследования – разработать и изготовить буровые коронки нового поколения, установить оптимальную технологию их упрочнения и рациональную технологию бурения горных пород VI-VIII категории по буримости с учетом прочности, износа и вибрации.

Основные задачи работы будут решаться на основе теоретических, экспериментальных и практических исследований. Технология криогенно-магнитной обработки будет выполняться в лабораторных условиях, испытания коронок – в производственных условиях и на экспериментальном буровом стенде. В лабораторных условиях будут выполняться механические испытания, металлографические исследования, электронно микроскопический, спектрометрический и рентгенофазовый анализ.

Экспериментальные работы будут выполняться в ЮРГПУ (НПИ), в центре коллективного пользования «Нанотехнологии», на кафедре «Нефтегазовые техника и технологии», а также на кафедре “Современных технологий бурения скважин” (РГГУ). Производственные испытания коронок, армированных АТП, будут выполняться в ОАО «Алроса» и в Ростовской буровой компании.

Выполненный анализ конструкций твердосплавных коронок и буровых коронок, армированных АТП, позволили сформировать цели, задачи и основные вопросы исследований, решению которых и посвящена данная диссертационная работа.

2. РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЫХ КОРОНОК, АРМИРОВАННЫХ АТП.

2.1 Современные представления о теории разрушения горных пород буровыми коронками.

Первые работы по вращательному бурению скважин коронками были опубликованы в Известиях Екатеринославского (теперь Днепропетровского) горного института в 1905 году. Оценивать сопротивление горных пород при бурении по их сопротивлению внедрению твердосплавного резца впервые (1939 год) было предложено Е.Ф. Эпштейном [51]. Необходимо отметить, что наука о прочности и разрушении твердых тел начала развиваться такими учеными как Галилео Галилей, Р. Гук, Ш. Кулон, Сен-Венан, О. Мор.

Л.А. Шнейнер разработал оригинальную методику определения механических свойств горных пород путем вдавливания штампа. Эта методика позволяет количественно определять твердость, пластичность и удельную работу разрушения горных пород на приборе УМГП-3. Работами этих ученых был завершен первый этап в разработке теории разрушения горных пород. Были получены формулы для расчета окружной силы, крутящего момента и мощности на породоразрушающем инструменте, а также формулы для расчета проходки и скорости бурения, как функции параметров режима бурения и свойств пород.

Нынешний этап заключается в изучении и использовании знаний физики процессов разрушения горных пород, применении новых породоразрушающих резцов и коронок, а также разработке способов их упрочнения, с учетом рациональной технологии бурения скважин.

Известно, что процесс резания горных пород, независимо от категории их твердости, во много раз эффективнее процесса вдавливания, так как затрага энергии при резании растет значительно медленнее, чем увеличение объема отделяемой породы. Следовательно, наиболее эффективным методом разрушения породы является метод резания, несмотря на кажущуюся парадок-

сальность этого вывода, так как известно, что инструменты режущего типа в настоящее время имеют ограниченную область применения из-за того, что они изнашиваются при резании значительно интенсивнее, чем при дробящем методе. Если бы удалось увеличить стойкость резцов, то, несомненно, режущий инструмент был бы самым производительным – отмечает В.С. Владиславлев [1].

Существует мнение, что вращательное колонковое бурение и резание пород резцовым инструментом не имеют принципиальных отличий. Хотя известно и другое мнение где сказано, что одним из отличий вращательного бурения от резания горных пород является возможность разделения движения породоразрушающего инструмента при бурении на главное и вспомогательное. Главное движение – это внедрение, оно происходит от действия осевого усилия на коронку. Вспомогательное движение происходит от действия силы резания и предназначено для подготовки забоя скважины к внедрению в него инструмента [6].

Разрушения горных пород при бурении является сложным процессом, в котором задействовано большое число факторов технического характера. Причем факторы эти имеют стохастическую природу, - это относится как к показателям физико-технических и горнотехнологических свойств горных пород, так и к режимным параметрам. Многие факторы коррелированы между собой и с различной степенью воздействуют на выходные критерии: механическую скорость бурения, скорость износа рабочих органов, удаление продуктов разрушения пород и другие. Указанные обстоятельства существенно затрудняют всестороннюю оценку процесса разрушения горных пород при бурении, требуют оптимального сочетания использования аналитических, экспериментальных и модельных методов. В последние годы в зону практического рассмотрения и решения поставленной проблемы помимо традиционных методов теории упругости и пластичности, физики твердого тела, технической термодинамики, гидравлики внедряются новые методы, основанные на рассмотрении процессов с позиции системного подхода.

Вклад в развитие отдельных разделов теории и практики разрушения горных пород при бурении коронками внесли отечественные исследователи: Л.А. Шрейнер, В.С. Федоров, С.А. Волков, Н.Н. Шацев, Е.Ф. Эпштейн, Б.И. Воздвиженский, В.С. Владиславлев, А.И. Осецкий, Е.А. Козловский. С.С. Сулакшин, Н.В. Соловьев, В.И. Спириин, В.И. Власюк, Д.Н. Башкатов, М.Г. Крапивин, В.В. Нескоромных, К.И. Борисов, Ю.Е. Будюков, В.М. Питерский, Л.К. Горшков, В.Ф. Чихоткин, В.Г. Кардыш, О.В. Ошкордин, Р.К. Богданов, А.П. Закора, А.М. Исонкин. Из зарубежных исследователей - Х. Вутс, Е. Галле, Х. Фулerton, Д. Ламус, В. Мауэр и другие. Зарубежные исследования, в отличие от отечественных, характеризуются большей практической направленностью, ведущие зарубежные фирмы основное внимание уделяют качеству и более широкой номенклатуре выпускаемой продукции.

В настоящее время в практике бурения, главным образом, используют механические способы разрушения в комбинации с гидродинамическим воздействием струи бурового раствора на породу. В относительно небольших объемах применяют огневое бурение для сооружения взрывных скважин в крепких породах на карьерах. Физические способы разрушения горных пород при бурении по существу не используются. Взрывное, эрозионное, кавитационное, ультразвуковое, гидродинамическое и другие способы в своё время прошли широкую апробацию как у нас в стране, так и за рубежом. Однако они оказались неконкурентоспособными с механическим способом и поэтому не получили практического использования.

Разрушение горных пород тесно связано с двумя другими технологическими процессами - удалением продуктов разрушения породы из призабойной зоны и охлаждением рабочих элементов породоразрушающего инструмента (ПРИ). Несвоевременное удаление продуктов разрушения породы с забоя не только затрудняет взаимодействие ПРИ с породой, снижая скорость бурения, но и приводит к дополнительному износу инструмента.

Не менее важно охлаждать рабочие органы инструмента, не допуская их перегрева. При температурах более 500-600°C возможно ослабление ме-

талла пайки твердого сплава и снижение прочностных характеристик твердого сплава. Особенно важно поддерживать оптимальный температурный режим при алмазном бурении. Нагрев алмаза до 400-600°C снижает износостойкость алмаза примерно в два раза. При температуре более 1000-1100°C возможен переход алмаза в графит и так называемый прижог алмазной коронки.

Основной вклад в создание эффективных ПРИ и технологии их использования в различных условиях внесли отраслевые НИИ и заводы-изготовители: Институт горного дела им. А.А. Скочинского, Всероссийский институт буровой техники, Специальное конструкторское бюро Министерства природных ресурсов, Всероссийский научно-исследовательский институт техники разведки, Государственное научно-исследовательское геологическое предприятие (ТулНИГП), Теркский завод алмазного инструмента, Институт сверхтвердых материалов Национальной академии наук Украины, Верхне-Сергиевский, Волжский и другие заводы породоразрушающего инструмента.

Преобладающим в настоящее время при бурении является механический метод воздействия на породу забоя скважины породоразрушающими инструментами в виде коронок, буровых долот, бурильных головок. Кольцевые буровые коронки армированные твердосплавными резцами появились в 20-е годы XX века. С тех пор и по настоящее время твердосплавные кольцевые буровые коронки непрерывно совершенствовались, но принципиальные технологические решения основных его типов остаются неизменными.

При вращательном бурении внедрение резцов в породу происходит под действием осевого усилия. Под действием окружного усилия разрушение породы распространяется по всему забою. Одновременно действие осевых и вращающих усилий приводит к непрерывному разрушению породы забоя спиральными слоями с очень малым углом наклона.

Накопленный с конца 70-х годов XX века зарубежный (резцы «Strataraх» и PDC) и отечественный опыт применения породоразрушающих инструментов, оснащенных алмазно-твердосплавными пластинами (АТП),

показал, что такие материалы обладают износостойкостью в десятки раз и термостойкостью, в 2 раза превышающей аналогичные характеристики вольфрам-кобальтовых твердых сплавов. Алмазно-твердосплавный инструмент высокоэффективен для бурения мягких и средних пород, при разрушении которых резцы сохраняют острые кромки длительное время. При роторном и турбинном бурении инструменты с АТП обеспечивают увеличение механической скорости проходки в 2 раза по сравнению с шарошечными долотами, и проходки на долото в 3-5 раз при осевой нагрузке в 2-5 раза меньшей при сопоставимом крутящем моменте.

По результатам металло-графического анализа отработанных коронок установлено, что на периферийных режущих элементах при скоростях резания, превышающих 3 м/с, в породах малой и средней абразивности температура в микрообъемах поверхностных слоев может достигать 1300⁰С и более [4]. При таких температурах, называемых критическими, происходит катастрофический износ всех известных армирующих материалов.

Исследования АТП, выполненные в ЮРГПУ (НПИ) [8] и других организациях, показали, что критическая температура является фактором, определяющим предельную или критическую скорость резания: скорость резания должна поддерживаться такой, чтобы контактная температура не превышала критического значения. Критические температуры зависят только от свойств сплавов, а контактные температуры - от конструкции коронки, режима его работы и характеристики горных пород. Критическая скорость резания с увеличением контактной прочности породы снижается. Эти исследования позволили также выявить влияние скорости резания на механизм износа коронок, армированных АТП. На докритических скоростях агрегатная твердость сплава значительно выше твердости зерен породы. С увеличением скорости повышаются контактные температуры.

Разрушение горных пород АТП осуществляется в основном резанием которое более эффективно, чем вдавливание и истирание алмазными инструментами, однако в настоящее время область применения режущих инстру-

ментов ограничена малоабразивными породами средней и выше средней крепости.

При использовании коронок, армированных АТП, определяющим является увеличивающийся износ режущих элементов от центра к периферии или потеря диаметра, что приводит к выходу таких инструментов из строя. Наиболее высокая температура возникает в середине площадки затупления и, если площадка достигает большой величины, то интенсивность износа резко возрастает с образованием сетки трещин. Так как режим разрушения породы в этом случае становится критическим, то его не следует допускать, подбирая для этого более благоприятные режимы бурения, обеспечивающие самозатачивание.

Так как алмазный слой имеет теплопроводность в 30 раз большую теплопроводности твердосплавной подложки из сплава ВК20, в 3 раза большую теплопроводности серебряного припоя и в 60 раз большую теплопроводности материала корпуса инструмента, то образующееся на режущей кромке температура быстро распространяется по алмазному слою АТП, равномерно передается на подложку из твердого сплава и в разрушаемую породу, т.е. не происходит накапливание тепла на режущей кромке, что улучшает условие ее работы по температурному режиму. Такой эффект сравним с охлаждением резца по передней грани высоконапорными струями воды.

Известно, что коронка, армированная АТП, при бурении мягких и средних пород коронка работает как режущий инструмент, встречая твердые и крепкие прослойки работает в режуще-истирающем режиме.

Исследование работы антивибрационных коронок с расположением АТП по заданной схеме (положительное решение №201611753/03 “Антивибрационная кольцевая буровая коронка”) показали, что используя коронки нового образца удалось уменьшить вибрацию буровой колонны в целом, уменьшить вибрационный импульс при бурении резцом АТП, при этом увеличилась скорость бурения и общая наработка на коронку, уменьшилось количество мелких сколов АТП.

Анализ работы коронок показал, что одним из источников 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 или под углом γ_c° к направлению резания, показал значительное уменьшение вибрационного импульса на развернутый угол γ_c° АТП, при одинаковом значении толщины срезанного слоя породы (h). 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 разнонаправлено под отрицательным углом γ_c° к направлению резания.

С ростом глубины скважины увеличивается твердость горных пород и энергоемкость их разрушения, что приводит к снижению технико-экономических показателей бурения. В этих условиях наиболее эффективными считаются буровые коронки, работающие по принципу резания-скалывания. Область применения таких коронок расширяется в связи с созданием новых конструкций и форм резцов из износостойких АТП.

Известно, что область применения таких коронок ограничена породами до IX категории по буримости, но преимущества их очевидны: обеспечивается увеличение проходки в два и более раз, рейсовой скорости в 1,5-2,0 раза по сравнению с твердосплавными самозатачивающимися коронками.

Наработка буровых коронок, армированных АТП, зависит от износа и поломок режущих элементов. Износостойкость АТП в 50-100 раз превышает износостойкость резцов из вольфрамкобальтовых твердых сплавов. Но на каждой из отработанных коронок количество изношенных и сломанных АТП примерно одинаково. Изучение причин поломки АТП на буровых коронках является актуальной задачей.

Анализ состояния отработанных коронок показывает, что поломки АТП имеют преимущественно два вида: сколы от действия сил со стороны передней грани; сколы от действия сил со стороны задней грани.

Прочностные характеристики режущих элементов твердость, прочность, износостойкость и ударная вязкость значительно превышают прочностные и абразивные характеристики пород. Так у твердосплавной основы АТП твердость 86-89 HRA, прочность на изгиб 1000÷1800 МПа, ударная вязкость 5-7 Дж/см², модуль упругости 6-10⁵ МПа, у алмазного слоя предел прочности при сжатии 2000 МПа. Следовательно, поломки могут происходить в основном от действия ударных нагрузок.

2.2 Расчет конструктивных параметров буровых коронок

Разрушение породы является основной операцией при бурении скважин. В результате силового воздействия породоразрушающего инструмента в породе возникает упругое напряженное состояние. С увеличением нагрузки напряжения в горной породе возрастают и в итоге достигают предельного значения. Дальнейшее повышение нагрузки приведет к разрушению породы либо к пластической деформации. Однако изменение напряжений во времени и характер протекания деформации во многом зависит от генезиса и кристаллического состава породы. Все горные породы по характеру изменения деформации при внедрении твердого тела (штампа) делятся на следующие группы: хрупкие, пластично-хрупкие, упругопластичные, высокопластичные.

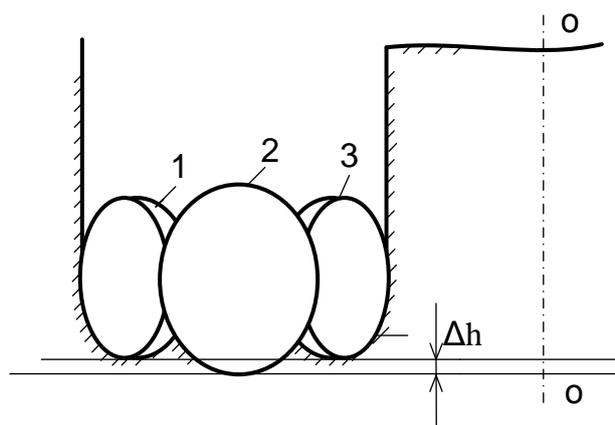
Распределение напряжений в горной породе также зависит от геометрической формы резца, которая может быть представлена в виде цилиндра, сферы, клина или призмы с плоскостью, ограничивающей упругое пространство. Процесс перераспределения напряжений по поверхности контакта резца с породой и переход одного вида деформации в другой с увеличением нагрузки очень сложен.

Известно, что процесс резания горных пород, независимо от категории их твердости, во много раз эффективнее процесса вдавливания, так как затраты энергии при резании растут значительно медленнее, чем увеличение объема отделяемой породы. Следовательно, наиболее эффективным методом разрушения породы является метод резания.

При проектировании коронок, армированных АТП, используются следующие элементы дизайна: конфигурация коронок (высота и толщина коронки, количество, направление и глубина промывочных окон, материал коронки; характеристика резцов (количество резцов, расстояние между ними, размер резцов, угол атаки, угол бокового наклона резца; интерфейс основного резца АТП (конфигурация, состав, форма). Детальное изучение дизайна буровых коронок позволило приступить к моделированию в натуральную величину оптимальной по конструкции антивибрационной коронки.

Известно, что если горные породы имеют категории по буримости от I до VII, то породоразрушающий инструмент работает в режиме резания, если горная порода имеет категорию по буримости VIII-XII, то алмазный породоразрушающий инструмент работает в режуще-скалывающем режиме.

С учетом энергетических затрат нами предложено располагать пластины АТП на коронке ступенчатообразно относительно забоя (рисунок 2.1)



1- скважинообразующая АТП, 2- пионерная АТП, 3- кернаобразующая АТП. О-О - ось скважины

Рисунок 2.1 Схема расположения АТП на корпусе коронки

Схема, представленная на рисунке 2.1 лежит в основе проектирования коронок, армированных АТП. Основной, пионерный резец №2 устанавливается по центру с отрицательным передним углом 15° и углом разворота АТП равным 0° . Первой нарезается центральная борозда, две боковые борозды нарезаются позже. Причем получаемый шлам из под первой скважинообразующей АТП отбрасывается, за счет разворота коронки под углом 15° вовнутрь коронки в зазор между стенками коронки и керном. Внешняя №1 и внутренняя №3 АТП устанавливаются под отрицательным углом 15° . Такая последовательность углубки забоя способствует уменьшению затрат мощности на разрушение и, как результат, возрастает механическая скорость бурения при низкой энергоемкости.

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, увеличивается процент выхода керна и уменьшается возможность его заклинивания. Забой при бурении получается ступенчатым за счет установки резцов на разных уровнях (рисунок 2.2).

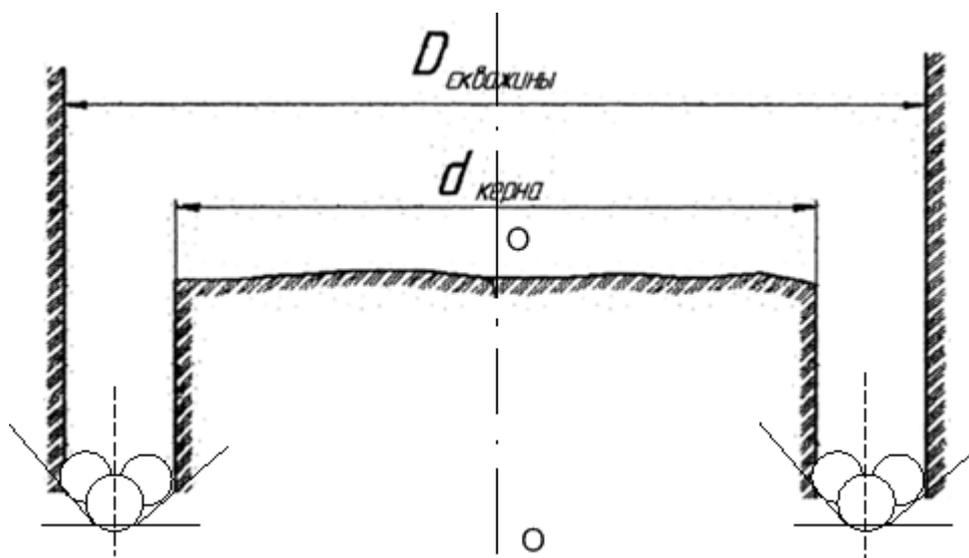


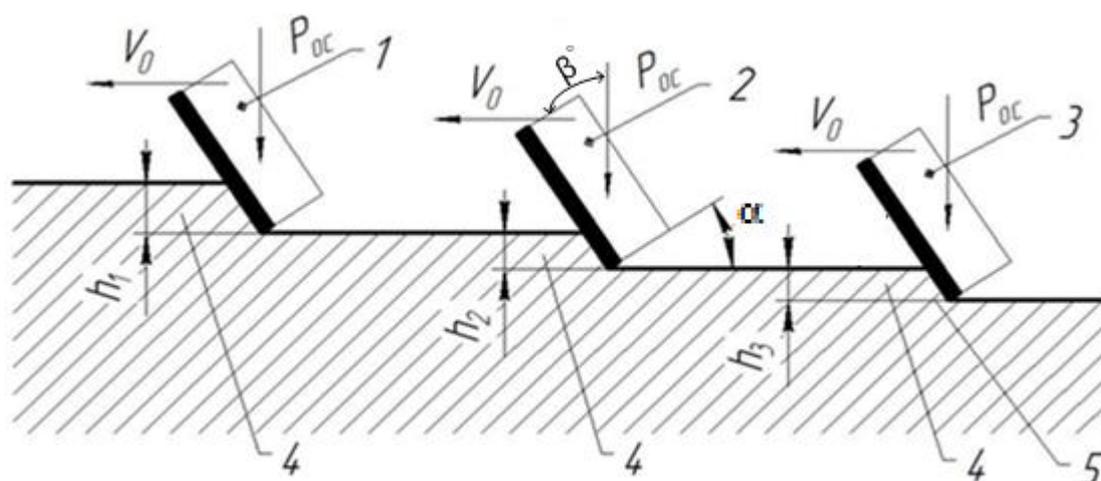
Рисунок. 2.2 Профиль забоя скважины

Передний угол – один из главных элементов режущей части породоразрушающего инструмента. Его величина является средством, с помощью которого можно изменять сопротивление резанию и расход энергии на реза-

ние. От величины переднего угла зависит количество выделяющейся теплоты при бурении горных пород, температура, износ и стойкость инструмента. Выполненные экспериментальные исследования при бурении горных пород VI-VIII категории по буримости показали, что максимальная механическая скорость бурения была достигнута при использовании коронки 112 АТП с углами, указанными выше при одинаковых технологических параметрах бурения.

Основной, пионерный резец АТП выступает на 3,0 мм по сравнению с первым и третьим резцом. Таким образом, в самых тяжелых условиях работает основной резец АТП, он делает первую борозду на забое. Первый и третий резец АТП нарезают борозды позже. Такая схема углубки забоя способствует уменьшению затрат мощности на разрушение и возрастанию механической скорости бурения. В геометрии гребней рабочего торца коронки, армированной АТП, заложен расчет по принципу минералогического закона, то есть нарезать вторую и третью борозды менее затратно по мощности, чем первую, так как в этом случае происходит частично скол горной породы, частично резание (рисунок 2.3).

Оценивая вышеизложенное необходимо отметить, что в настоящее время нет достаточно четкой научной теории рациональной геометрии коронок, армированных АТП. В этой работе мы впервые рассмотрели вопросы влияния на износ и стойкость коронок, армированных АТП таких важных элементов геометрии режущей части АТП, как передний угол, задний угол, главный угол в плане, вспомогательный угол в плане, задний вспомогательный угол. Без правильного понимания этих вопросов нельзя создавать совершенные конструкции буровых коронок, армированных АТП, добиваться высокого их качества и оптимальной механической скорости бурения.



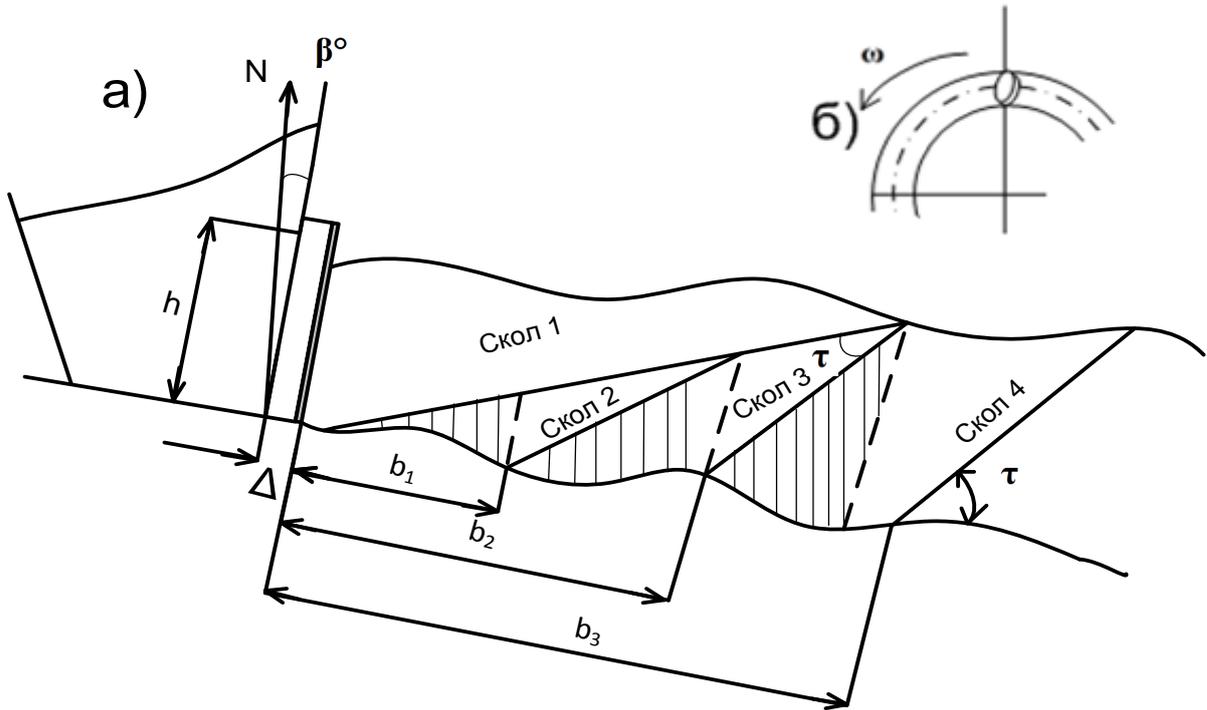
1- основной резец; 2- кернообразующий резец; 3- скважинообразующий резец; 4- слой породы срезаемой АТП; 5- линия скола породы; β - передний угол; α - задний угол; h_1 , h_2 , h_3 –толщина срезаемого слоя породы

Рис 2.3. Схема разрушения горной породы при комбинированной схеме расположения трех резцов

Установка АТП на корпусе под отрицательным передним углом -15° , с выступом первого резца на 3,0 мм и в связке по три штуки позволяет, при бурении малоабразивных горных пород средней твердости (VI-VII категория), работать коронке как резцовой, а абразивных - выше средней (VIII-IX) – как самозатачивающейся в режуще-скалывающем режиме.

Рассмотрим фрагмент процесса формирования поверхности забоя под буровой коронкой при резании хрупких породы резцом из АТП. Исследования, выполненные на основании анализа осциллограмм при бурении в лабораторных условиях на станке СКБ-4 с различной толщиной срезаемого слоя и элементов скола была предложена расчетная схема к математическому описанию процесса. В этом случае (рисунок 2.4а и 2.4б) разрушение хрупких горных пород выполнялось режущими элементами (АТП \varnothing 13 мм с толщиной алмазного слоя 1 мм и общей высотой 4,5 мм) установленным перпендикулярно движению резания. Идеализированная осциллограмма усилия резания (рисунок 2.5) в этом случае показывает резко выраженную цикличность про-

цесса резания, что, в конечном счете, объясняет поломки и сколы АТП на корпусе коронки за счет повышенной вибрации.



а) Расчетная схема разрушения хрупких горных пород единственным резцом кольцевой коронки, б) Режущий элемент установлен перпендикулярно к плоскости резания (вид сверху)

Рисунок 2.4. Расчетная схема разрушения горных пород

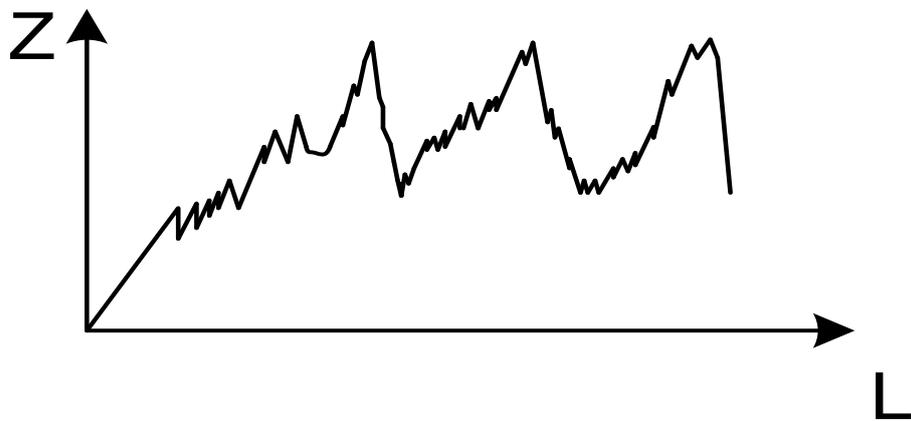
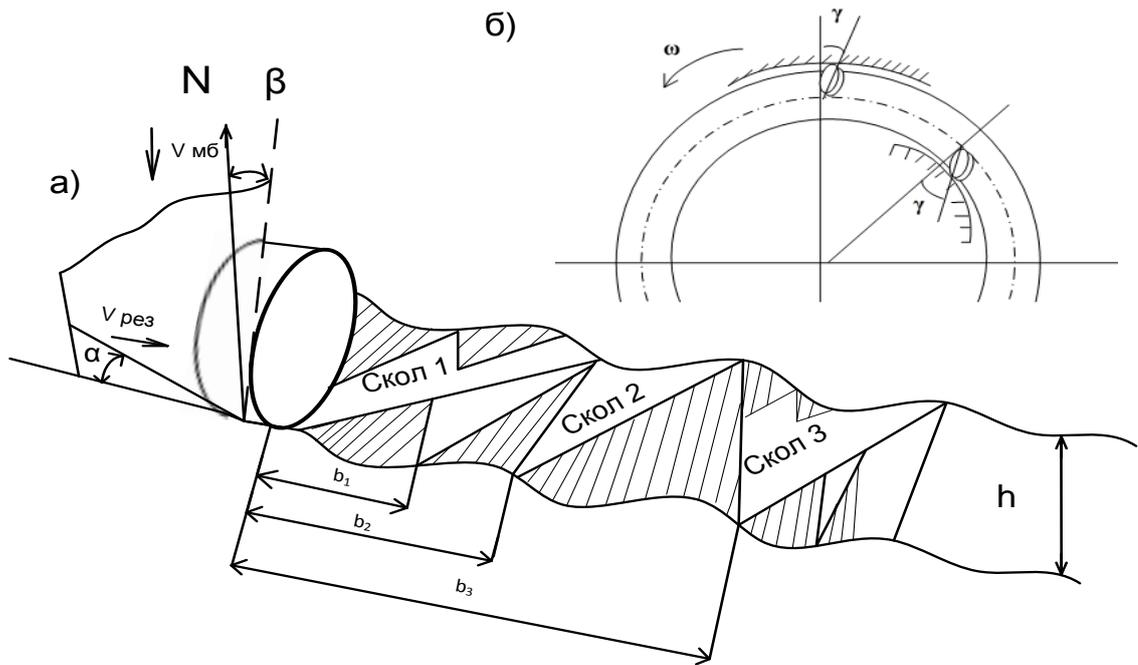


Рисунок 2.5. Осциллограмма усилия резания для хрупких горных пород, когда режущий элемент установлен перпендикулярно к направлению резания

В случае, когда разрушение горных пород осуществлялось АТП развернутыми к плоскости резания или под отрицательным углом равным 15° (рисунок 2.6а, 2.6б), идеализированная осциллограмма усилия резания для хрупких горных пород выглядит сглажено, то есть наблюдается уменьшение степени вибрации буровых коронок (рисунок 2.7). При этом увеличивается механическая скорость бурения и наработка на коронку.

Предложенная схема предусматривает один, два и более промежуточных мелких сколов перед сколом крупного элемента. 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 $P_{z \min}$ образуется при наложении впадины предшествующего положения забоя с выступом текущего положения. Теоретическое осмысление происходящих при этом явлений и процессов даёт возможность оптимизировать технологию изготовления и применения буровых коронок, армированных АТП.

Определение рациональных значений рабочих углов армирующих элементов для породоразрушающего инструмента режущего типа при бурении геологоразведочных скважин имеет большое значение и зависит от кинематических, технологических и горно-технологических условий.



а) Режущий элемент развернут к плоскости резания

б) Режущий элемент установлен под углом к плоскости резания. (вид сверху)

Рис. 2.6 Расчетная схема разрушения горных пород, развернутым единичным резцом кольцевой коронки

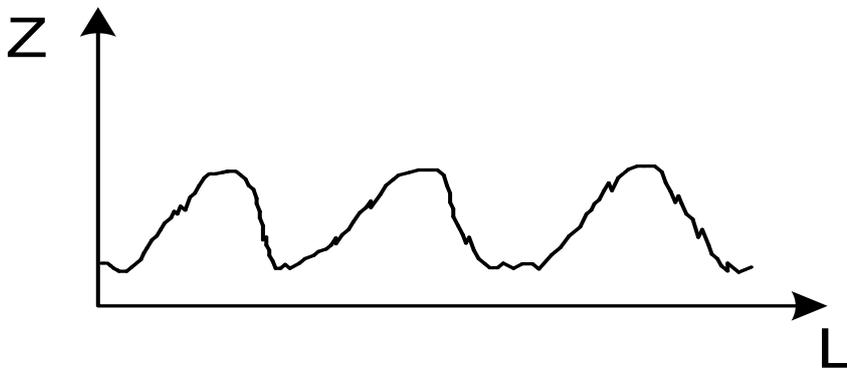
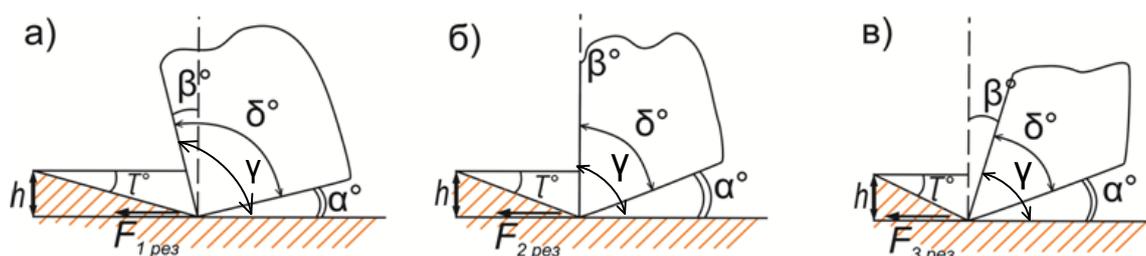


Рис.2.7 Осциллограмма усилия резания хрупких горных пород кольцевой коронки единичным резцом, развернутым к направлению резанию

Традиционные и современные породоразрушающие инструменты (ПРИ) режущего типа, применяемые при бурении геологоразведочных скважин, армируют вольфрамо-кобальтовыми сплавами и алмазно-твердосплавными пластинами (АТП). У твёрдосплавного ПРИ рабочие передние, задние и углы заострения не взаимосвязаны, так как армирующие

пластины могут быть различной формы, а в АТП, чаще всего - это круглые цилиндры. Угол заострения δ таких пластин равен 90° , а передний β и задний α взаимосвязаны. От величины переднего угла β зависит усилия резания $F_{рез}$ и формирование сколов пород. На рисунке 2.8 показаны схемы формирования сколов режущими элементами с различными углами. (γ -угол резания, β -угол заострения, β -передний угол, α -задний угол, τ - угол скола)



а) сдвиг со сжатием, $\tau=15^\circ$; б) сдвиг, $\tau=20^\circ$; в) сдвиг с растяжением, $\tau=25^\circ$.

Рисунок 2.8 - Схема формирования сколов режущими элементами

Чем больше отрицательное значение переднего угла, тем выше сопротивляемость породы резанию. Величина заднего угла зависит от кинематических, технических, горнотехнологических условий резания.

Угол резания - γ конструктивно связан с углами заострения - β , передним углом - β , и задним углом - α .

Экспериментальные исследования показывают [25], что сопротивление породы дроблению R_d и скалыванию $R_{ск}$ пропорциональны контактной прочности P_k .

$$R_d = 0,24 P_k; \quad (2.1)$$

$$R_{ск} = 0,06 P_k \text{ для резцов с положительным передним углом } \beta;$$

$$R_{ск} = 0,07 P_k \text{ для резцов с нулевым передним углом } \beta;$$

$$R_{ск} = 0,08 P_k \text{ для резцов с отрицательным передним углом } \beta.$$

Тогда усилие резания определяемое по формуле, будет увеличиваться с ростом $R_{ск}$ и уменьшением угла скалывания τ [25]:

$$F_{рез} = \mu_c \cdot R_0 \cdot F_{зат} + \frac{R_{ск} \cdot h \cdot B \cdot (\sin \delta + \mu_c \cos \delta)}{2 \sin \tau \cdot \sin(\tau + \delta)} \quad (2.2)$$

где: $F_{зат}$ – площадка затупления, мм²;

h – толщина срезаемого слоя породы, мм;

B – ширина режущего элемента, мм; определяется по формуле

$$B = 2 \cdot \sqrt{R^2 - (R - h)^2}$$

δ – угол заострения, град;

τ – угол скалывания, град;

μ_c – коэффициент трения режущих элементов о породу.

Работоспособность любого ПРИ режущего типа определяется надёжностью при разрушение пород на малых радиусах у оси ПРИ, где углы наклона винтовой траектории резания (рисунок 2.9) имеют наибольшее значение и определяются зависимостью

$$\alpha = \arctg \frac{h}{2\pi R} \quad (2.3)$$

где: h – глубина внедрения ПРИ за один его оборот, мм/об;

R – радиус установки режущего элемента, мм.

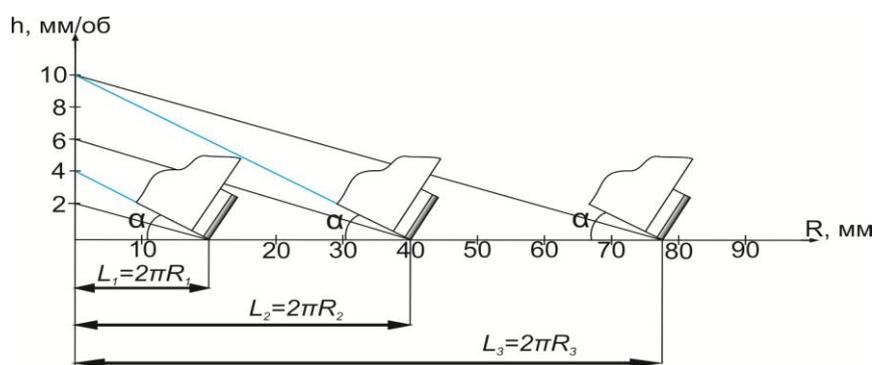


Рисунок 2.9 Углы наклона винтовых траекторий резания ПРИ.
для коронок различных диаметров

Посадка режущих элементов на заднюю грань приводит к поломкам от действия сил по задней грани.

На основании анализа кинограмм при бурении и строгании с различной толщиной срезаемого слоя породы и элементов сколов была предложена рас-

четная схема к математическому описанию процесса резания резцом единичной ширины [25].

Установлено, что угол скола любого элемента к ближайшей поверхности обнажения незначительно отличается от угла скола породы τ , а отношение высоты контакта стружки к длине линии скола $h_{ст}/l$, есть величина постоянная и находится в пределах $K=4 - 4,5$ для скальных горных пород.

Это означает, что на волнообразной поверхности забоя, при бурении, угол наклона образующей больших и малых волн, определяется по формуле:

$$\tau = \arcsin \frac{h_i}{l_i} \text{ и находится в пределах от } 12,8^\circ \text{ до } 14,5^\circ.$$

Тогда, чтобы предотвратить посадку режущего элемента на заднюю грань при прохождении через вершину на спуске с каждой волны необходимо чтобы задний угол превышал $14,5^\circ$. Принимаем $\alpha=15^\circ$. А так как у ПРИ, армированных АТП, передний β и задний α углы взаимосвязаны конструктивно (при угле заострения $\delta=90^\circ$), то максимальной отрицательностью при минимальном возрастании усилия резания для коронок нового поколения является отрицательный передний угол β равный 15° .

Для других породоразрушающих инструментов при бурении горных пород определяющим в выборе переднего угла могут быть другие условия, например, кинематические. Так, для буровых резцов типа РШ-140 или РБК-42, армированных АТП, передний угол β может превышать 20° из-за возможности посадки на заднюю грань АТП. Для режущих буровых инструментов, армированных вольфрамокобальтовыми вставками при бурении горных пород определяющим могут быть технические условия.

Учитывая, что возможности совершенствования резцов путем применения новых конструктивных материалов и технологий практически исчерпаны, их эффективность может быть повышена за счет сбалансированности основных эксплуатационных характеристик: прочности, износостойкости, энергоемкости процесса разрушения забоя, материалоемкости и технологичности. При таком подходе требуется находить оптимальные конструктивные

параметры резцов и схемы установки их на корпусе коронки применительно к заданным условиям эксплуатации. Решение этой проблемы экспериментальными методами крайне трудоемко и дорого.

Основываясь на разработанных и проверенных на практике методах расчетов прочности, долговечности, износостойкости и рабочих геометрических параметров резцов с различными формами режущей части, решить данную проблему можно методами математического моделирования.

С целью выбора оптимальной конструкции буровой коронки, с учетом ранее проведенных работ по дизайну, были выполнены исследования по моделированию оптимальной конструкции. Для решения, этих вопросов был использован принтер 3D и пакет прикладных программ. COMPAS -3D V14 проектирование и конструирование в машиностроение. Пакет включает в себя:

- возможность получения конструктивной и технологической документации в соответствии с ГОСТ, ISO, DIN;

- возможность постановки размеров и обозначений в трехмерных моделях (поддержка стандарта Гост 2.052 - 2006 “ЕСКД. Электронная модель изделия”)

- возможность быстрого перехода от проектирования к изготовлению коронок с использованием САМ- систем и станков с ЧПУ.

С помощью принтера 3D была изготовлена конструкция оптимальной буровой коронки диаметром 112мм, под колонковую трубу диаметром 108 мм. Конструкция коронки аккумулировала в себе все лучшее, что за последние годы нам удалось создать. (рисунок 2.10). То есть, коронка удлинённая, стабилизирующая, антивибрационная с установкой АТП диаметром 13,5 мм, с алмазным слоем до 2 мм, по заданной схеме и разнонаправленным их расположением под отрицательным углом 15° к направлению резания. На нагруженной поверхности коронки, внутри двух дополнительных промывочных каналов размещено два ряда калибрующих АТП диаметром 10 мм. Дополнительные промывочные каналы выполнены по всей высоте корпуса ко-

ронки по винтовой линии вправо по ходу вращения коронки. Расположенные в ряд три калибрующие пластины диаметром 10мм представляют собой элемент отдельной винтовой линии и закреплены на корпусе коронки с помощью пайки под отрицательным углом 15° относительно поверхности резания.

По результатам разработки и моделирования была изготовлена партия коронок и выполнено их испытание в полевых условиях. Экземпляр опытной буровой коронки представлен на рисунке 2.11.

Отработка стабилизирующих, антивибрационных коронок позволяет сделать вывод – коронка данной конструкции особенно эффективна при бурении трещиноватых, неустойчивых горных пород с изменяющейся категорией от VI- VIII по буримости, так как способствует увеличению механической скорости бурения и уменьшению угла искривления по всему стволу скважины. Результаты испытания коронок представлены в главе 5. Выполненные экспериментальные работы позволили приступить к мелкосерийному производству стабилизирующих, антивибрационных кольцевых коронок.

Каково будущее буровых коронок, армированных АТП? Конечной целью создания любой буровой коронки является применение наилучшего режущего вооружения обеспечивающего бурение высокоэкономичных скважин. Развитие технологии новых материалов, таких как алмазные композиционные материалы, будут и впредь играть важную роль в изготовлении эффективных коронок. Потенциал этих материалов достаточно громадный и в настоящее время не исчерпан. Модификация материала и структуры, как подложки, так и режущего слоя АТП, разработка эффективных технологий упрочнения корпуса коронки, паяного слоя и самого резца является предметом активных исследований. Разработка новых высокотемпературных процессов в условиях высоких давлений повышает эффективность процесса изготовления алмазно-твердосплавных пластин, что способствует расширению области применения элементов из алмазных композитов в режущих элементах буровых коронок.

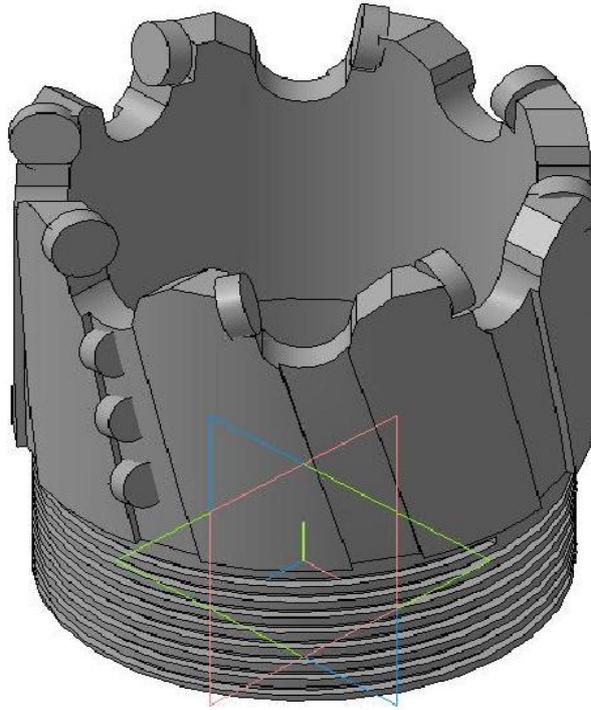


Рисунок 2.10 Модель 3D удлиненной, стабилизирующей, антивибрационной коронки



Рисунок 2.11 Коронка удлиненная, стабилизирующая, антивибрационная

Простая, но достаточно прочная система крепления резцов в сочетании с оптимальной конструкцией и упрочнением поверхности коронок, армированных АТП, делает их эффективными по эксплуатационным качествам.

Стальная конструкция корпуса коронки, усовершенствованная система промывки и закрепления АТП на торце коронки способствует продлению срока службы и технологической возможности ее ремонта. Комбинируя проверенную практикой бурения технологию изготовления коронок с износостойкостью и ремонтпригодностью нам удалось разработать коронки с высокими эксплуатационными характеристиками, позволяющими заметно снизить затраты на бурение. Спиральная калибрующая поверхность дает возможность повысить эффективность очистки забоя скважины, уменьшить крутящий момент и свести до минимума вибрацию коронок.

Стабилизирующая, антивибрационная конструкция коронок снижает вибрацию, что приводит к уменьшению износа и поломок АТП, а также повышает механическую скорость бурения и наработку на коронку.

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Сформулировано современное представление о теории разрушения горных пород VI-VIII категории по буримости коронками, армированными АТП.
2. Разработаны технологические основы разрушения горных пород и выполнен расчет конструктивных параметров буровых коронок, армированных АТП.
3. С использованием программы выполнен расчет оптимальных геометрических параметров установки АТП на корпус коронки.
4. Выполнено 3D моделирование удлиненных, стабилизирующих, антивибрационных буровых коронок, а проведенные их производственные испытания позволили приступить к их мелкосерийному производству.

2.3 Прогнозирование проходки и механической скорости бурения коронками, армированными АТП.

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. Исследования выполнялись 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.

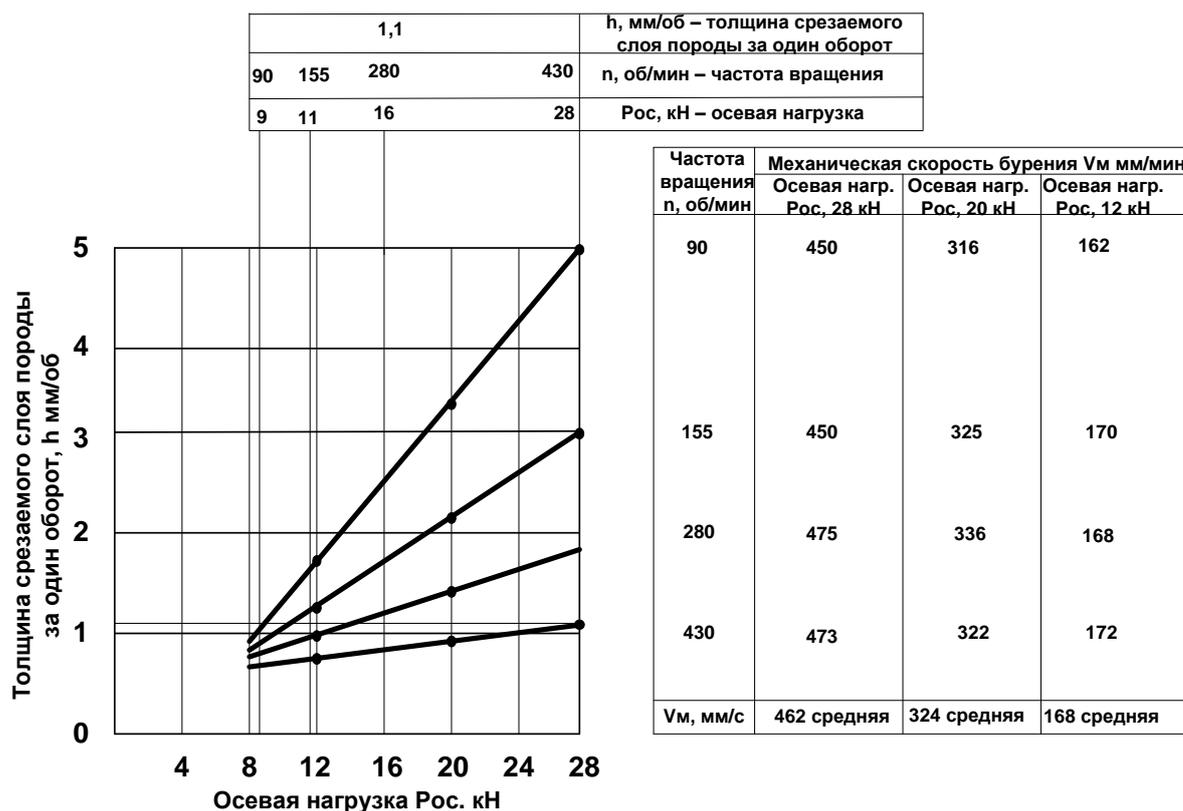


Рисунок 2.12. Зависимость интенсивности разрушения δ от осевой нагрузки P_{oc} и частоты вращения n

Обработка результатов эксперимента была выполнена следующим образом:

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

$$h = \frac{60H}{Tn}, \text{ мм/об}, \quad (2.4)$$

где: H – глубина бурения, мм;

T – время бурения, с;

n – частота вращения, об/мин.

Данная формула является одной из основных для расчета толщины 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:

$$V_{\text{мб}}=h \cdot n, \text{ мм/мин} \quad (2.5)$$

Исходя из выражения (2.5) получим:

- 1) для частоты вращения 90 об/мин: $V_{\text{мб}}=90 \cdot 5=450$ мм/мин,
- 2) для частоты вращения 155 об/мин: $V_{\text{мб}}=155 \cdot 2,9=450$ мм/мин,
- 3) для частоты вращения 90 об/мин: $V_{\text{мб}}=280 \cdot 1,6=475$ мм/мин,
- 4) для частоты вращения 90 об/мин: $V_{\text{мб}}=430 \cdot 1,1=473$ мм/мин,

то есть, среднее значение для всех представленных частот примерно равное и составляет $V_{\text{мб}}=462$ 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 2.12).

По каждому эксперименту было выполнено четыре 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:

$$V_{\text{м}}=V_0 \cdot \frac{P_{\text{уд}}}{P_k}, \text{ мм/мин}, \quad (2.6)$$

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:

$$P_{уд} = \frac{P_{ос}}{\sum F_{зат}}, \text{ МПа}, \quad (2.7)$$

где: $P_{ос}$ - 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 $P_{уд}/P_k$ соответствует вполне определенная мгновенная скорость проходки $V_{мб}$. Это позволило предложить 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 $V_{мб}$ от $P_{ос}$. График продолжали до пересечения с ординатой $P_{уд}=P_k$. Точка пересечения продолжения графика с этой ординатой соответствует скорости V_0 , когда $P_{уд}=P_k$. 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:

$$V_o = \frac{4270}{P_k}, \text{ мм/с}, \quad (2.8)$$

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 $V_o = 2,4$ мм/с, $V_o = 3,2$ мм/с, $V_o = 4$ мм/с, $V_o = 6,3$ мм/с. Коэффициент A определяется по формуле $A = V_o \cdot P_k$.

$$A_1 = 2,4 \cdot 1780 = 4272, \text{ мм/с} \cdot \text{МПа};$$

$$A_2 = 3,4 \cdot 1270 = 4275, \text{ мм/с} \cdot \text{МПа}; \quad (2.9)$$

$$A_3 = 4,4 \cdot 960 = 4265, \text{ мм/с} \cdot \text{МПа};$$

$$A_4 = 6,5 \cdot 650 = 4225, \text{ мм/с} \cdot \text{МПа};$$

$$A_{\text{сред.}} = 4270, \text{ мм/с} \cdot \text{МПа}.$$

При дальнейшей обработке эксперимента определяли среднеквадратичную ошибку по формуле:

$$\bar{A} = \sqrt{\frac{(A_{cp} - A_1)^2 + (A_{cp} - A_2)^2 + (A_{cp} - A_3)^2 + (A_{cp} - A_4)^2}{n - 1}}, \quad (2.10)$$

где: n - число экспериментов.

Подставляя данные в выражение (2.10), получим $\bar{A} = 26,3$

Далее находим коэффициент вариации:

$$K_{\text{вар}} = \frac{\bar{A}}{A_{cp}} \cdot 100\%, \quad (2.11)$$

Исходя из выражения (2.11), получим коэффициент вариации определяемой величины A , который равен 0,6%. Произведя необходимые вычисления, мы можем убедиться в том, что выражение (2.8) 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.

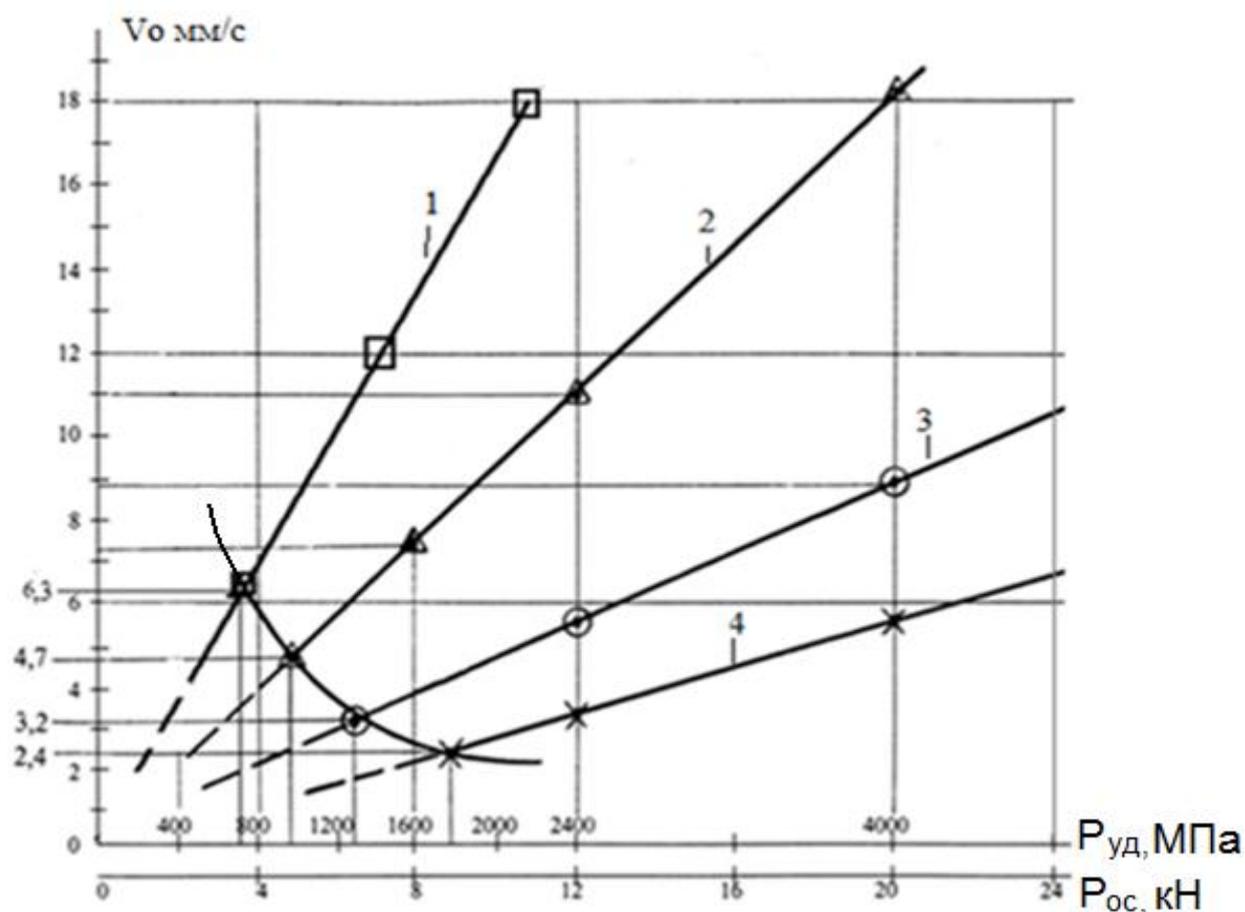


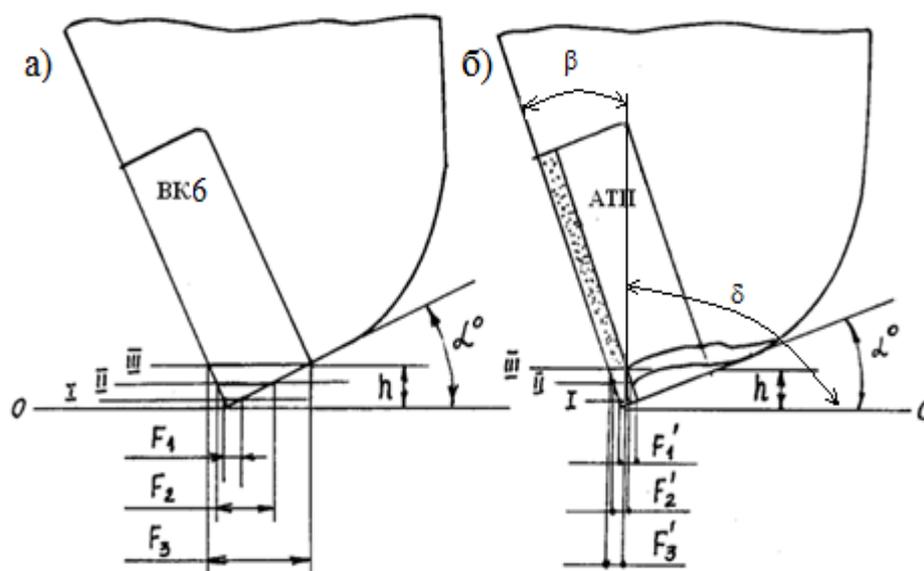
Рисунок 2.13. Графо-аналитический метод определения модуля скорости проходки V_0 : $V_0=6,3$ мм/с, $4,7$ мм/с, $3,2$ мм/с и $2,4$ мм/с – модуль скорости бурения при $P_{уд}=P_k$ для различных пород

1- $P_k=650$ МПа, 2- $P_k=920$ МПа, 3- $P_k=1270$ МПа, 4- $P_k=1780$ МПа

На рисунке 2.14 и 2.15 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 устано-

вившемся режиме работы инструмента; III-III – уровень максимального допустимого износа; F_1, F_2, F_3 , (BK-6), F'_1, F'_2, F'_3 (АТП) – фронтальные проекции площадок 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 снижению усилия резания $F_{рез}$.



a – твердосплавной пластины (BK6); *б* – алмазно-твердосплавной пластины (АТП);

Рисунок. 2.14 Схемы износа режущей части буровых инструментов

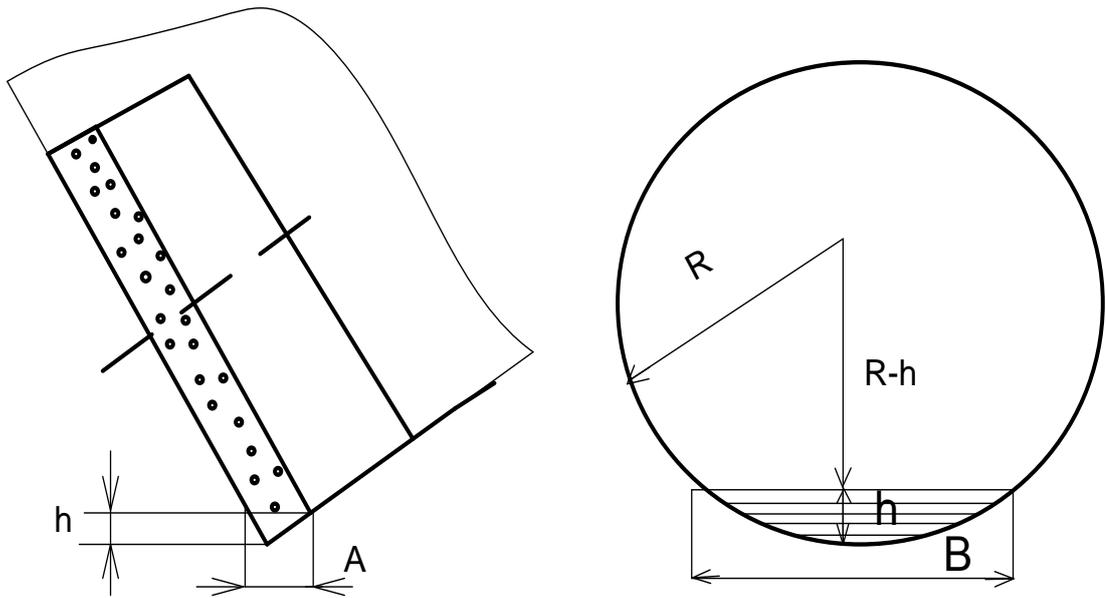


Рисунок. 2.15 Схема определения прироста площадки затупления АТП

Площадка затупления определяется по формуле:

$$F_{\text{зат}} = A \cdot B, \text{ мм}^2 \quad (2.12)$$

где: A - ширина режущей части алмазного слоя, мм; B - длина режущей части площадки затупления, мм. Длина режущей части B (площадки затупления) определяется по формуле (рисунок 2.15):

$$B = 2 \cdot \sqrt{R^2 - (R - h)^2}, \text{ мм}, \quad (2.13)$$

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

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

$$h = i_{h(t)} \cdot t, \text{ мм}, \quad (2.14)$$

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.):

$$i_{F(t)} = P_k \cdot a \cdot \omega_b \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \pi \cdot l_m \cdot n, \quad \text{мм/мин}, \quad (2.15)$$

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:

$$i_{h(t)} = P_k \cdot a \cdot V_{рез}^k \cdot \omega_b \cdot \pi \cdot d_i \cdot n, \quad \text{мм/мин}, \quad (2.16)$$

где: P_k – контактная прочность породы, МПа;

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

$V_{рез}^k$ – скорость резания, м/с;

$k = \frac{V_{рез}}{V_{кр}}$ – 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 2.16.

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

$$V_{рез.кр} = \frac{T_{кр}}{P_k}, \text{ м/с}, \quad (2.17)$$

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 2.16.

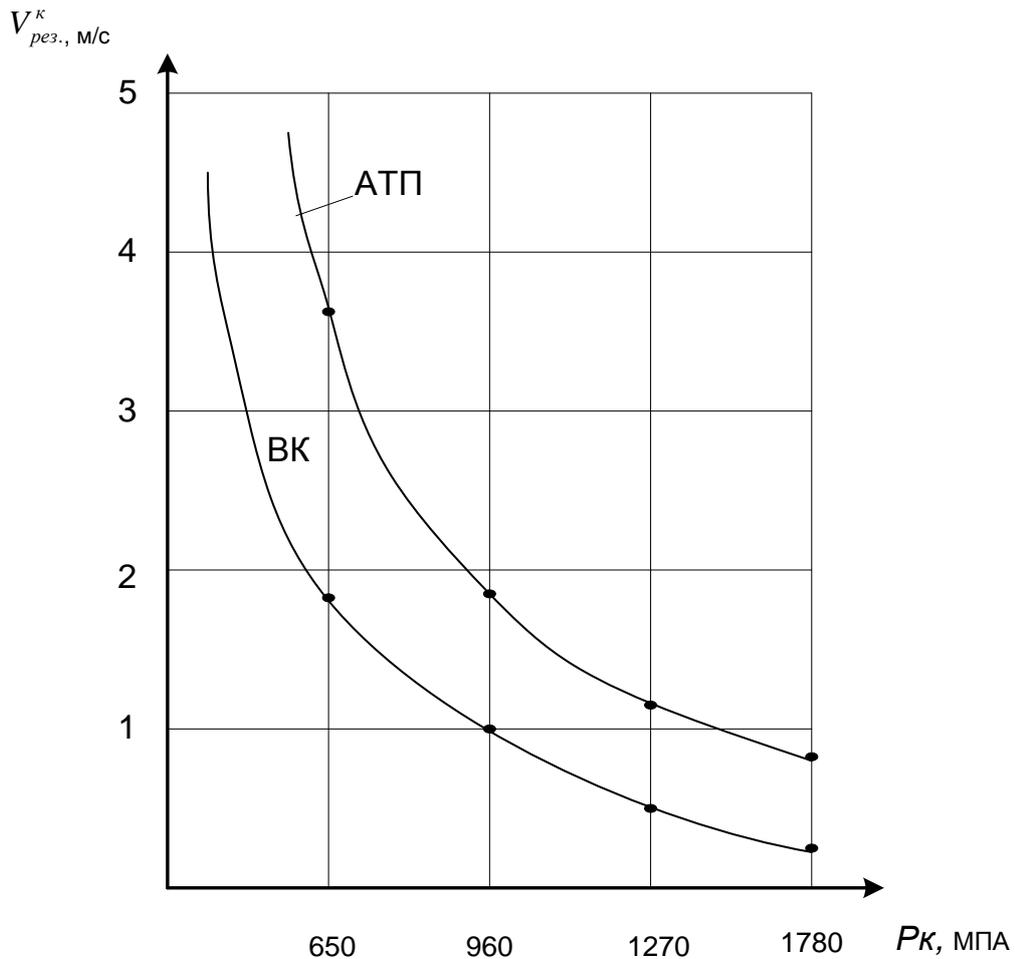


Рисунок 2.16. Зависимости критических скоростей резания $V_{рез.кр}$ от контактной прочности породы P_k

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.

На основании представленных данных был составлен алгоритм работы коронки при проводке скважины (рисунок 2.17). Программа «Бурение», реализующая данный алгоритм, написана на языке Delphi 7. Программа «Бурение» позволяет проводить исследование динамических процессов, происходящих как на коронке, так и на забое.

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.

Задание режимных параметров (количества промывочной жидкости, осевой нагрузки, частоты вращения) осуществляется на некоторый период времени работы коронки, рассчитываются выходные параметры (мощность, потребляемая двигателем, механическая скорость бурения, наработка, проходка). По истечении заданного периода времени осуществляется контроль параметров-ограничителей (критической скорости резания, проекции площадки затупления). Затем происходит приращение временного интервала, соответственно выбор режимных и расчет выходных и ограничивающих параметров повторяются. Список идентификаторов программы «Бурение» представлен в таблице 2.1

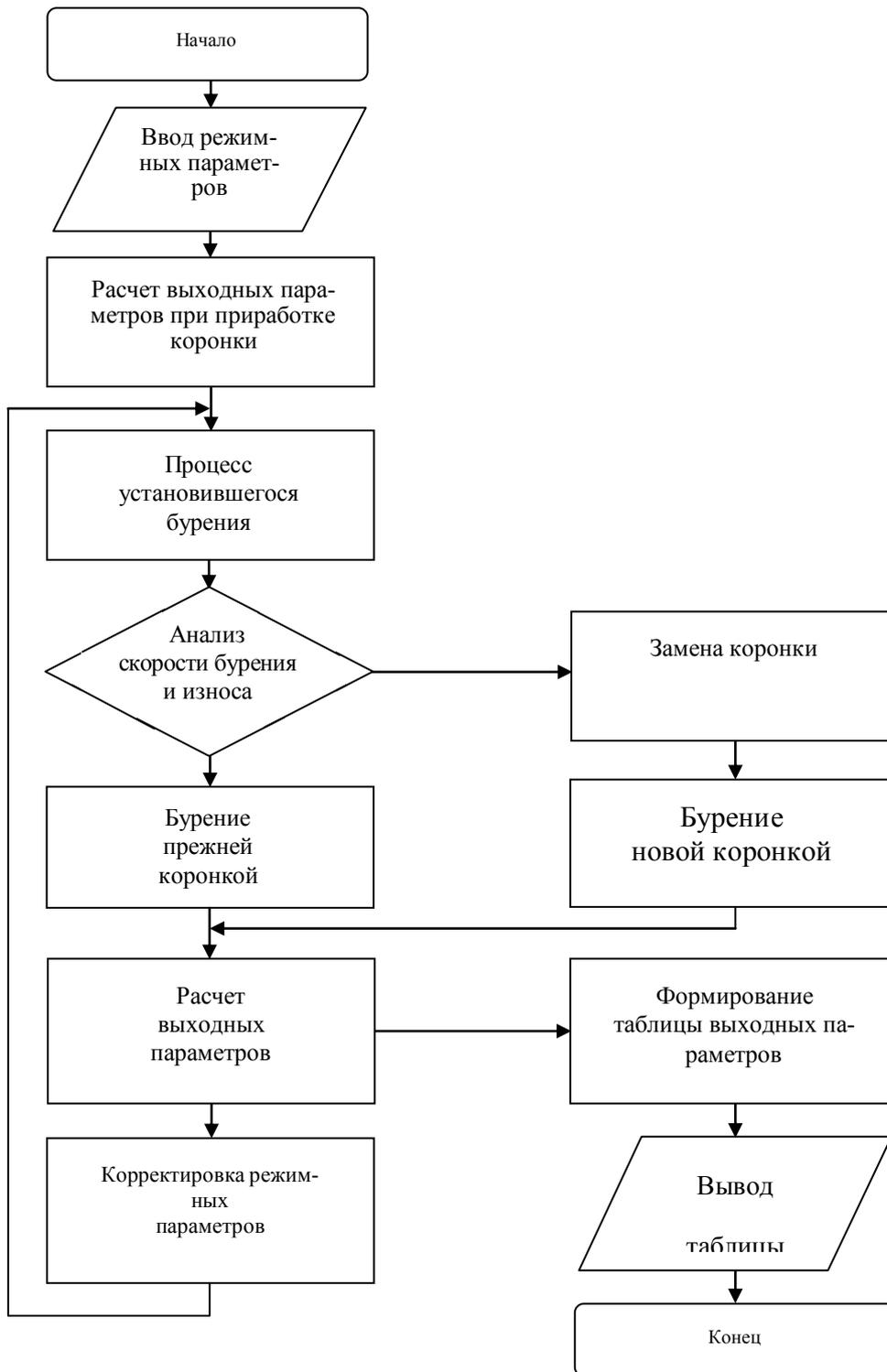


Рисунок 2.17– Алгоритм работы коронки, армированной АТП, режущего типа на забое скважины

Таблица 2.1 Список идентификаторов программы «Бурение»

№ п/п	Назначение	Условное обозначение
1.	Тип буровой установки	Tbu
2.	Тип коронки	Td
3.	Тип бурового насоса	Tbn
4.	Количество интервалов бурения	Ni
5.	Номер интервала	i
6.	Глубина интервала	H
7.	Контактная прочность породы	Pk
8.	Абразивность	a
9.	Категория по буримости	K
10.	Осевая нагрузка	Pos
11.	Количество промывочной жидкости	Q
12.	Частота вращения долота	Nd
13.	Площадка затупления	$Fzat$
14.	Удельная подача	S
15.	Время бурения	T
16.	Механическая скорость бурения	Vb
17.	Проходка	L
18.	Имя выходного файла	$Fname$
19.	Модуль скорости бурения	$V0$
20.	Время забуривания	Tz
21.	Номер коронки	nd
22.	Коэффициент	k
23.	Приращение площадки затупления	$RFzat$
24.	Скорость бурения при забуривании	Vbz
25.	Интенсивность прироста площадки затупления	Ift
26.	Тип армировки режущей части	Ts
27.	Коэффициент износа при бурении	$Wb[Ts]$
28.	Коэффициент, связывающий износ инструмента по высоте и по задней грани	$C1[Td]$
29.	Условный начальный износ	$F0[Td]$
30.	Коэффициент, связывающий износ инструмента по задней грани и проекцию площадки износа	$C2[Td]$
31.	Путь трения точки на мерном диаметре за оборот	$Lm[Td]$
32.	Время замены коронки	$Tzam$
33.	Счетчик времени	t
34.	Удельная нагрузка на режущей кромке	Pud
35.	Приращение временного интервала	dt
36.	Потеря диаметра	dD
37.	Величина диаметра коронки в результате износа	D

Применяя математическую обработку исходных данных в программе “Бурение” получаем определенную зависимость на таких этапах как: забуривание, приработка до полного изнашивания безопорной части алмазного слоя, наращивание нагрузки, продолжение бурения (табл. 2.2)

Таблица 2.2 Результаты работы программы “Бурение”

№ точки отсчета	время бурения, Т, час.	мех.скор. бурения V _{мех} , м/ч	площадка затупления. F _{зат} , мм ²	Осевая нагрузка. P _{ос} , кгс	диаметр коронки, D, мм	проходка L, м
1	2	3	4	5	6	7
ЗАБУРИВАНИЕ						
1	0,10	20,5998591	8,469064647	500	111,964	2,05998591
2	0,20	15,0889708	11,56218941	500	111,928	3,568882991
3	0,30	12,4781817	13,98132698	500	111,892	4,816701161
НАЧАЛЬНАЯ ПРИРАБОТКА КОРОНКИ						
4	0,40	21,7607831	16,03449082	1000	111,856	6,992779471
5	0,50	19,54923241	17,8484285	1000	111,82	8,947702712
6	0,60	17,90262683	19,49004915	1000	111,784	10,73796539
ПРИРАБОТКА ДО ПОЛНОГО ИЗНАШИВАНИЯ БЕЗОПОРНОЙ ЧАСТИ АЛМАЗНОГО СЛОЯ						
7	0,70	24,92331022	20,99980343	1500	111,748	13,23029642
8	0,80	23,36083208	22,40436529	1500	111,712	15,56637962
9	0,90	22,06286138	23,72242686	1500	111,676	17,77266576
10	1,00	20,96247558	24,96769112	1500	111,64	19,86891332
11	1,10	20,01427962	26,15055976	1500	111,604	21,87034128
НАРАЩИВАНИЕ НАГРУЗКИ						
12	1,20	25,58166715	27,27915072	2000	111,568	24,428508
13	1,30	24,60675297	28,35994471	2000	111,532	26,8891833
14	1,40	23,7377059	29,39821382	2000	111,496	29,26295389
15	1,50	22,95673746	30,39831574	2000	111,46	31,55862763
16	1,60	22,24997892	31,3639018	2000	111,424	33,78362552
17	1,70	21,60643658	32,29806781	2000	111,388	35,94426918
НАРАЩИВАНИЕ НАГРУЗКИ						
18	1,80	26,27158552	33,20346584	2500	111,352	38,57142773
19	1,90	25,59408911	34,08238865	2500	111,316	41,13083665
20	2,00	24,96813768	34,93683443	2500	111,28	43,62765041
21	2,10	24,3875559	35,76855737	2500	111,244	46,066406
22	2,20	23,84715627	36,57910748	2500	111,208	48,45112163
23	2,30	23,34254487	37,36986251	2500	111,172	50,78537612
НАРАЩИВАНИЕ НАГРУЗКИ						
24	2,40	27,4439662	38,14205364	3000	111,136	53,52977274
25	2,50	26,91145786	38,8967865	3000	111,1	56,22091852

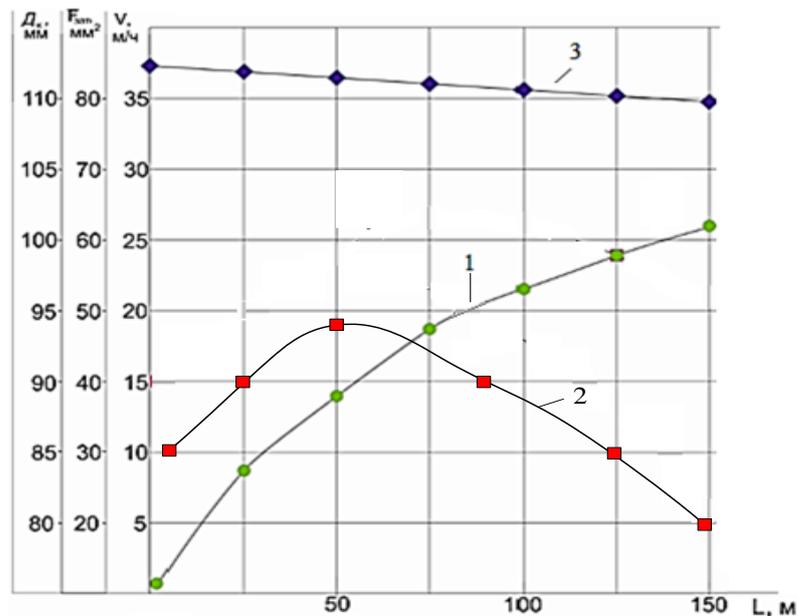
Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7
26	2,60	26,41018514	39,63505842	3000	111,064	58,86193704
27	2,70	25,93723981	40,35777278	3000	111,028	61,45566102
28	2,80	25,49007885	41,06575099	3000	110,992	64,0046689
29	2,90	25,06646755	41,75974253	3000	110,956	66,51131566
30	3,00	24,66443302	42,44043355	3000	110,92	68,97775896
31	3,10	24,28222613	43,10845411	3000	110,884	71,40598157
32	3,20	23,91828983	43,76438442	3000	110,848	73,79781056
33	3,30	23,57123292	44,40876022	3000	110,812	76,15493385
34	3,40	23,239808	45,04207739	3000	110,776	78,47891465
35	3,50	22,92289293	45,66479607	3000	110,74	80,77120394
36	3,60	22,61947507	46,27734409	3000	110,704	83,03315145
37	3,70	22,32863798	46,88012014	3000	110,668	85,26601524
38	3,80	22,04954995	47,47349644	3000	110,632	87,47097024
39	3,90	21,7814542	48,05782117	3000	110,596	89,64911566
40	4,00	21,52366043	48,63342061	3000	110,56	91,8014817
41	4,10	21,2755375	49,20060097	3000	110,524	93,92903545
42	4,20	21,03650704	49,75965016	3000	110,488	96,03268616
43	4,30	20,80603796	50,31083923	3000	110,452	98,11328995
НАРАЩИВАНИЕ НАГРУЗКИ (ПРЕДЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ)						
44	4,40	24,01424849	50,85442376	3500	110,416	100,5147148
45	4,50	23,76367854	51,39064506	3500	110,38	102,8910827
46	4,60	23,5215156	51,91973128	3500	110,344	105,2432342
47	4,70	23,28731048	52,44189836	3500	110,308	107,5719653
48	4,80	23,06064685	52,95735099	3500	110,272	109,8780299
49	4,90	22,84113824	53,46628336	3500	110,236	112,1621438
50	5,00	22,62842533	53,96887992	3500	110,2	114,4249863
51	5,10	22,42217354	54,46531608	3500	110,164	116,6672037
52	5,20	22,22207092	54,95575879	3500	110,128	118,8894107
53	5,30	22,02782617	55,4403671	3500	110,092	121,0921934
54	5,40	21,83916695	55,9192927	3500	110,056	123,2761101
55	5,50	21,65583833	56,39268038	3500	110,02	125,4416939
56	5,60	21,47760135	56,86066844	3500	109,984	127,589454
57	5,70	21,30423179	57,32338915	3500	109,948	129,7198772
58	5,80	21,135519	57,78096905	3500	109,912	131,8334291
59	5,90	20,9712649	58,23352931	3500	109,876	133,9305556
60	6,00	20,81128298	58,68118608	3500	109,84	136,0116839
61	6,10	20,65539749	59,12405074	3500	109,804	138,0772236
62	6,20	20,50344263	59,56223018	3500	109,768	140,1275679
63	6,30	20,35526184	59,99582705	3500	109,732	142,1630941
ПРОДОЛЖЕНИЕ БУРЕНИЯ						
64	6,40	20,21070718	60,42494002	3500	109,696	144,1841648
65	6,50	20,06963869	60,84966393	3500	109,66	146,1911287
66	6,60	19,93192385	61,27009006	3500	109,624	148,1843211
67	6,70	19,79743711	61,68630629	3500	109,588	150,1640648
68	6,80	19,6660594	62,09839727	3500	109,552	152,1306707
69	6,90	19,53767771	62,5064446	3500	109,516	154,0844385

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7
70	7,00	19,41218471	62,91052694	3500	109,48	156,025657
71	7,10	19,28947838	63,31072023	3500	109,444	157,9546048
72	7,20	19,16946168	63,70709775	3500	109,408	159,871551
73	7,30	19,05204224	64,0997303	3500	109,372	161,7767552
74	7,40	18,93713208	64,48868626	3500	109,336	163,6704684
75	7,50	18,82464733	64,87403178	3500	109,3	165,5529331
76	7,60	18,71450802	65,25583082	3500	109,264	167,4243839
77	7,70	18,60663782	65,63414526	3500	109,228	169,2850477
78	7,80	18,50096383	66,00903502	3500	109,192	171,1351441
79	7,90	18,39741641	66,38055812	3500	109,156	172,9748857
80	8,00	18,29592897	66,74877078	3500	109,12	174,8044786
81	8,10	18,19643782	67,11372748	3500	109,084	176,6241224
82	8,20	18,098882	67,47548106	3500	109,048	178,4340106
83	8,30	18,0032031	67,83408276	3500	109,012	180,2343309
84	8,40	17,90934521	68,18958231	3500	108,976	182,0252654

Результаты расчетов представлены на рисунке 2.18. На графике изображено изменение механической скорости бурения, площадки затупления, диаметра коронки от проходки (наработки) коронки.



1- площадка затупления мм²; 2-скорость бурения, м/ч; 3-диаметр коронки, мм

Рисунок 2.18. График изменения механической скорости бурения, площадки затупления и диаметра коронки от проходки скважины

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработана методика прогнозирования-расчета проходки и скорости бурения коронками режущего типа, армированными АТП, через модуль скорости, контактную прочность породы (R_k) и удельную нагрузку на режущих кромках коронки ($R_{уд}$).
2. На основании экспериментальных данных установлена закономерность, позволившая определить, что механическая скорость бурения, 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.
3. Получены зависимости процесса разрушения горных пород от конструктивных параметров буровых коронок и интенсивности изнашивания АТП по высоте во времени от задаваемых параметров режимов бурения.
4. Разработан графо-аналитический метод определения модуля скорости бурения горных пород коронками, режущего типа, армированных АТП.
5. Уточнена зависимость критической скорости резания горной породы буровой коронкой, армированной АТП, от температуры на режущей кромке и контактной прочности, что позволяет сформулировать принцип конструирования коронок.
6. Применение разработанной программы «Бурение» позволяет оптимизировать процесс бурения, скважин коронками, армированными АТП.
7. Разработана методика расчета износа коронок режущего типа, армированных АТП, позволяющая определять их наработку при бурении горных пород с различными горно-геологическими характеристиками
8. Произведенные испытания коронок армированных АТП в ОАО «Алроса», и в Ростовской буровой компании по разработанному регламенту показали удовлетворительную сходимость результатов бурения с расчетными параметрами.

3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ БУРОВЫХ КОРОНОК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ, АРМИРОВАННЫХ АТП.

Опыт эксплуатации разработанных нами буровых коронок, армированных АТП, (патент RU № 2359103, RU №2422613, RU №2435927) позволил определить “узкие” места, как в конструкции, так и в технологии их отработки. С учетом выше изложенного были разработаны новые конструкции буровых коронок, армированных АТП [13].

Возникла необходимость в разработке конструкции коронок и технологии бурения скважин с пониженной степенью вибрации, меньшим искривлением, особенно когда породы в разрезе чередуются по твердости, трещиноватости, углу падения. С целью увеличения проходки на коронки возникла необходимость в выполнении работ по их упрочнению, а также разработке оптимальной технологии бурения горных пород VI-VIII категории по буримости. Выполнению этих задач и посвящены следующие разделы данной работы.

3.1. Разработка стабилизирующих буровых коронок.

Известны буровые коронки, армированные АТП, и описанные в первой главе. Эти коронки состоят из стального корпуса, содержащего резьбовую часть для соединения с кернорвателем и колонковой трубой и, армированы АТП, в нижней части. К недостаткам данной конструкции 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 способствует искривлению ствола скважины. Недостатком известных конструкций коронок является невозможность добиться плавной траектории бурения скважин, особенно если разрез скважины представлен переслаивающимися горными породами с определенным углом залегания, высокий уровень вибрации, низ-

кая механическая скорость бурения, особенно при разбуривании горных пород VI-VIII категории по буримости. Задача - добиться уменьшения искривления ствола скважины, увеличения механической скорости бурения и проходки за счет создания коронки с отличительной конструкцией. Поставленная задача была решена за счет предлагаемой нами удлиненной по высоте на 90 мм. конструкции коронки, на корпусе которой снаружи в наклоненных под углом вправо по ходу вращения дополнительных наружных промывочных каналах 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 градусов.

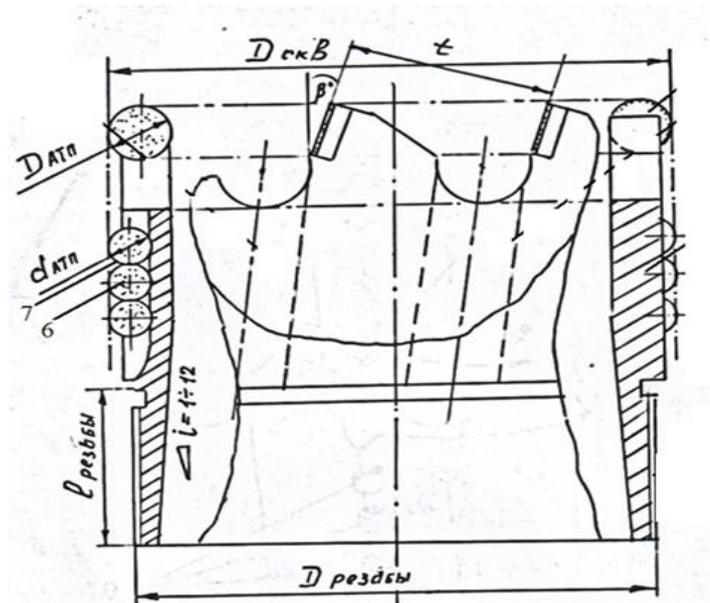


Рисунок 3.1 Стабилизирующая буровая коронка

Установка калибрующих АТП в каждом дополнительном промывочном канале под отрицательным углом от минус 5° до минус 15° по винтовой спирали способствует качественной калибровке ствола скважины, улучшается качество промывки за счет усиления режима турбулентности потока, улуч-

шается вынос шлама, уменьшается вибрация, придается плавность траектории бурения и, как результат, уменьшается искривление скважины, увеличивается механическая скорость бурения и проходка на коронку.

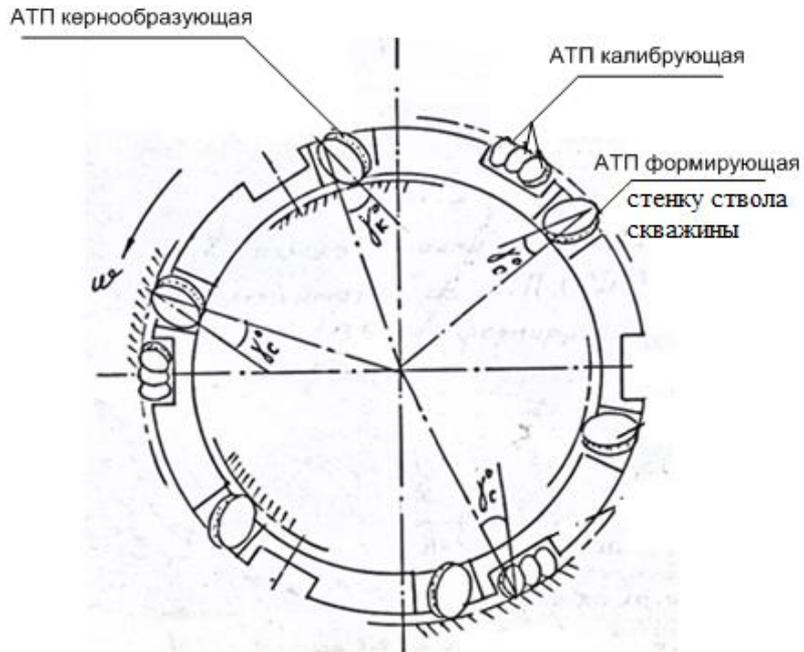


Рисунок 3.2 Стабилизирующая буровая коронка (вид сверху)

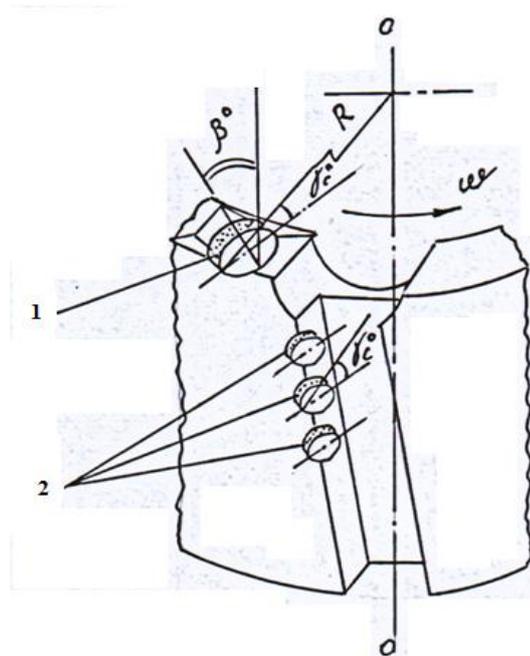


Рисунок 3.3 Фрагмент стабилизирующей буровой коронки с калибрующими АТП

На рисунке 3.1 представлен общий вид коронки с режущими элементами большого диаметра $D_{\text{атп}}$, обрабатывающими забой диаметром $D_{\text{скв}}$ и формирующими стенку скважины. Режущие элементы $D_{\text{атп}}$, обрабатывающие забой, закреплены на коронке с отрицательным передним углом β^0 в продольной плоскости и с отрицательным передним углом γ_c в диаметральной плоскости при формировании стенки скважины (чаще всего $D_{\text{атп}}$ равен 13,5 мм, передний угол $\beta^0 = -(10 \div 15)^0$, передний угол $\gamma_c = -(5 \div 15)^0$). В продольных пазах, предназначенных для отвода шлама из забоя при промывке скважины, закреплены режущие элементы малого диаметра $d_{\text{атп}}$, калибрующие стенку скважины и придающие дополнительную поперечную устойчивость коронки на забое. Чаще всего для калибровки стенок скважины применяют режущие элементы $d_{\text{атп}} = 8$ мм, которые устанавливают с отрицательным передним углом в диаметральной плоскости $\gamma_c^0 = -(5 \div 15)^0$. Присоединительная резьба $D_{\text{рез}}$ и обратный конус ($i = 1:12$) внутри коронки для отрыва керна, выполнены в соответствии с параметрами размерного ряда коронок.

На рисунке 3.2 показано положение в плане режущих элементов (вид сверху): кернообразующих АТП, калибрующих АТП, формирующих стенку скважины. Показаны также передние углы АТП в диаметральной плоскости: $\gamma_k^0 = -(5-15)^0$ – кернообразующих, $\gamma_c^0 = -(5-15)^0$ формирующих и калибрующих стенку ствола скважины.

На рисунке 3.3 показан фрагмент коронки с режущими калибрующими 2 элементами АТП диаметром равным 8 мм, закрепленными в продольном дополнительном пазу, по которому шлам удаляется из забоя скважины, а под номером 1 показана АТП диаметром 13,5 мм, формирующая стенку скважины.

Предлагаемая коронка работает следующим образом. Промывочная жидкость, предназначенная для охлаждения коронки и транспортировки продуктов разрушения на поверхность скважины, от промывочного насоса, двигаясь через вращающуюся колонну буровых труб, корпус коронки попадает на забой скважины, забирает шлам и транспортирует его на устье скважины.

ны по основным и дополнительным промывочным каналам в турбулентном режиме.

Кольцевая буровая коронка, содержит корпус с присоединительной резьбой, разделенный основными промывочными каналами на секторы, которые с торцевой поверхности снабжены алмазно-твердосплавными пластинами, имеющие отрицательные передние углы в плане к боковым внутренней и внешней поверхностям резания и отрицательные передние углы к торцевой поверхности забоя скважины, отличается тем, что корпус коронки удлинен и на нем дополнительно выполнены наклоненные под углом вправо по ходу вращения основные и дополнительные промывочные каналы, в которых размещены 3 и более алмазно-твердосплавные пластины, кроме того, основные и дополнительные промывочные каналы выполнены в виде винтовой линии, причем каждая из алмазно-твердосплавных пластин представляет собой элемент отдельной винтовой линии и закреплена на корпусе с помощью пайки под отрицательным углом от минус 5 градусов до минус 15 градусов относительно поверхности резания, кроме того винтовая линия основных и дополнительных промывочных каналов имеет шаг, зависящий от высоты коронки. Причем винтовая линия калибрующих АТП имеет шаг, зависящий от высоты коронки. На стабилизирующую коронку данной конструкции получен патент RU № 2577351.

Стабилизирующие коронки особенно эффективны при бурении трещиноватых, переслаивающихся по категории буримости горным породам. При этом сохраняется вертикальная, плавная траектория ствола скважины, снижаются риски аварийности происходит плавная передача нагрузки на забой. 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. Специальные АТП, впаянные в корпус коронки нетрадиционно, расположенные по лорарифмической спирали предотвращают вихревые движения коронки, при этом уменьшается вибрация, улучшается вынос шла-

ма с забоя. Установка 3х 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, уменьшает искривление скважины, увеличивает механическую скорость бурения и проходки на коронку. Коронка может быть использована как при бурении с отбором керна геологоразведочных скважин, так и при отборе керна нефтяных и газовых скважин.

3.2 Разработка коронок типа PQ, для применения по технологии WIRE LINE

Разработки шведской фирмы “Atlas Copco” по технике и технологии бурения геологоразведочных скважин с отбором керна достаточно широко известны в нашей стране и за рубежом.

Мирнинской ГРЭ ОАО “Алроса” приобретены буровые станки шведской фирмы “Atlas Copco”. Для получения достаточно высокой производительности при применении технологии Wire Line типа PQ необходима разработка породоразрушающего инструмента, позволяющего при ограниченной скорости вращения до 340 об/мин достичь высокой механической скорости и ресурса инструмента. Поставляемые в комплекте с буровым станком коронки типа PQ не удовлетворяли буровую компанию по целому ряду характеристик:

- достаточно большая площадь торца коронки, что увеличивает площадь разрушения горной породы и способствует уменьшению механической скорости бурения и коммерческой скорости бурения в целом.

- маленький зазор между диаметром бурения (матрицы) и наружным диаметром коронки, что создает дополнительные гидравлические сопротивления, ухудшает очистку забоя скважины и как результат, ведет к уменьшению механической скорости бурения;

- коронки типа PQ не пригодны для бурения с помощью одинарных колонковых труб;

- коронки достаточно энергозатратны, из-за того, что площадь торца коронки в 2 раза больше площади торца коронки, армированной АТП;

- цена коронки в два раза выше стоимости буровой коронки армированной АТП;

- эффективность применения коронок типа PQ в два раза ниже эффективности буровых коронок, армированных АТП.

С учетом выявленных недостатков перед нами были поставлены конкретные цели и задачи:

- сконструировать буровую коронку, имеющую меньшую площадь разрушения горной породы, по сравнению с коронками диаметром PQ поставляемыми в комплекте с буровыми станками шведской фирмы “Atlas Copco”;

- достичь механической скорости бурения скважин снарядом со съёмным керноприемником на станках типа “Atlas Copco” по технологии Wire Line в горных породах от VI до VIII категории по буримости равной 11 метров в час.

Это позволяет реализовать возможность бурения горных пород разработанными коронками, как для снаряда с двойной колонковой трубой со съёмным керноприемником Wire Line, так и одинарной.

В соответствии с вышеизложенным между кафедрой “Нефтегазовые техника и технологии” и ОАО “Алроса” был заключен договор № 44/12 от 17.09.2012г. на разработку коронок и технологии бурения - Wire Line с отбором керна снарядами со съёмными керноприемником. В рамках договора были выполнены все необходимые работы.

На рисунке 3.4 представлена серийная коронка типа PQ фирмы “Atlas Copco” с матрицей армированной синтетическими алмазами для бурения по технологии Wire Line. Недостатки коронок данного типа приведены выше. Бурение по технологии Wire Line аналогично российской технологии бурения съёмными керноприёмными устройствами КССК.



Рисунок 3.4 Кольцевая, буровая коронка типа PQ

Анализ конструкций существующих типов кольцевых коронок для разведки месторождений на твердые полезные ископаемые при бурении с отбором керна показал, что наиболее распространенными являются коронки режущего типа, армированные пластинами различных форм из твердых вольфрамкобальтовых сплавов (ВК). Область их применения ограничена породами мягкими и средней твердости. Главные их достоинства: высокая скорость бурения; низкая энергоемкость; удовлетворительная наработка и относительно низкая стоимость.

Область применения алмазных коронок разрушающих породу микро-резанием или истиранием охватывает породы крепкие, твердые и средней твердости. К их достоинствам следует отнести высокую износостойкость и наработку. К недостаткам относится большая энергоемкость и высокая стоимость инструмента.

Исходя из вышеизложенного, требования, предъявляемые к разрабатываемому инструменту определяют сочетание известных достоинств твердосплавных и алмазных кольцевых коронок, то есть коронка должна обеспечивать высокую скорость, низкую энергоемкость и большую наработку при бурении скважин по породам мягким, средней твердости и твердым. Эту задачу можно решить с помощью разработанной нами буровой коронки, армированной алмазно-твердосплавными пластинами.

Формы пластин полностью исключают возможность использования их в известных конструктивных схемах армирования коронок твердосплавными пластинами. Конструкционное исполнение АТП позволяет работать в режиме резания только с отрицательным передним углом, исключая посадку его на заднюю грань. Разработка и изготовление этих коронок – это попытка найти ответ на вопрос – как одной коронкой пробурить горные породы с I по VIII категорию по буримости? Но, до настоящего времени, однозначного ответа на этот вопрос нет.

Предложенная нами коронки изготавливается классическим способом. Ее геометрия и схема установки на короночном кольце позволяет коронке работать в более стабильном режиме. Преимуществом этой коронки является наличие АТП, которые в процессе работы не меняют площадь контакта режущего инструмента (резца) с забоем, самозатачиваются и имеют 30% отработку алмазного слоя. Коронки, оснащенные АТП, в мягких и средних породах работают как режущий инструмент, срезая породу. При встрече твердых пород (VIII-IX категория по буримости) эти коронки начинают работать в режиме микро-резания (истирания). Также коронки предназначены, в первую очередь, для увеличения механической скорости бурения, увеличения про-

ходки на коронку, улучшения качества очистки забоя от шлама, снижения момента сопротивления и усилия подачи.

Добиться значительного увеличения технико-экономических показателей работы данных коронок стало возможным за счет ориентированного расположения пластин АТП и последовательной их установки на корпус коронки, в результате чего на забое образуются гребенчатовидные канавки.

Данные буровые коронки имеют большую перспективу по результатам производства и применения. В них сконцентрировано несколько расчетов только по геометрии рабочего торца имеющие решение на уровне изобретений. 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 так же говорит в ее пользу. На первый взгляд конструктивно коронки похожи на существующие модели инструмента в США, в частности фирмы “Atlas Copco” но в геометрии резцов рабочего торца инструмента имеется отличие. По стоимости коронки дороже используемых, но простой экономический расчет показывает, что применять их для бурения горных пород в условиях работ буровых компаний рационально.

АТП в коронках установлены под отрицательным углом - 15° и таким образом, что на забое образуются гребенчатовидные канавки. Две борозды нарезаются одновременно, такая схема углубки забоя способствует уменьшению затрат мощности на разрушение и, как результат, возрастает механическая скорость бурения. Кроме того, установка 2х боковых АТП под отрицательным углом 15° и с поворотом наружу и вовнутрь под углом 10° способствует улучшению удаления шлама из под торца коронки, что приводит к увеличению механической скорости бурения, увеличивается процент выхода керна и уменьшается вероятность его заклинивания.

Коронки, типа PQ оснащенные породоразрушающими пластинами типа АТП по конструкции принципиально не отличаются от ранее известных. Технология изготовления коронок типа PQ, оснащенных алмазно-твердосплавными пластинами АТП не отличается сложностью. Технология пайки аналогична технологии пайки пластин АТП на известные коронки. Изготовление короночных колец с присоединительной резьбой не вызывает сложности и выполняется традиционно на токарном станке[13].

Коронки типа PQ, армированные АТП, представлены на рисунках № 3.5 и 3.6.

В соответствии с техническим заданием обозначенным в договоре были изготовлены коронки 5 типов (рисунок 2.5.)

Коронки, первого типа были изготовлены с использованием 2 АТП Ø13,5 мм, и 6 АТП Ø 10мм. Толщина алмазного слоя АТП составила 2мм, угол при вершине установки 3х АТП, работающих в одной связке равен 40°. Коронки, второго типа были изготовлены с использованием 3 АТП Ø 13,5 мм и 6 АТП Ø 10 м. Толщина алмазного слоя АТП составляла 2 мм, угол при вершине установки 3х АТП, работающих в одной связке равен 30°. Коронки, третьего типа были изготовлены с использованием 9 АТП Ø 10 мм. Толщина алмазного слоя АТП составляла 2 мм, угол при вершине установки 3х АТП, работающих в одной связке равен 30°. Коронки, четвертого типа были изготовлены с использованием 9 АТП Ø 10 мм. Толщина алмазного слоя АТП составляла 2 мм, угол при вершине установки 3х АТП, работающих в одной связке равен 40°. Коронки, пятого типа были изготовлены с использованием 9 АТП Ø 13,5 мм. Толщина алмазного слоя АТП составляла 2 мм, угол при вершине установки 3х АТП, работающих в одной связке равен 30°. На рисунке 2.6 показана коронка типа PQ с размерами.



Рисунок 3.5 Коронки типа PQ, армированные АТП

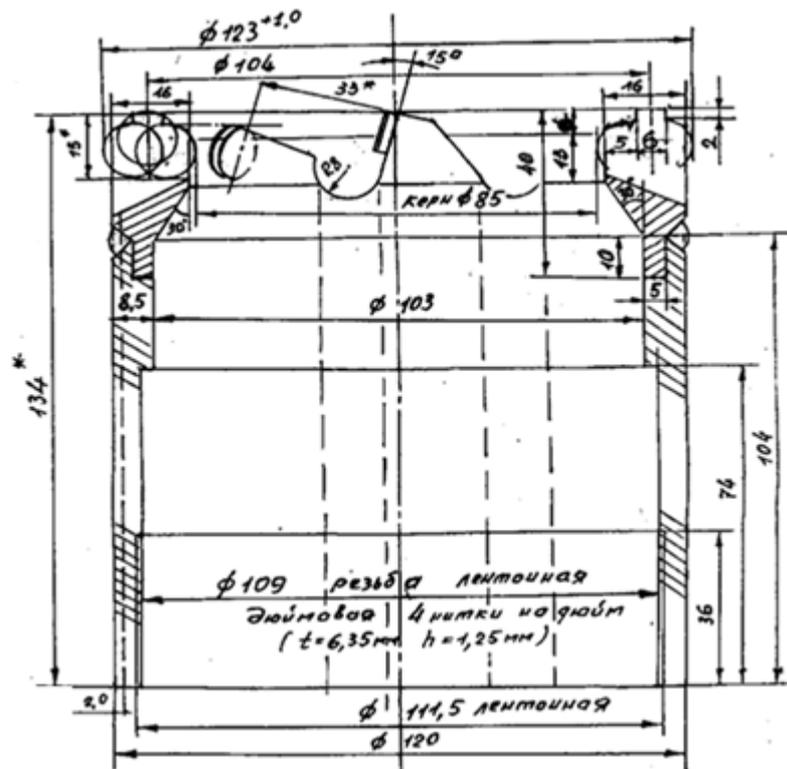
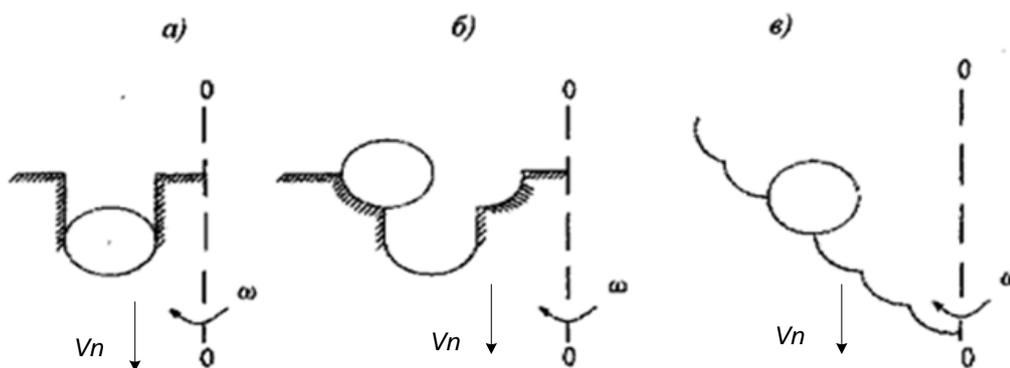


Рисунок 3.6 Коронка типа PQ

По договору с ОАО “Алроса” перед нами была поставлена задача разработать буровую коронку диаметром не более 123 мм для работы со съемным керноприемником с отбором керна диаметром \varnothing 85 мм и обеспечивающую механическую скорость проходки не менее 11 метров в час, а также проходку до полного износа не менее 100 метров, то есть создать коронку способную заменить коронку типа PQ производства фирмы “Atlas Copco” (рисунок 3.4).

В настоящее время нет общепринятой научной теории позволяющей делать расчеты рациональных конструктивных параметров установки АТП на режущей части коронок, а это является важным фактором повышения механической скорости проходки и наработки на коронки. Детально изучив теорию резания и виды резания горных пород алмазно-твердосплавными пластинами (рисунок 3.7) было принято решение – изготовление коронок выполнять с учетом режима резания. [53]

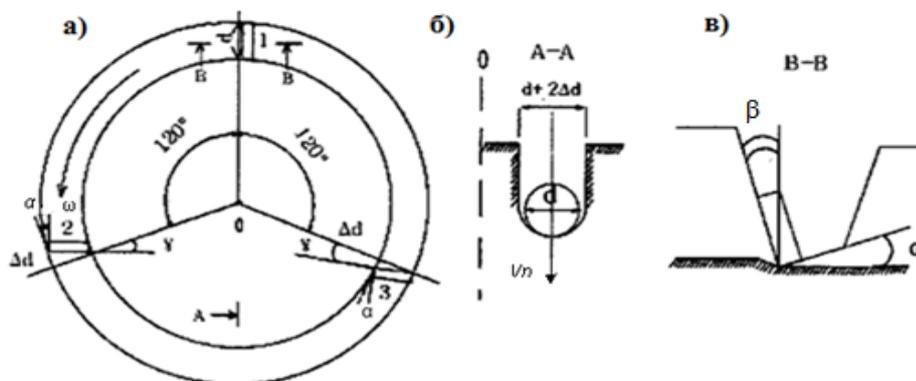


а - заблокированное резание (в щели), б - полублокированное резание, в - резание со свободной поверхностью

Рисунок 3.7 Виды резания горных пород АТП

Большая часть режущих элементов долот работает в режиме резания со свободной поверхностью, а у буровых коронок все режущие элементы работают в режиме заблокированного или полублокированного резания. При решении поставленной задачи за основу была принята разработанная нами, буровая коронка патент № 2359103 опубликован 20.06.2010г., Бюллетень №17. Для облегчения условий работы режущего элемента в щели, нами принято

условие, при котором в линии резания находится не менее 3х АТП круглой формы. Схема их размещения на коронке представлена на рисунке 3.8.



а – расположение АТП в линии резания в диаметральной плоскости, б - расположение АТП в щели, в - расположение АТП в продольной плоскости.

Рисунок 3.8 Схема размещения АТП на коронке

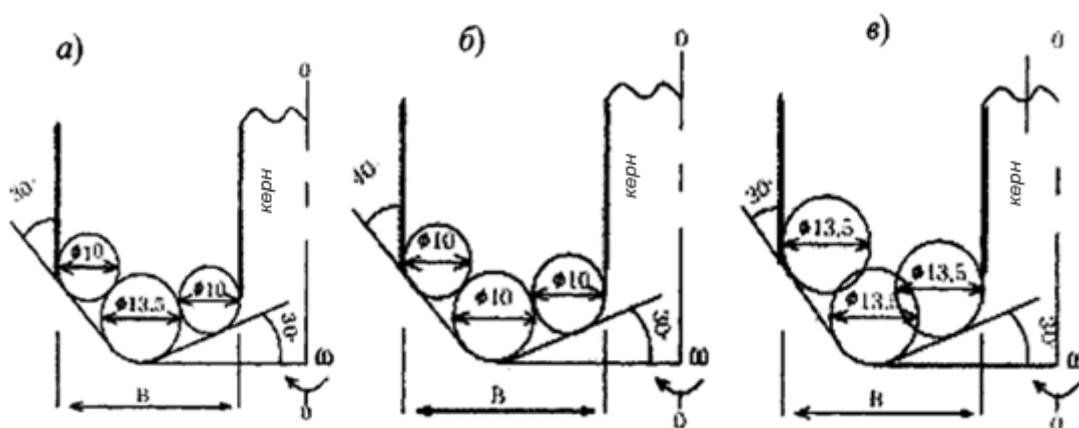
Размещение в одной линии резания 3-х режущих элементов увеличивает надежность их работы из расчета резервирования стойкости. При движении прямоугольного сечения АТП по круговой траектории происходит затирание его граней о боковые стенки щели. Нагревание АТП от трения может привести к ослаблению крепления АТП к корпусу, выполненное припоем ПСР-45, температура плавления которого находится в интервале 630-650 °С. Для предупреждения этого явления второй и третий режущие элементы в линии резания смещены в диаметральной плоскости на Δd и развернуты к внутренней и наружной боковым стенкам щели так, чтобы рабочие передний- β^0 и задний $+\alpha^0$ углы находились в пределах 10-15⁰ градусов. Кроме того, в продольной плоскости все режущие элементы наклонены к плоскости резания так, чтобы передний угол β был менее -15⁰, а задний угол α был равен +15⁰. ($\beta=-15^0$, $\alpha=+15^0$).

Для увеличения наработки коронки, которая определяется потерей диаметра скважины и увеличением диаметра керна, необходимо уменьшать нагрузку на режущие элементы обрабатывающие стенку скважины и цилиндрическую поверхность керна. Это достигается расстановкой режущих эле-

ментов так, чтобы они, формируя забой скважины, работали по полублокированной схеме. На рисунке 3.9 представлены схемы армирования рабочей части коронок, предназначенных для бурения пород средней и выше средней крепости.

На режущих элементах, осуществляющих полублокированное резание при обработке уступа со стороны наружной стенки скважины и формирующих грудь забоя под углом 30° к продольной оси скважины, сопротивление внедрению в породу на 18-20 % меньше чем при работе в щели. Это уменьшение нагрузки объясняет формирование кромки равного износа на режущих элементах установленных на разных радиусах коронки.

При полублокированной схеме расположения режущих элементов, обрабатывающих уступ и формирующих профиль забоя под углом 60° к продольной оси со стороны керна, сопротивление внедрению уменьшается на 5-7% по сравнению с нагрузками на АТП, работающих в щели. При больших углах наклона забоя к продольной оси скважины нагрузки на режущих элементах практически выравниваются.



а- опережающая, щелеобразующая АТП Ø13,5 мм., кernoобразующая и скважинообразующая пластины АТП Ø 10 мм., б- все режущие АТП Ø 10 мм., в- все режущие АТП Ø 13,5 мм.

Рисунок 3.9 Схемы армирования рабочей части коронок АТП разных диаметров

Для бурения крепких и абразивных пород рассматривались варианты армирования рабочей части коронок, представленных на рисунке 3.10.

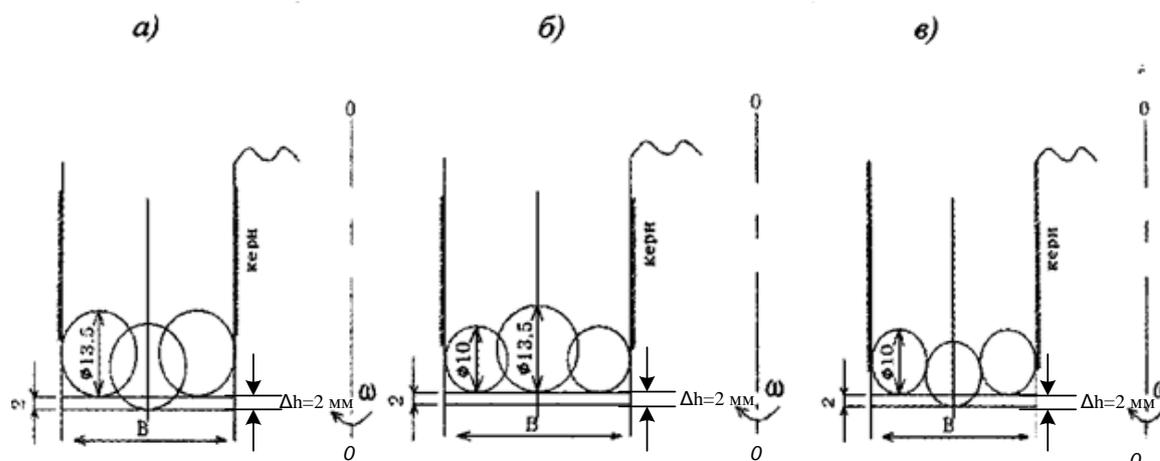


Рисунок 3.10 Схемы армирования рабочей части коронок для бурения крепких и абразивных пород а- все режущие АТП Ø13,5 мм., б- опережающая АТП Ø13,5 мм, скважинообразующая и кернообрабатывающая АТП Ø10мм., в- все режущие АТП Ø10мм, $\Delta h=2$ мм

На рисунке 3.6 представлен общий вид коронки Д123-PQ, для колонкового бурения с отбором керна съёмным керноприёмником, на которой были апробированы все представленные схемы армирования рабочей части. Для оценки схем армирования применялся расчетный метод и производственные испытания коронок.

Испытания буровых коронок типа PQ, армированных АТП, выполнялись в производственных условиях ОАО “Алроса”. Результаты испытаний приведены в главе 5 и подтверждают высокую эффективность применения коронок типа PQ, армированных АТП, при использовании их по технологии WIRE Line. Удалось достичь роста механической скорости бурения более 11 м/час по горным породам VIII категории по буримости и проходки на коронку равную 105,1 метра.

Выполненные опытные работы в полевых условиях по отработке кольцевых буровых коронок, армированных АТП, позволили выявить, что при бурении горных пород средней твердости и крепких с VI- VIII категории по

буримости, с частотой вращения 300-430 об/мин, буровой став и коронка, соответственно, подвергается вибрационному воздействию.

Описание забойной вибрации и разработка технологии её уменьшения достаточно подробно изложены в главе 2. С учетом изложенного нами предложена и заявлена, 29.03.2016 г. как предполагаемое изобретение, “Антивибрационная кольцевая буровая коронка” (рисунке 3.11). и 14.02.2017 г. получено положительное решение № 2016111753/03.

3.3 Разработка антивибрационных буровых коронок.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому изобретению, является стабилизирующая кольцевая буровая коронка (Патент РФ 2577351), опубликов. 20.03.2016, МПК E21 B10/48, E21B 10/60.

Стабилизирующая кольцевая коронка, содержащая корпус с соединительной резьбой, разделенный основными промывочными каналами на секторы, которые с торцевой поверхности снабжены алмазно-твердосплавными пластинами, имеющие отрицательные передние углы в плане к боковым внутренней или внешней поверхностям резания и отрицательные передние углы к торцевой поверхности забоя скважины, основные промывочные каналы выполнены под углом, кроме того, в корпусе коронки в секторах под углом расположены дополнительные промывочные каналы выполнены по всей высоте корпуса коронки по винтовой линии вправо по ходу вращения коронки. Высота корпуса коронки по винтовой линии вправо по ходу вращения коронки, зависит от шага винтовой линии основных и дополнительных промывочных каналов. В дополнительных промывочных каналах размещены две и более алмазно-твердосплавные калибрующие пластины, каждая из которых представляет собой элемент отдельной винтовой линии и закреплена на корпусе с помощью пайки под отрицательным углом от минус 5 градусов до минус 15 градусов относительно поверхности резания.



Рисунок 3.11. Стабилизирующая, антивибрационная буровая коронка

Недостатком конструкции данной коронки является высокий уровень вибрации, что приводит к сколам и поломкам АТП и, как следствие, значительному снижению механической скорости бурения особенно при разбуривании горных пород VII - VIII категории по буримости.

С ростом глубины скважины увеличивается твердость горных пород и энергоемкость их разрушения. Что приводит к снижению технико-экономических показателей бурения. В этих условиях наиболее эффективными считаются буровые коронки, работающие по принципу резания-истирания. Область применения таких коронок расширяется в связи с созданием новых конструкций и форм резцов АТП.

Известно, что область применения таких коронок ограничена породами до IX категории по буримости, но преимущества их очевидны: обеспечивается увеличение проходки в 3-5 раз и рейсовой скорости в 1,5-2,0 раза по сравнению с коронками, армированными вольфрамкобальтовым сплавом в одинаковых геологотехнических условиях.

Задача предполагаемого изобретения – уменьшение количества сколов и поломок АТП на корпусе коронки, повышение механической скорости бурения горных пород VI- VIII категории по буримости и уменьшение вибрации за счет совершенствования конструкции коронки путем расположения АТП по торцу коронки.

Антивибрационная кольцевая буровая коронка, содержащая корпус с присоединительной резьбой, разделенный основными промывочными каналами на секторы, которые с торцевой поверхности снабжены алмазно-твердосплавными пластинами, 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 выполнены встречно под углом, кроме того, в корпусе коронки в секторах под углом расположены дополнительные промывочные каналы выполнены 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 внутри дополнительных промывочных каналов размещены две и более алмазно-твердосплавные калибрующие пластины, каждая из которых представляет собой элемент отдельной винтовой линии и закреплена на корпусе с помощью пайки под отрицательным углом от минус 5° до минус 15° относительно поверхности резания, причем алмазно-твердосплавные пластины расположены на торцу коронки разнонаправлено под углом от 10° до 15° к направлению резания. Многоугольник разнонаправленных сил, действующих на коронку, будет направлен в сторону забоя и керна и, как результат, будет происходить гашение вибрации самой коронки, при этом показана схема сил действующих на буровую коронку при работе ее на забое скважины, с заданным направлением (рисунок 3.12).

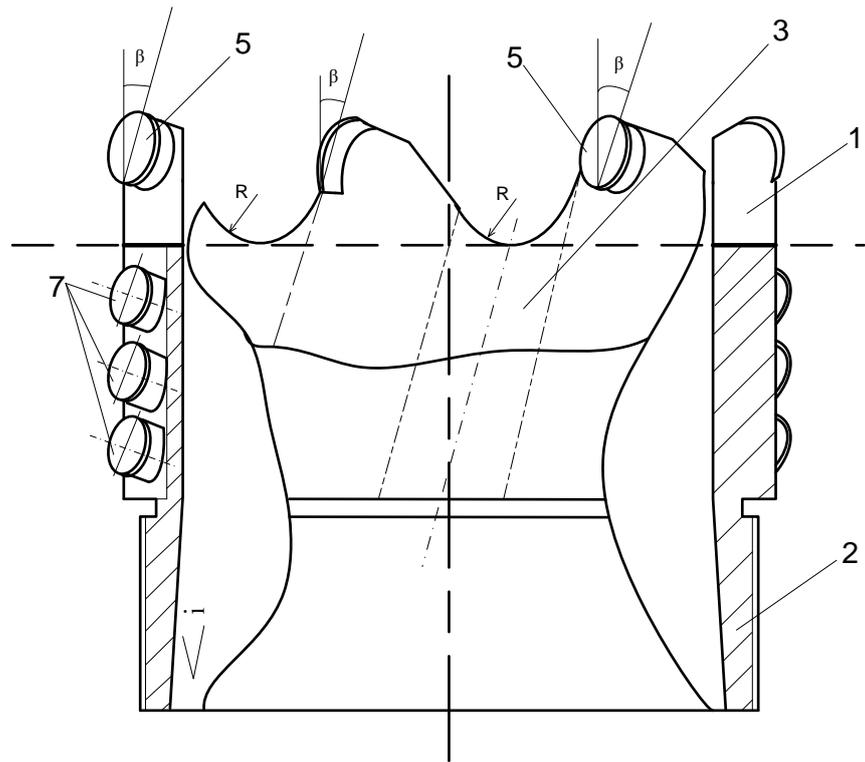


Рисунок 3.12 Стабилизирующая, антивибрационная кольцевая буровая коронка, вид сбоку

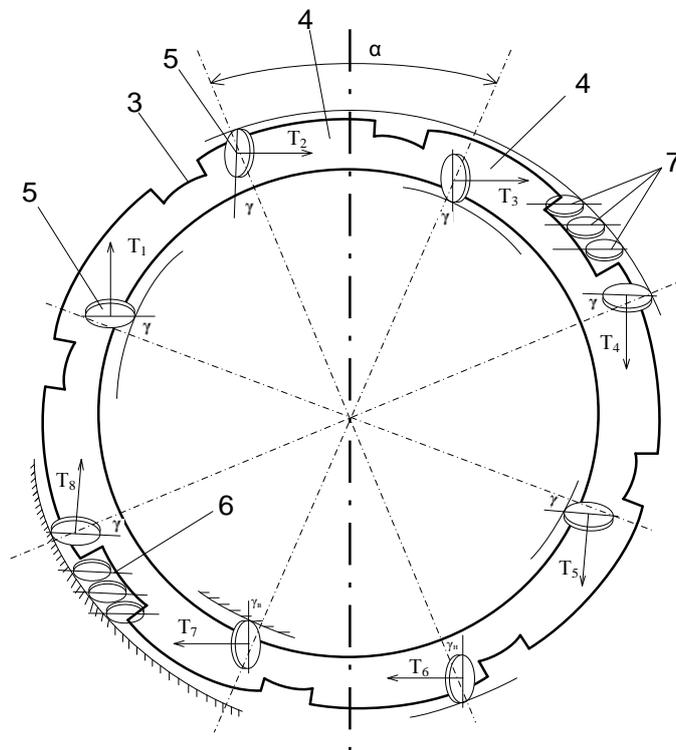


Рисунок 3.13 Стабилизирующая, антивибрационная буровая коронка, вид сверху

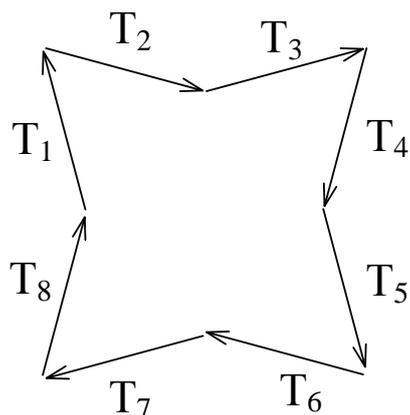


Рис. 3.14 Многоугольник сил, действующих на стабилизирующую, антивибрационную коронку

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° - 15° к направлению резания.

Поэлементный 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 и под углом 10 - 15° к направлению резания, показал значительное уменьшение вибрационного импульса, при одинаковом значении толщины срезанного слоя породы.

На рисунке 3.12 представлен общий вид антивибрационной кольцевой буровой коронки. На рисунке 3.13 показан вид коронки сверху. На рисунке 3.14 показан многоугольник сил действующих на коронку.

Предложенная схема расположения АТП предусматривает один, два и более промежуточных мелких сколов перед сколом крупного элемента гор-

ной породы. 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 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, количеству сколов и поломок АТП, что способствует увеличению механической скорости бурения и проходки на коронку.

Антивибрационная кольцевая буровая коронка, содержит корпус 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. Основные 3 и дополнительные 6 промывочные каналы выполнены по всей высоте корпуса 1 коронки по винтовой линии вправо по ходу вращения коронки. Высота корпуса 1 коронки зависит от шага винтовой линии основных 3 и дополнительных 6 промывочных каналов внутри дополнительных промывочных каналов 6 размещены две и более алмазно-твердосплавные калибрующие пластины 7, каждая из которых представляет собой элемент отдельной винтовой линии и закреплена на корпусе с помощью пайки или механическим способом под отрицательным углом β_c от минус 5 градусов до минус 15 градусов относительно поверхности резания. γ_H – угол установки режущего элемента, обрабатываю-

щего боковую стенку скважины. γ_B - угол установки режущего элемента, обрабатывающего боковую стенку керна.

При бурении очень абразивных пород на коронке монтируется не два, а четыре ряда калибраторов, то есть 12 штук АТП Ø 10мм.

Предлагаемая коронка работает следующим образом. Промывочная жидкость, предназначенная для охлаждения коронки и транспортировки продуктов разрушения на поверхность скважины, от промывочного насоса, двигаясь через вращающуюся вправо колонну бурильных труб, корпус коронки попадает на забой скважины. Выходя из под торца коронки 1 промывочная жидкость забирает буровой шлам и транспортирует его по основным 3 и дополнительным 6 промывочным каналам на поверхность в режиме наивысшей степени турбулентности за счет того, что основные и дополнительные каналы расположены под углом по винтовой линии вправо. При этом калибрую АТП 7 закреплены в дополнительном промывочном канале 6 и калибрует 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.

Таким образом нами предложена антивибрационная кольцевая буровая коронка, содержащая корпус с присоединительной резьбой, разделенный основными промывочными каналами на секторы, которые с торцевой поверхности снабжены алмазно-твердосплавными пластинами, имеющие отрицательные передние углы в плане к боковым внутренней и внешней поверхностям резания и отрицательные передние углы к торцевой поверхности забоя скважины, основные промывочные каналы выполнены под углом, кроме то-

го, в корпусе коронки в секторах под углом расположены дополнительные промывочные каналы выполнены 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, внутри дополнительных промывочных каналов размещены две и более алмазно-твердосплавные калибрующие пластины, каждая из которых представляет собой элемент отдельной винтовой линии и закреплена на корпусе с помощью пайки под отрицательным углом от минус 5° до минус 15° относительно поверхности резания, отличающаяся тем, что алмазно-твердосплавные пластины на торце коронки расположены разнонаправлено под отрицательным углом 15° к направлению резания.

В стандартных коронках используется малоизносостойкое калибрующее вооружение большой площади. Резцы с синтетическими поликристаллическими алмазами размещаются таким образом, чтобы неуравновешенная сила была направлена в сторону этого несущего калибрующего вооружения. Предлагаемые коронки выходят за пределы общей конструктивной концепции и имеют по 360° непрерывное кольцевое калибрующее вооружение снаружи и изнутри. Такая концепция предусматривает центровку коронки и ограничения боковых перемещений путем предотвращения наружных резцов от разрушения, что снижает возможность завихрения и увеличивает срок службы режущего вооружения. Эти коронки за счет стабилизирующей, удлиненной части, бурят стволы скважин с диаметром, выдержанным по калибру, и имеют меньше колебаний крутящего момента в сочетании с эффективным профилем забоя скважины, что позволяет успешно бурить наклонно-направленные скважины в горных породах с изменяющейся категорией по буримости.

Разработанные, изготовленные и опробованные в полевых условиях антивибрационные коронки показали высокие результаты работы при бурении горных пород от VII до VIII категории по буримости. Результаты опытных работ приведены в главе 5.

По результатам выполненных работ обоснована базовая конструкция буровой коронки, армированной АТП, разработана оптимальная схема установки резцов по торцу коронки, отличающаяся различным уровнем функциональных возможностей.

Результаты стендовых испытаний антивибрационных кольцевых буровых коронок, армированных АТП, показали высокую эффективность применения данного типа породоразрушающего инструмента при бурении скважин в твердых горных породах.

Оптимизация конструкции буровых коронок позволяет реализовать бурение скважин с оптимальным значением осевого усилия, частоты вращения и качества промывочной жидкости

3.4 Разработка технологии крепления АТП на корпус буровой коронки.

Одним из основных резервов повышения эффективности буровых работ с отбором керна в средних и крепких горных породах является создание породоразрушающего инструмента с повышенными эксплуатационными показателями за счет армирования буровых коронок алмазно-твердосплавными пластинами (АТП) с возможностью замены резцов.

Нами на уровне изобретений разработан ряд буровых коронок с креплением АТП механическим креплением (рисунок 3.15) или с помощью пайки (рисунок 3.18). Технология крепления АТП на корпусе коронки не вызывает сложности и после изготовления узлов собирается в условиях механических мастерских [13].

На рисунок 3.15 и 3.20 показан вид кольцевой буровой коронки режущего типа с механическим креплением алмазно-твердосплавными пластин цилиндрическими клиньями с прижимными винтами. На рисунке 3.16 показан фрагмент вида сверху кольцевой буровой коронки режущего типа с механическим креплением АТП цилиндрическими клиньями с прижимными винтами. На рисунке 3.17 представлена АТП, цилиндрический паз и цилинд-

рический клин в ортогональной системе координат (X,Y,Z). На рисунке 3.18 представлен общий вид АТП в сопряжении с цилиндрическим клином. На рисунке 3.19 представлены геометрические параметры установки АТП и схема сил на режущей кромке.

Кольцевая буровая коронка режущего типа содержит корпус 1 с соединительной резьбой 2, разделена промывочными каналами 3 на секторы 4, снабженные резцами 5, армированными АТП 6. В корпус 1 в цилиндрическом пазу 7, имеющий диаметр, равный диаметру АТП 6, расположен цилиндрический клин 8.

Вставленная в цилиндрический паз 7 АТП 6 упирается своей задней поверхностью 9 в торцевую поверхность 10 цилиндрического паза 7 и прижимается к ней силой резания F и осевой силой P_z . Цилиндрический клин 8, закрепленный прижимным винтом 11 диаметром d , удерживает АТП 6 от перемещения. Прижимной винт 11 удерживает цилиндрический клин 8 от вращения.

Конструкция, после перестановки алмазно-твердосплавных пластин, позволяет использовать коронку многократно. Это увеличивает общую наработку породоразрушающего инструмента в несколько раз, по сравнению с коронкой с припаянными алмазно-твердосплавными пластинами рисунок 3.21, чем и достигается решение поставленной задачи.

Стойкость коронок определяется не только конструкцией, но и технологией их изготовления. Анализ существующих технологических техпроцессов 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 %).

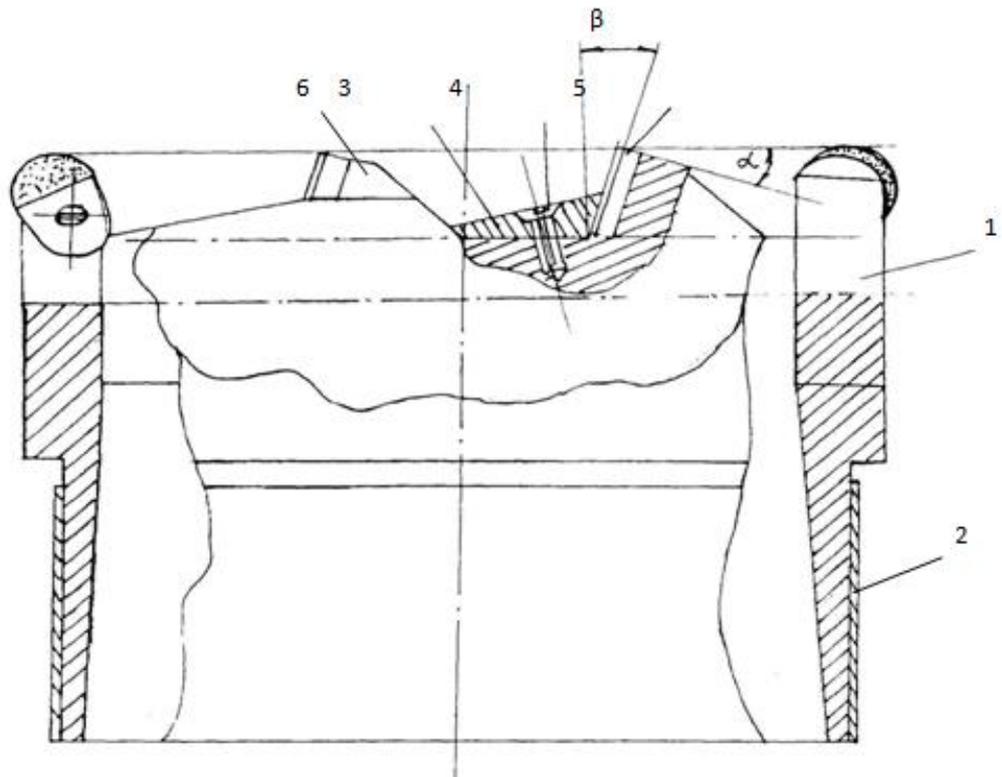


Рисунок 3.15. Кольцевая буровая коронка с механическим креплением
(вид сбоку)

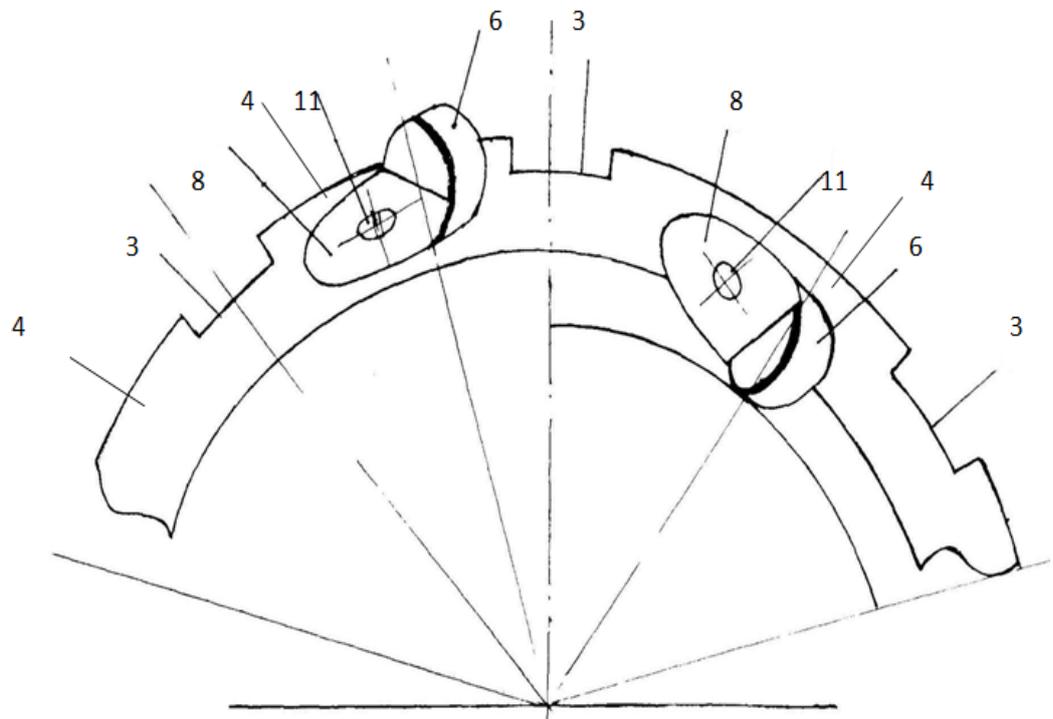


Рисунок 3.16 Кольцевая буровая коронка, (вид сверху)

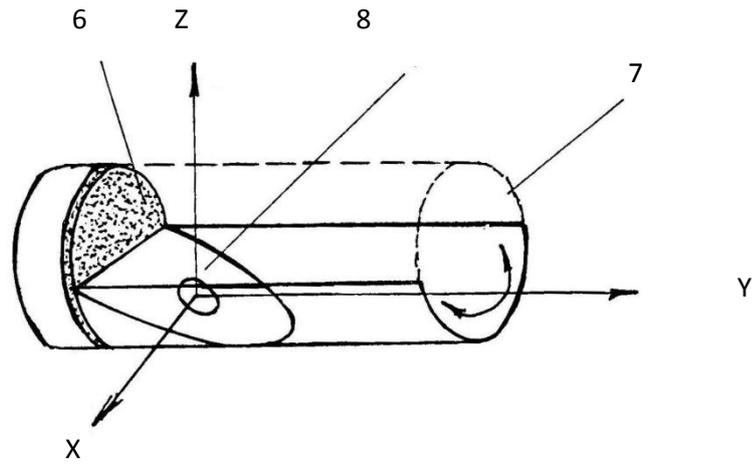


Рисунок 3.17 Схема цилиндрического клина

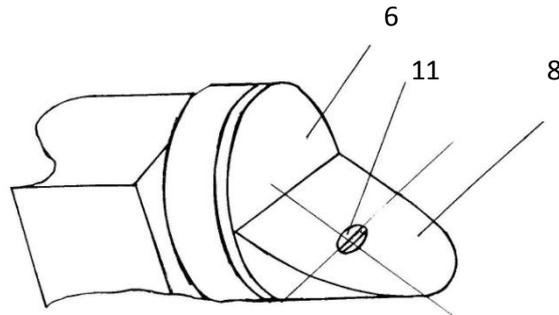


Рисунок 3.18 ATP в сопряжении с цилиндрическим клином

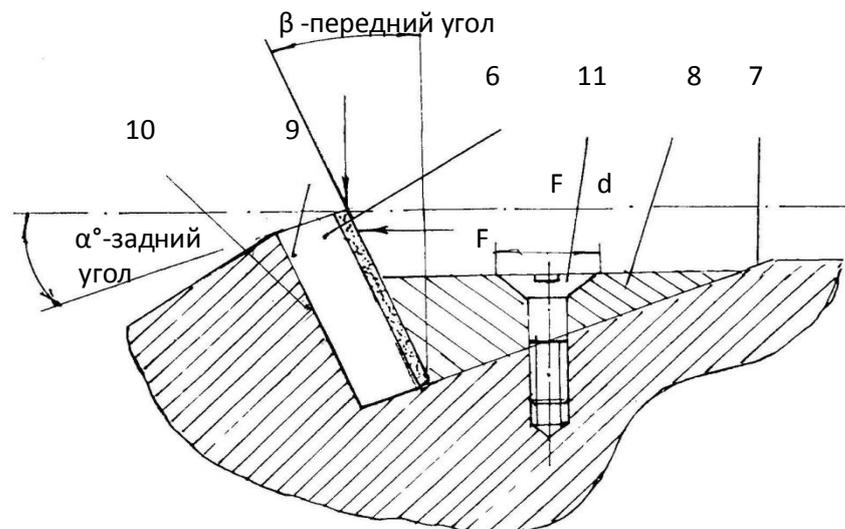


Рисунок 3.19 Геометрические параметры установки ATP и схема действующих сил



Рисунок 3.20 Буровая коронка с механическим креплением АТП

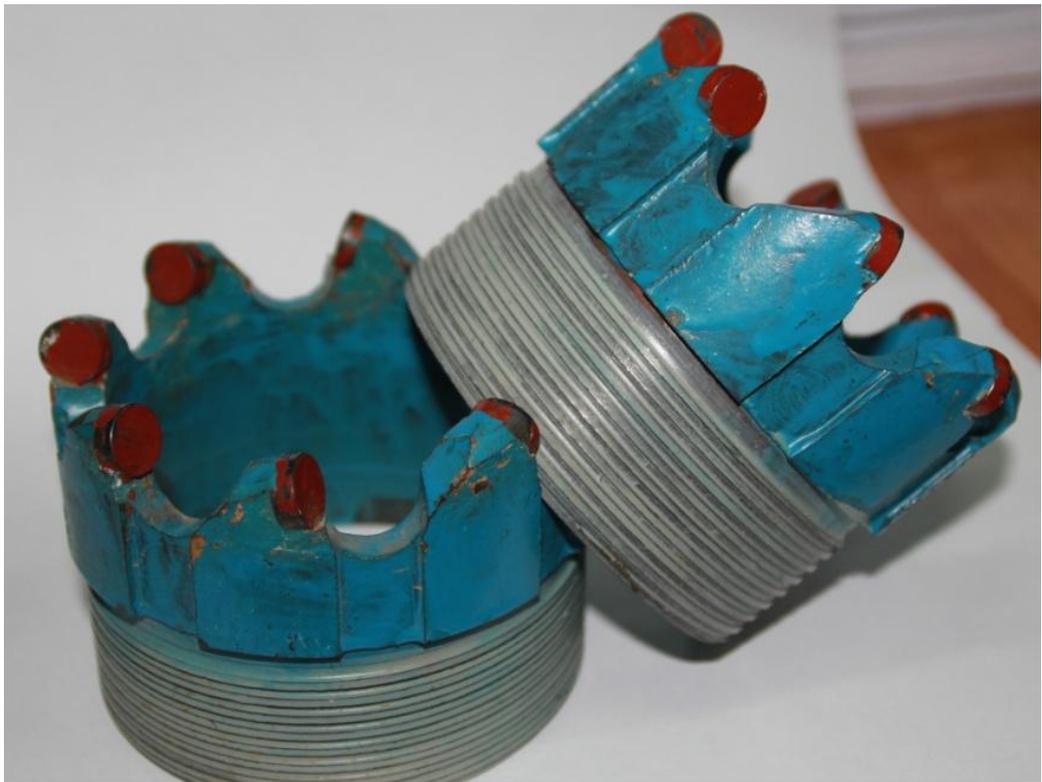


Рисунок 3.21 Буровые коронки с АТП закрепленными с помощью пайки

Изучение технологических процессов пайки, действующих на заводах-изготовителях коронок, показало, что общими их недостатками являются следующие: низкое качество или отсутствие подготовки паяемых поверхностей перед пайкой (очистка, обезжиривание, промывка), отсутствие в техпроцессах или несоблюдение отдельных параметров режимов пайки, отсутствие контроля отдельных операций, а также применение таких видов пайки, которые не обеспечивают стабильного получения требуемого качества буровых коронок.

Газопламенная пайка коронок не обеспечивает получения паяного соединения требуемого качества и не удовлетворяет современным санитарно-гигиеническим требованиям. По этим причинам данный вид пайки не удовлетворяет требованиям массового производства коронок.

Наиболее стабильные и лучшие показатели качества паяного соединения дает пайка коронок погружением в расплавленный припой. Процесс обеспечивает частичное обезжиривание паяемых поверхностей при обработке коронок перед пайкой в кипящем растворе буры и хорошее их флюсование. Процесс пайки происходит при погружении коронок в расплавленный припой, который изолирует паяемые поверхности от окисления кислородом воздуха. Стабильность температурного режима обеспечивается температурой расплавленного припоя. Пайка погружением обеспечивает высокую производительность процесса.

Существенные недостатки этого способа пайки: выпадение твердосплавных пластин из гнезд при пайке, повышенный расход припоя и несоблюдение геометрических размеров по наружному и внутреннему диаметрам коронки из-за «налипания» припоя на режущую часть инструмента, а также нестабильность получения качественного паяного соединения.

Непропай выше допустимой нормы объясняется отсутствием качественного обезжиривания паяемых поверхностей и нарушением технологических режимов пайки, отдельные параметры которых не регламентируются

(время нагрева и охлаждения), а также в результате влияния на эти параметры субъективных факторов рабочего.

Существующий техпроцесс индукционной пайки из-за способа подачи припоя (прутком отдельно к каждому резцу) обуславливает последовательный нагрев отдельных частей коронки, что снижает производительность и не обеспечивает высокого качества паянного соединения из-за неравномерности нагрева паяемых поверхностей.

Изготовление всех коронок выполнялось в условиях механических мастерских индукционным методом. Технология крепления АТП на корпус коронки является основным технологическим моментом сборки коронки. От качества крепления зависит работоспособность коронки и как результат - механическая скорость бурения горных пород. Крепление АТП на корпус коронки выполняется путем пайки или за счет механического крепления. Перед пайкой корпуса коронок должны обезжириваться в 10-15%-ном водном растворе каустической соды, нагретой до температуры 80-90°C, в течение 10-15 мин, затем промываться в горячей воде при 80-90° С в течение 15 мин и сушиться в потоке горячего воздуха. Для обезжиривания корпуса инструмент помещают в корзину, которую с помощью тельфера погружают в ванну с водным раствором каустической соды, затем в ванну с горячей водой, после чего передают на сушильную установку.

Подготовка поверхности твердых сплавов АТП группы WC-Co с большим содержанием кобальта, не требуется, так как их поверхности хорошо смачиваются расплавленным припоем без какой-либо специальной обработки. Гнездо под пайку в корпусе коронки должно точно соответствовать АТП. Сборка коронки под пайку включает установку АТП в гнездо коронки, ее укрепление в гнезде, дозировку припоя, нанесение флюса, фиксацию паяльных зазоров (если их величина более 0,1) и в некоторых случаях, когда паяльные зазоры больше 0,2-0,3 мм, укрепление специальных технологических накладок, препятствующих вытеканию припоя из паяльного зазора. При пайке АТП, операция сборки обычно проводится паяльщиком одновременно

с пайкой. Паяльщик насыпает в гнездо флюс, укладывает заранее нарезанный кусочек листового припоя, вновь насыпает флюс, устанавливает АТП в паз коронки и помещает коронку в кольцевой индуктор работающей высокочастотной установки. После расплавления припоя и его растекания паяльщик вынимает резец из индуктора, не давая припою затвердеть, прижимает пластину АТП к корпусу и охлаждает инструмент.

Индукционная пайка АТП в кольцевом индукторе, по сравнению с известными – пайка погружением в расплавленный припой и газопламенной пайкой имеет ряд достоинств:

1. Исключается выпадение АТП из гнезда коронки, так как в процессе нагрева коронка располагается резцом вверх
2. Обеспечивается 100% визуальный контроль над процессом пайки.
3. Улучшаются условия работы обслуживающего персонала

Практически для пайки самого мелкого инструмента не следует использовать высокочастотные установки с частотой тока более 60—70 кГц. Для пайки инструментов больших размеров, у которых диаметр превышает 40 мм, пайку следует вести на установках, имеющих частоту 2,5—8 кГц. При пайке инструментов меньших размеров, возможно, использовать высокочастотные установки с большей частотой тока (до 60—70 кГц), однако всегда следует стремиться к пайке такого инструмента с частотой тока 8—30 кГц.

Для пайки каждого вида АТП необходимо определенное количество припоя. В идеальном случае дозировка должна быть такой, чтобы объем припоя, предназначенного для пайки того или другого вида инструмента, был точно равен объему паяльных зазоров. В этом случае совсем не было бы натеков припоя, которые вызывают затруднения при заточке инструмента. Объем паяльных зазоров непостоянен, так как зависит от принятых допусков при изготовлении корпуса инструмента. Поэтому дозировку припоя следует считать правильной в том случае, если при принятых допусках его всегда достаточно для заполнения паяльных зазоров. При этом избыток припоя должен быть минимальным. С экономической точки зрения выгоднее тща-

тельно дозировать припой, чем при заточке удалять его наплывы или получать брак по непропаю из-за недостатка припоя. При пайке припоями на основе серебра следует использовать специальные флюсы, интервал активности которых согласован с температурой плавления этих припоев и находится в пределах 500-850 °С. Дозировка флюсов при пайке должна обеспечивать покрытие всех паяемых поверхностей расплавленным флюсом вплоть до его вытеснения припоем. При нагреве инструмента под пайку необходимо следить непрерывно за тем, чтобы поверхности, подлежащие пайке, были покрыты флюсом и при необходимости добавлять последний.

Наиболее перспективным способом считается пайка при высокочастотном нагреве, при котором в процессе нагрева возможно непрерывное визуальное наблюдение и доступ к инструменту.

Пайка газовой горелкой, предназначенной для сварки металлов, не может быть рекомендована, так как при этом создаются местные перегревы, которые отрицательно влияют на качество инструмента. В некоторых случаях газовые горелки используют для пайки вследствие отсутствия другого оборудования, например в геологоразведочных партиях, находящихся в полевых условиях. Нагрев под пайку должен проводиться медленно с тем, чтобы обеспечить сохранение исходных свойств твердого сплава, равномерный прогрев паяемых поверхностей и корпуса инструмента. Быстрый нагрев пластин из АТП вызывает неравномерное распределение температур в объеме изделия и может привести к отслаиванию алмазного слоя.

Коронки под пайку и термообработку нагревают на высокочастотных установках. Высокочастотная установка должна быть оборудована специальным петлевым индуктором и вращающимся столом для непрерывной пайки коронок. Форма индуктора и положение в нем коронок должны обеспечивать равномерный нагрев всего корпуса коронки до температуры пайки. Время пребывания каждой коронки в индукторе (продолжительность нагрева) должно быть не менее 10 мин. Режимы работы установки подбираются экспериментально одновременно с разработкой формы и длины индуктора. Ко-

ронки устанавливаются на штыри вращающегося стола. После этого АТП центруется по диаметру, прижимается к основанию паза и удерживается до затвердевания припоя на воздухе. Готовые коронки контролируются визуальным осмотром.

Толщина паяного шва с обеих сторон должна составлять 0,1-0,25 мм. Припой должен заполнять паяльные зазоры равномерно без разрывов. Допускается видимая несплошность не более 5% от периметра паяного шва.

Толщину паяного шва контролируют у 5% коронок, но не менее 10 коронок от партии на инструментальном микроскопе любого типа или с помощью бинокулярной лупы при увеличении не менее 20 раз.

С целью выбора высокотехнологичного припоя для экономичной и качественной пайки были проведены экспериментальные работы по подбору припоя и флюса в ЗАО “АЛАРМ” (г. Москва). Экспериментальной пайке подверглись припои на основе серебра, как наиболее подходящие по температуре плавления: порошок из припоев серебряных (ТУ 48-1-366-81 с изменением), порошок из припоев серебрянных получают сплавлением металлов в требуемом соотношении и последующим истиранием кусков сплава.

Состав марок порошков на основе меди следующий, %:

ПСРЦДА 12-31-0,05: 1201,0 Ag, 31±2,0 Zn, 0,03±0,02 La, 15,5±1,5 Cd, 0,35±0,15 Co; ПСФОЛ 10-5-5: 10±1,0Ag, 5±0,7 Sn, 4,5±0,7 P, 0,5±0,2 In.

Размеры частиц порошков находятся в пределах 50-315 мкм или 50-630 мкм; содержание фракций – 50 мкм не превышает 10% от массы партии.

Состав припоев марок ПСр-70; 45; 25 регламентируется ГОСТ 19738. Свойства припоев приведены в таблице 3.1.

Характеристики порошковых серебрянных припоев даны в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Физические свойства серебряных припоев

Марка припоя	Плотность литого образца, г/см ³	Интервал температуры плавления, К	Удельное сопротивление литого образца, Ом*м, 10 ⁸
ПСр-70	9,80	990-1045	4,1
ПСр-45	9,10	550-650	10,0
ФН-12	8,5	940-1005	7,1
ПСр-40	9,25	860-888	7,0
ПСр-25	8,70	1015-1150	7,7
ПСрЦЛа 12-31-0,05	8,67	890-920	7,5
ПСрФОл	8,31	870-900	12,5

При выборе оптимального состава флюса были испытаны флюсы паяльные: ТУ 48-13-34-83, ТУ 11-89, ППТ-1, ППТС-2, ТУ 11-90. ПБЦ. 032.011, ТУ 48-3535-1-92, “Нетрамм”, “Ескл”, ФН-12.

В результате проведения экспериментальных работ по подбору флюсов и припоя было установлено[13], что лучшим припоем является припой типа ПСР-45,(таблица 3.2), а лучшим флюсом является флюс специальный типа АG8 (паста припойная). Характеристика припоя и флюса приведена ниже в таблице 3.3.

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°. При такой температуре алмазный слой на АТП не отслаивается и качество пайки АТП на корпус коронки высокое.

Таблица 3.2 Области применения порошковых серебряных припоев

Марка припоя	Назначение
ПСр 70	Пайка и лужение ювелирных изделий, титана и титановых сплавов с нержавеющей сталью
ПСр 45	Лужение и пайка меди, медных и медноникелевых сплавов, никеля, ковара, нейзильбера, латуней, бронз, ювелирных изделий. Пайка алмазно-твердосплавных пластин
ПСр 40	Лужение и пайка меди, медных и медноникелевых сплавов, никеля, ковара, нейзильбера, латуней. бронз. Пайка сталей с медью, никелем, медными и мел-ноникелевыми сплавами.
Felder 49%	Пайка меди и латуни с коваром, никелем с нержавеющей сталью и жаропрочными сплавами, пайка свинцовооловянных бронз.
ПСр 25	Пайка и лужение ювелирных изделий, меди, медных и медноникелевых сплавов, никеля, ковара, нейзильбера, латуней и бронз. Пайка стали с медью, никелем, медными и мед-ноникелевыми сплавами
ПСрЦЛа 12-31-0,05	Пайка меди, медных и медноникелевых сплавов, никеля, ковара, нейзильбера, латуней и бронз с применением флюса 209.
	Рекомендуется для применения взамен припоев ПСр 45, ПСр 40 при пайке токоведущих узлов электроаппаратуры, а также в машино- и приборостроении
ПСрФОл 10-5-5	Пайка меди, медных сплавов, латуней и бронз. При пайке материалов, содержащих никель, железо, время пайки следует ограничить до 1-1,5 мин. Рекомендуется применять для пайки узлов, не подверженных большим динамическим нагрузкам. Пайку на воздухе следует осуществлять при температуре 910-930 К с применением флюса 209

Свойства припоя должны обеспечить наибольшее полное сохранение качества твердого сплава после пайки. Из используемых в настоящее время этому требованию в большой мере отвечают серебряные припои (например ПСр-45). Они пластичны при циклических нагрузках, обеспечивают весьма прочные соединения и хорошо смачивают все сплавы и металлы. Низкая

температура плавления и высокая пластичность обеспечивают самые низкие напряжения в твердом сплаве после пайки.

Таблица 3.3 Характеристика припоев и паст

№ п/п	Характеристика припоя	Характеристика флюса
1	Твердый припой для высокотемпературной пайки Felder 49%: L-Ag-49% (Арт. 3449); Cu-17%; Zn-22,5%; Ni-5%; Mn-6,5% ПСР-45	Флюс специальный FH-12 CuFe Nr.1-Spezial (паста/порошок) Арт. ФШ12; $T_{\text{эффективная}} = 500-800^{\circ}\text{C}$ Пластиковая герметичная упаковка: 0,100/0,250/0,500/1,000 кг
2	Лента (толщина=0,2÷0,3 мм) ПСР-45 Состав Ag – 45%, Cu-31%, Zn-20%, Pb-4% температура плавления – 800 °С, предел прочности на растяжение – 500 МПа, относительное удлинение – 58%	Флюс специальный BRAZING FLUS AG8 PASTE, 1kg, ITALY

С целью исключения окисления и получения оксидной пленки железа в паячном гнезде коронки нами предложено пайку АТП на корпус коронки выполнять под защитой очень тонкой медной пленки. Для этого коронки после изготовления перед пайкой опускается на 20 минут в раствор CuSO_4 (медного купороса). При этом происходит естественное осаждение меди на месте пайки АТП. Во время нагрева при температуре 200°C , медная пленка расплавляется и пайка будет выполняться на более качественном уровне.

Таким образом, монтаж АТП на корпус коронки может быть как с помощью механического крепления, так с помощью пайки, при этом экономическая эффективность бурения в последнем случае будет меньше.

3.5 Влияние вибраций на прочностные свойства буровых коронок, армированных АТП.

Вибрации коронки являются основной причиной износа и поломок резцов АТП. На коронку воздействуют различные типы вибраций, в зависимости от целого ряда факторов. Применение прогрессивных скоростных режимов бурения возможно лишь при использовании методов и средств борьбы с вибрациями.

Используя опыт эксплуатации буровых коронок, армированных АТП, было установлено, что снижение уровня вибрации способствует уменьшению износа, увеличению механической скорости бурения и наработок на коронки. В соответствии с этим нами были разработаны и внедрены в практику буровых работ технические и технологические мероприятия способствующие уменьшению вибрации буровых коронок.

Причины вибраций можно разделить на три группы. К первой относятся геологические причины. Вибрация возникает при бурении перемежающихся твердых и мягких горных пород (например, тонкослоистых роговиков, джеспиллитов, кварцитов, а также пород, имеющих неравномерную зернистость и неоднородную структуру), разрушенных и трещиноватых, осадочных и слоистых, полосчатых и гнейсовидных, слоистость или сланцеватость которых образует острый угол с осью скважины. Особенно сильные вибрации возникают при проходке скважин в обрушающихся или кавернозных породах, а также в породах, образующих «желоба», где бурильная колонна может иметь сильный изгиб.

Вторая группа — технические причины. Их можно выделить четыре вида.

1. Применение искривленных бурильных и колонковых труб; отсутствие соосности в колонне из-за неправильного изготовления резьбовых соединений и корпусов ниппелей, муфт и замков; неравномерный односторонний износ труб и соединений.

2. Большие зазоры между бурильными трубами и стенками скважины, недостаточная жесткость бурильной колонны; ступенчатые конструкции скважин; повышенная разработка отдельных интервалов ствола и отклонение формы сечения скважины от кольцевого, отсутствие утяжеленных бурильных труб в компоновке бурового снаряда.

3. Применение коронок, не соответствующих по типу физико-механическим свойствам и буримости проходимых горных пород, а также коронок с односторонним износом торца, с зашлифованными или с большим количеством сколотых, выпавших резцов; проходка перемежающихся по твердости пород без калибрующего расширителя.

Третья группа — технологические причины. К ним относятся следующие.

1. Нарушение рекомендаций по применению параметров режима бурения: превышение осевой нагрузки на коронку и скорости вращения инструмента против оптимальных или рациональных для данных условий бурения.

2. Бурение при самозаклинке керна, при значительных искривлениях ствола скважины, при наличии на забое кусков металла или горной породы, бурение по керну, оставленному в скважине.

3. Бурение без применения антивибрационных средств, и с буровым раствором без должной смазывающей способности.

При повышенном размахе колебаний колонны создаются частые и сильные ударные нагрузки на коронку и калибровочный расширитель, которые увеличивают их износ. В колонковой трубе и коронке керн под влиянием вибраций скалывается и разрушается, происходит его истирание и самозаклинивание, что приводит к снижению выхода керна и уменьшению рейсовой проходки. На забое коронки совершают очень хаотичные движения, которые включают боковые, осевые и крутильные вибрации отмечающиеся отдельно и в комплексе. Забойные вибрации снижают срок службы коронки за счет повреждения отдельных резцов.

Интенсивность колебаний колонны характеризуется амплитудой (величиной наибольшего отклонения колонны от оси скважины) и частотой (количеством колебаний за единицу времени). Величина, обратная частоте, называется периодом колебаний (время между двумя последовательными одинаковыми состояниями системы). При совпадении частоты вынужденных колебаний под действием возмущающих сил с частотой собственных колебаний колонны возникают резонансные явления, амплитуда и частота колебаний возрастают и появляется вибрация. Скорость вращения колонны, приводящая к резонансу, называется критической. К главным факторам, вызывающим вибрацию буровой колонны, относятся центробежные усилия, возникающие на несбалансированных участках колонны и в замковых соединениях, частые изменения величины крутящего момента и сжимающих колонну усилий, силы трения колонны о стенки скважины, пульсация промывочной жидкости и т. д. Многообразие причин вибраций заставляет считать, что аналитически нельзя однозначно получить формулу для расчета значений частот колебаний труб. Наиболее достоверные данные о частоте могут быть получены лишь экспериментально — непосредственным измерением в скважине.

Смазки, добавляемые в буровой раствор, являются своеобразным демпфером, поглощающим удары колонны о стенки скважины, в результате чего снижаются поперечные вибрации и стенки скважины меньше разрушаются. Последние должны обладать: способностью прочно прилипать к мокрой поверхности буровых труб, соединений и стенок скважины; не смываться потоком промывочной жидкости; не образовывать сальники в скважине; достаточной вязкостью, чтобы образовывать упругий слой, способный противостоять ударным нагрузкам и гасить вибрации; высокими смазочными свойствами — максимально снижать потери энергии на трение при вращении колонны в скважине, уменьшать или предупреждать износ буровых труб; антикоррозионными свойствами по отношению к буровым и обсадным трубам.

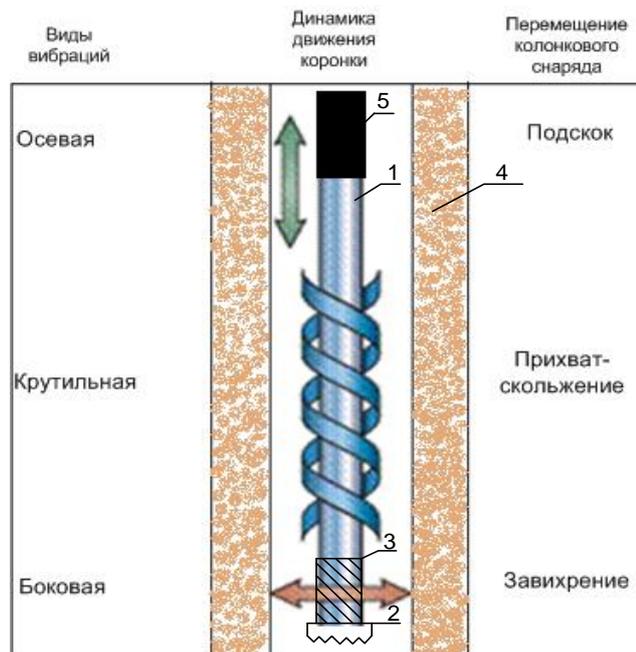
Когда резцы с синтетическими поликристаллическими алмазами асимметрично внедряются в забой скважины, мгновенный центр вращения перемещается в это место и коронка пытается вращаться вокруг точки, не представляющей геометрический центр. Это создает обратноподвиженное движение, или завихрение, поскольку центр вращения движется вокруг ствола против направления вращения коронки. В результате этого создается многолепестковая картина забоя скважины вместо концентрического кругового резания коронкой. (рисунок 3.22), то есть возникают вибрации: осевая (продольная), крутильная и боковая (поперечная).

Боковые вибрации и высокие ударные нагрузки на заднюю часть резцов с синтетическими поликристаллическими алмазами снижают срок службы коронки и могут вызвать его серьезную поломку. Менее разрушительное переднее завихрение происходит, когда мгновенный центр вращения движется по направлению вращения коронки.

Конструкции предложенных нами стабилизирующих коронок снижают боковое движение за счет регулировки типа резцов, размера, плотности, ориентации и места их установки таким образом, чтобы линии резания совпадали или чтобы они не слишком сильно углублялись.

Во многих случаях коронки с одной или несколькими стандартными стабилизирующими характеристиками содействовали ослаблению проявления динамики работы коронки и обеспечивали приемлемую работоспособность. Однако, в случае сильных вибраций и значительных ударных воздействий, нужны другие меры. Другим методом является применение калибрующего вооружения на коронке таким образом, чтобы неуравновешенные силы были в направлении калибрующего вооружения. Конструкция с противовихревым действием была разработана для сведения к минимуму боковых вибраций. Недостатком этого метода является трудное прогнозирование этих неуравновешенных сил и их направлений. Компромиссом для стабильности коронки могут послужить значительные силы, направленные в сторону, подобные силам, отмечаемым при наклонно-направленном бурении. Разрабо-

танные нами стабилизирующие коронки обладают способностью к уменьшению вибрации, (патент RU №2577351). С учетом вышеизложенного нами разработана и подана заявка на изобретение (положительное решение №201611753/03 от 14.02.2017) Антивибрационная кольцевая буровая коронка”. Применение этих коронок позволяет увеличить технико-экономические показатели колонкового бурения горных пород VI-VIII категории по буримости.



1- колонковая труба, 2- коронка, 3-кернарватель, 4 – ствол скважины, 5- утяжеленная бурильная труба.

Рисунок 3.22. Виды забойных вибраций

Повышенная вибрация бурового снаряда приводит к уменьшению проходки на коронку, к более интенсивному износу инструмента и оборудования, увеличению количества аварий с бурильными трубами и расходу дополнительной энергии. Всё это в конечном итоге снижает производительность и уменьшает эффективность бурения коронками, армированными АТП. Поэтому необходимо всегда своевременно принимать меры для предупреждения и снижения вибрации буровой колонны.

В настоящее время отечественной промышленностью освоено производство измерительной аппаратуры, позволяющей провести всесторонние

исследования параметров вибрации, возникающей на буровых станках в процессе их эксплуатации.

В связи с тем, что вибрации, имеющие место на буровых станках, лежат в широком спектре по частоте и амплитуде, для проведения исследований рекомендуются следующие комплекты виброизмерительной аппаратуры: ВИБ-5МА, АВ-43, АВ-44[127,128].

На основе проведенных нами исследований динамики работы всех типов буровых станков можно рекомендовать следующий порядок работы с виброаппаратурой:

1. Для определения типа виброизмерительной аппаратуры, позволяющей точно, без искажений, записать основные показатели вибраций и места установки датчиков, необходимо сделать ряд пробных замеров на станке ручным вибрографом ВР-1.

2. На основе данных пробных замеров выбирается комплект аппаратуры и намечаются места повышенной вибрации, в которых устанавливаются датчики в количестве, соответствующем рабочей программе.

3. При измерениях датчики жестко крепятся на объекте испытания (пол кабины машиниста, пол машинного отделения, вращатель, механизм подачи, буровой став).

4. Определяется длина записи осциллограммы, существенно влияющая на точность вычисления статистических характеристик случайного процесса.

Одновременная запись вибрации различных узлов и конструкций станка позволяет яснее представить картину их колебаний при одних и тех же условиях работы.

Экспериментальное исследование вибрации, имеющей место на буровых станках, включает в себя на заключительном этапе обработку полученных результатов.

Развитие технологий, направленных на снижение вибраций является одним из направлений в области разработки конструкций коронок. Для про-

тивостояния этой проблеме создано большое количество самых разнообразных конструкций из чрезвычайно дорогостоящих материалов, но проблема по - прежнему не решена. Нами предусмотрен следующий путь решения этой проблемы: минимизация вибраций буровой колонны с одной стороны, и оптимизация конструкции коронки с другой. В качестве способа решения этих проблем предлагается использовать 3^х ступенчатое расположение резцов АТП на корпусе коронки, с установкой пластин АТП под отрицательными углами резания, применения стабилизирующих коронок со спиральной траекторий размещения АТП, использование схемы расположения резцов АТП способствующих снижению вибрации, а также специального бурового раствора с высокой смазывающей способностью. Внедрение этих мероприятий в практику буровых работ будет способствовать снижению вибрации и износа АТП и, как результат, повышению скорости бурения и наработки на коронку.

Экспериментальные работы выполнялись непосредственно в полевых условиях работы ОАО «Алроса» на скважинах глубиной до 300 метров. Выполненными исследованиями надежности АТП установлены виды поломок и структура отказов резцов. Из данных таблицы 3.5 следует, что наиболее частым видом разрушения режущей части АТП является их износ (50,0%) из них скол со стороны передней грани (23,7 %), скол со стороны задней грани (14,5 %), обрыв пластин АТП (2,6%), раздробление АТП (9,2%), остальное (50%)-износ.

Таблица 3.4 Виды разрушения АТП

№ п/п	Вид разрушения	количество поломок		
		износ	поломка	% 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	Раздробление АТП		7	9,2
	ВСЕГО		76	100

Оценивая полученные экспериментальные результаты необходимо отметить, что наибольший процент выхода из строя коронок, по причине разрушения АТП, происходит из-за поломки АТП, отрыва пластины АТП, а также сколы по передней и задней грани. Причиной этих аварий является наличие забойной вибрации.

Опыт работы на месторождениях ОАО “Алроса” дает основания утверждать, что вибрации коронки зачастую являются основной причиной износа резцов АТП. На коронку может действовать различные типы вибраций, но вращающаяся (поперечная вибрация) и эффект пружины (продольная) вибрация встречаются наиболее часто. Эффектом пружины называется замедление вращения коронки, в составе колонкового снаряда, при контакте с горной породой от трения, ведущее к остановке вращения. При этом энергия вращения продолжает поступать на коронку от бурового станка через буровые трубы, пока она не преодолеет силу трения. Тогда колонковый снаряд начинает раскручиваться с ускорением, превышающим в два и более раза номинальную скорость вращения.

Также как и при поперечной вибрации это увеличивает ударную нагрузку на АТП, приводящую к их поломке, слому, потере, износу.

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:

1. Неверно подобранная конструкция низа буровой колонны;
2. Отсутствие в комплектации бурового снаряда утяжеленных буровых труб и амортизатора.
3. Не рационально подобранные технологические параметры (нагрузка, частота вращения, количество и качество промывочной жидкости).
4. Применение бурового раствора без необходимой смазывающей способности.

5. Применение буровых коронок не способных конструктивно решать вопросы снижения вибраций.

Вибрационный режим бурового става складывается из упругих вибраций самого бурового снаряда и возмущений, накладываемых за счет работы коронки при ее работе на забое.

С учетом схемы бурового снаряда (рисунок 3.23), масса бурового снаряда рассчитывается по формуле [122]:

$$m = \frac{P_{oc}}{l}, \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (3.1)$$

где: P_{oc} - осевое давление, кН

l - переменная длина упругодеформированного бурового снаряда в процессе вибрации, которая может быть выражена уравнением

$$l = l_o - x - x_{ст}, \quad (3.2)$$

где l_o - длина недеформированного бурового снаряда, м;

x - динамическое перемещение верхнего конца бурового снаряда, отсчитываемое относительно положения статического равновесия, м;

$x_{ст}$ - деформация бурового снаряда под действием силы P_{oc} , м.

Пренебрегая весом бурового снаряда и рассматривая его как упругий невесомый стержень, можем написать дифференциальное уравнение колебаний верхнего конца бурового снаряда в виде:

$$m = \frac{d^2x}{dt^2} = \sim c\Delta l + P_{oc} + H \sin \omega t, \quad \frac{\text{кН}}{\text{м}}, \quad (3.3)$$

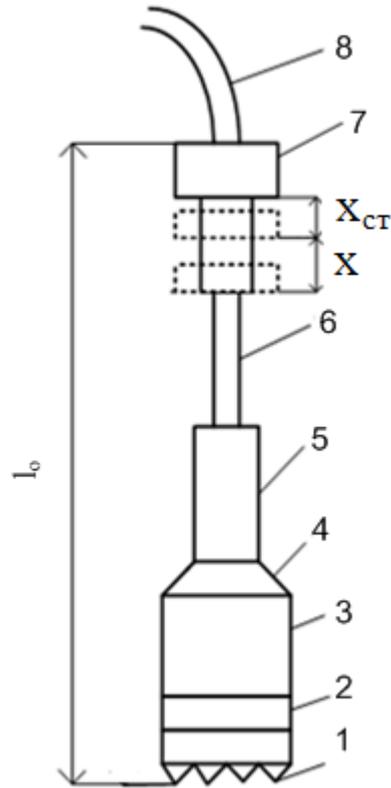
где: $\Delta l = (l_o - l) = x + x_{ст}$;

H - силовая амплитуда возмущений, накладываемых нижним концом бурового снаряда, кН;

ω - угловая частота этих возмущений, рад/с;

c - коэффициент жесткости бурового снаряда, определяемый из закона Гука, кН/мм²

$$\frac{P_{oc}}{FS} = E \frac{x_{6c}}{l}; \quad P_{oc} = \frac{EF}{l} x_{6c}; \quad c = \frac{FE}{l}. \quad (3.4)$$



1- коронка, 2- кернорватель. 3- колонковая труба, 4- переходник, 5 – утяжеленная буровая штанга, 6 – буровые штанги, 7-вертлюг-сальник, 8- нагнетательный шланг.

Рисунок 3.23 Схема бурового снаряда

Преобразуя уравнение (3. 3), подставив в него (3.4), получим

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{c}{m}x = \frac{H}{m}\sin \omega t \quad (3.5)$$

или

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k^2x = h\sin \omega t , \quad (3.6)$$

$$\text{где } k^2 = \frac{c}{m}; \quad h = \frac{H}{m}.$$

При $k \neq \omega$ уравнение (3.6) имеет решение в виде

$$x = c_1\sin kt + c_2\cos kt + x_1 , \quad (3.7)$$

где c_1 и c_2 – постоянные, определяемые из начальных условий:

$$t=0; \quad x=0; \quad (3.8)$$

$$t=0; \quad \frac{dx}{dt} = 0 \quad (3.9)$$

x_1 - амплитуда вынужденных колебаний, которая может быть представлена в виде

$$x_1 = A \sin \omega t, \quad (3.10)$$

A - определяется путем подстановки x_1 , в уравнение (3.6).

Поэтому

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} + kx_1 = H \sin \omega t, \quad (3.11)$$

откуда следует

$$-A\omega^2 \sin \omega t + k^2 A \sin \omega t = H \sin \omega t;$$

$$A = \frac{h}{k^2 - \omega^2}. \quad (3.12)$$

Тогда уравнение (3.7) примет вид

$$x = c_1 \sin kt + c_2 \cos kt + \frac{h}{k^2 - \omega^2} \sin \omega t. \quad (3.13)$$

Дифференцируя (3.13) по времени, получим выражение для скорости верхнего конца бурового снаряда:

$$\frac{dx}{dt} = kc_1 \cos kt - kc_2 \sin kt + \frac{h\omega}{k^2 - \omega^2} \cos \omega t. \quad (3.14)$$

Подставляя в уравнение (3.13) начальное условие (3.8), а в уравнение (3.14) условие (3.9) получим систему двух уравнений для определения c_1 и c_2

Из этих уравнений следует, что

$$c_2 = 0; \quad (3.15)$$

$$c_1 = -\frac{h\omega}{k(k^2 - \omega^2)}. \quad (3.16)$$

Подставив c_1 и c_2 в (3.13), получим перемещение верхнего конца бурового снаряда в форме

$$x = \frac{h\omega}{k(k^2 - \omega^2)} \sin kt + \frac{h}{k^2 - \omega^2} \sin \omega t. \quad (3.17)$$

Отсюда очевидно, что величины амплитуд собственных a и вынужденных b колебаний относятся как частота вынужденных ω и частота собственных колебаний, т.е.

$$\left| \frac{a}{b} \right| = \left| \frac{\omega}{k} \right|, \quad (3.18)$$

что, очевидно, вытекает из сравнения коэффициентов уравнения (3.17). Согласно нашим экспериментальным данным величины k и ω отличаются на порядок.

По приведенному выше расчету можно оценить частоту собственных колебаний бурового снаряда:

$$k = \sqrt{\frac{ESg}{P_{oc}l}}, \quad (3.19)$$

Которая для наших условий: диаметр буровой коронки – 112 мм; диаметр кернорвателя, переходника и колонковой трубы – 108 мм, диаметр утяжеленных бурильных штанг – 89 мм, диаметр буровых штанг – 63,5 мм соответствует линейной частоте равной:

$$f = \frac{k}{2\pi} = \frac{75,4}{6,28} = 12 \text{ гц} . \quad (3.20)$$

Этот показатель соответствует допустимой величине собственных колебаний равной 14 гц.

В отличие от точной формулы, полученной для частоты собственных колебаний k , частоту вынужденных колебаний ω можно оценить только ориентировочно по ее теоретически возможному максимальному значению.

Проведенный теоретический анализ вибрационных режимов бурового снаряда полностью подтверждается экспериментальными данными и показывает, что при анализе устойчивости вынужденными колебаниями можно в первом приближении пренебречь из-за их малости и вести расчет, учитывая только собственные колебания, при этом мы рассматриваем буровой снаряд, как изолированную систему, находящуюся под действием осевых и крутящих усилий и имеющую определенные схемы закрепления концов. Этот анализ позволит определить условия потери устойчивости ставом буровых штанг и рассмотреть влияние параметров возникающих вибраций в ставе на вибрации всего станка и буровой коронки в том числе (рисунок 2.25).

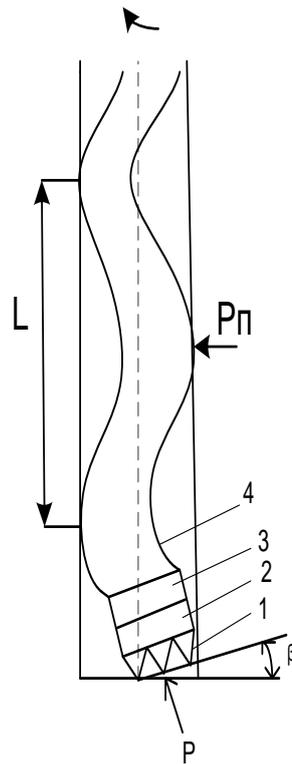
Колонна бурильных труб при бурении находится под воздействием нагрузки P , собственного веса P_1 , момента вращения $M_{вр}$, сил трения и инерции.

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_{\perp} (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 [123]. 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 2.26).

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. Именно такое, разнонаправленное расположение АТП на корпусе коронки под отрицательным углом 15° к направлению резания и будет способствовать уменьшению степени вибрации.



1-коронка, 2-кернорватитель, 3-колонковая труба, 4-бурильные штанги.

Рис. 3.24 Схема расположения бурильной колонны в скважине

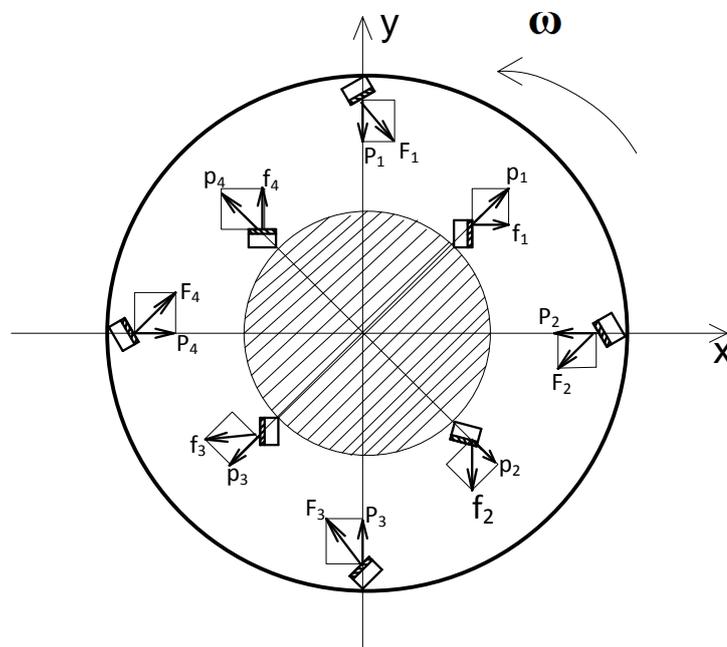


Рисунок 3.25 Схема проекций горизонтальных сил сопротивления буровой коронке

Уменьшение вибрации бурильной колонки достигается: устранением причин колебаний колонны, изложенных выше, включением в состав снаряда виброгасителей, специальных переходников, а также центраторов, коронок стабилизирующих бурильную колонну, применением антивибрационной смазки, которая наносится на поверхность бурильных труб и буровых растворов с высокой смазывающей способностью.

Полностью избавиться от вибрации невозможно. При изучении вибрации бурового станка прежде всего следует установить, какие вибрации можно считать допустимыми, а какие вредными. Опыт научно-исследовательских и проектных организаций позволил установить зависимость между допустимой амплитудой колебаний и числом оборотов как высокооборотных, так и тихоходных буровых станков [128]:

$$2A = \frac{c_k}{\sqrt{n}} \quad (3.21)$$

где $2A$ — размах колебаний, мм; c_k — коэффициент, характеризующий качество уравнивания: $c_k = 1$ — «отличное»; $c_k = 2$ — «хорошее»; $c_k = 3$ — «удовлетворительное»; n — число оборотов бурового станка, об/мин.

Устранение вибрации буровой коронки можно достичь если в комплект бурового снаряда включить амортизатор. Размеры, жесткость и материал амортизатора выбирают таким образом, чтобы частота собственных колебаний конструкции была ниже частоты возмущающей силы.

При расчетах, связанных с амортизацией вынужденных колебаний, часто используется так называемый коэффициент передачи β_1 определяемый по формуле [127]

$$\beta_1 = \frac{P'}{P_0} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{w_0}{w}\right)^2 \sin^2 \varphi}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{w_0}{w}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{w_0}{w}\right)^2 \sin^2 \varphi}} \quad (3.22)$$

Здесь $\sin \varphi$ — коэффициент динамичности, представляющий собой синус угла сдвига фаз между силой и деформацией и характеризующий рассеивание энергии колебаний за счет внутреннего трения (например, в резине); P'

— сила, переданная на основание; P_0 — сила, возбуждаемая внешним источником. Из уравнения следует, что при любом значении $\sin\varphi$ виброизоляция начинается при $w_0 = w\sqrt{2}$. Чтобы убедиться в этом, достаточно сделать подстановку в формулу; при этом коэффициент будет равен единице. Виброизоляция будет тем полнее, чем меньше β_1 . Отношение частоты возмущающей силы к частоте собственных колебаний обычно принимается:

$$\frac{w_0}{w} \geq \sqrt{2} \quad (3.23)$$

В технических расчетах отношение частот $\frac{w_0}{w}$ должно быть не менее 2,5, так как при меньшем значении виброизоляция мало эффективна, а при $\frac{w_0}{w} < 1,41$ вибрация может даже возрасти, поскольку режим работы будет приближаться к резонансному режиму. Пружинные амортизаторы обычно применяются в случае, если $\frac{w_0}{w} \geq \sqrt{2}$. Для режимов $\frac{w_0}{w} \geq \sqrt{2}$ целесообразно использование гидравлических или резиновых амортизаторов.

Одним из наиболее эффективных средств снижения вибраций бурильной колонны при бурении является антивибрационная смазка.

Применение смазки снижает расход электроэнергии и производственные шумы при работе бурового станка.

Выбор смазочных материалов, предназначенных для нанесения на бурильные трубы, определялся условиями работы бурильной колонны в скважине.

Однако чрезмерная вязкость смазки нежелательна по следующим причинам: вязкую смазку трудно приготовить и нанести на бурильные трубы, толщина смазочной пленки при вязкой смазке чрезмерна, поэтому затрудняется вращение снаряда и движение восходящего потока промывочной жидкости, при чрезмерно вязкой смазке неизбежен перерасход смазки или ее составляющих.

Применение смазки вызывает затруднения в зимний период времени, так как происходит её загустевание, что для условий работы ОАО «Алроса»

является неприемлемым, где разрез геологоразведочных скважин глубиной до 300 метров представлен неустойчивыми породами с категорией по буримости VI-VIII.

Эти проблемы в технологии бурения позволили разработать и внедрить высокоингибированный раствор с высокой смазывающей способностью (патент RU №2582197).

Опытные работы по влиянию высокоингибированного бурового раствора с высокой смазывающей способностью и обычного полимерглинистого раствора на уровень вибрации исследования при бурении скважин в Неклиновском районе Ростовской области.

Средние значение размахов колебаний, полученные при обработке виброграмм, показаны в таблице 2.6

Из таблица 2.6 видно, что размах продольных колебаний при бурении с раствором обладающим высоким уровнем смазки снижается в 1,3—1,5 раза, а размах поперечных — в 1,5 —2,1 раза.

Таблица 3.5. Влияние смазки раствора на величину продольных и поперечных колебаний

Условия бурения	Скорость вращения, об/мин	Продольная вибрация, мм	Поперечная вибрация, мм
С обычным глинистым раствором	237	0,4	0,9
	430	0,8	2,1
С высокоингибированным раствором с высокой смазывающей способностью (патент RU №25582197)	237	0,3	0,6
	430	0,5	1,0

В результате применения раствора с высокой смазывающей способностью бурение с высокими оборотами оказалось возможным до глубины 300 м., вместо 150 м., при бурении без смазки. Можно считать, что задача применения скоростей вращения снаряда до 430 об/мин с применением раствора с высокой смазывающей способностью полностью решена.

Конечно, не следует рассчитывать, что смазка во всех случаях будет обеспечивать надежное снижение вибрации. При большой разнице в диаметрах бурильных труб и скважины даже весьма вязкая смазка может дать лишь частичное поглощение энергии колебаний. Это объясняется тем, что полное гашение вибраций возможно только для тех колебаний, размах которых соизмерим с суммой толщин смазочного слоя на стенках скважины и бурильных труб. Поэтому при уменьшении зазоров в скважине эффективность смазки резко возрастает.

До сих пор в расчетах мы не полностью учитывали вращение бурильной трубы. Рассмотрим, в каких случаях образуется масляный клин при работе бурильных труб в скважине. Таких случаев возможно три. Первый случай — при вертикальной вибрации, когда изогнутая колонна труб оказывается прижатой к стенке скважины под некоторым углом φ_1 величина которого зависит от размеров скважины, труб и длины полуволны бурильной трубы.

Второй и третий случаи имеют место при вращении колонны труб в скважине либо вокруг собственной оси, либо вокруг оси скважины.

Первый случай можно отождествить с задачей о движении ползуна, полностью решенной в гидродинамической теории смазки. Опыт показывает, что частота продольной вибрации бурильных труб при бурении невелика, следовательно, и скорость продольных перемещений трубы сравнительно небольшая.

Поэтому гидродинамические давления, развивающиеся в клиновом зазоре, не могут быть большими и их можно не учитывать.

Второй случай возможен, если труба вращается вокруг собственной оси и если она прижата к стенке скважины. Для сечения скважины правиль-

ной формы, вследствие большой разницы в кривизне сечений труб и скважины, длина дуги смазочного слоя будет ничтожной, поэтому в слое смазки не приходится ожидать больших гидродинамических давлений.

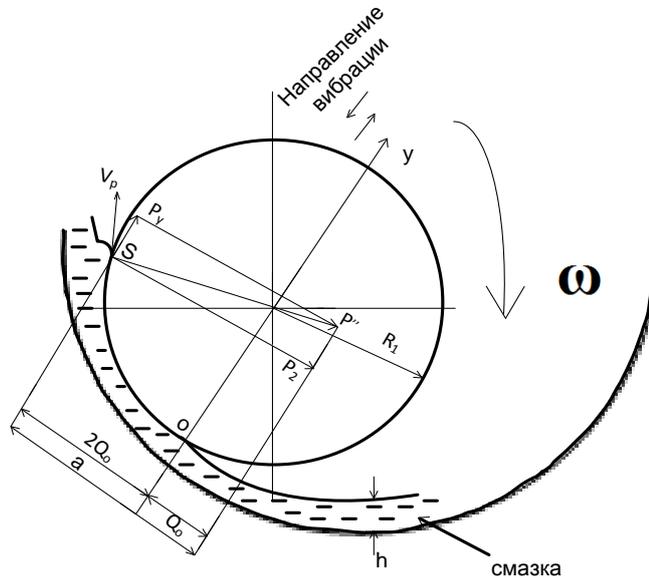


Рисунок 3.26. Образование клинового зазора

Третий случай возможен только на участке скважины, имеющей сечение правильной круглой формы. Известно, что при определенных условиях бурильная или колонковая труба могут вращаться вокруг оси скважины. При этом впереди бурильной трубы образуется клиновидный зазор, в котором возможно появление избыточного давления.

Образование клиновидного зазора при продольной вибрации в слое раствора с высокой смазывающей способностью при вращении бурильных труб вокруг оси скважины показано на рисунке 2.27

В гидродинамической теории смазки при расчете избыточного давления p_3 применяется следующее уравнение [128]:

$$p_3 = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} p \, dz \, dx \quad (3.24)$$

Где a , b – размеры площадки касания; p – удельное давление, определяемое уравнением:

$$\frac{dp}{dz} = 6\mu v_{\text{л}} \frac{(h-h_m)}{h^3} \quad (3.25)$$

Здесь $v_{\text{л}}$ – линейная скорость вращения трубы; h – толщина смазочной пленки в произвольном сечении с координатой z ; h_m – величина зазора в сечении максимального давления.

Пусть R_1 — радиус трубы; p_y , p_z — составляющие гидродинамического давления p ''.

Вектор избыточного давления p '' проходит через центр трубы и приложен в точке s , координата которой определяется:

$$z_s = - \frac{p_z R_1}{\sqrt{p_z^2 + p_y^2}} \quad (3.26)$$

Составляющие гидродинамического давления p_z и p_y вычисляются по формулам, полученным С.М. Тарг для случая скольжения цилиндра по слою вязкой жидкости [128]:

$$p_z = 10,8 \frac{\mu v_{\text{л}} b a_0^5}{2 R_1^2 h^3} \quad (3.27)$$

$$p_y = 13,5 \frac{\mu v_{\text{л}} b a_0^4}{2 R_1 h^3} \quad (3.28)$$

где $a_0 = \frac{1}{3} a$.

Давление p_z в расчетах можно не принимать во внимание, так как оно лишь незначительно препятствует вращению трубы и легко преодолевается.

При вращении колонны неизбежно возникает поперечная вибрация труб. Гидродинамическое давление p_p развивающееся в слое смазки при поступательном вибрационном движении трубы вдоль линии центров, в некоторый момент времени будет складываться с величиной избыточного давления, образуемого за счет вращения труб (p_z или p_y). Полное значение гидродинамического давления определяется следующим образом. При вращении трубы вокруг собственной оси $p_n = p_p + p_z$ - в случае вибрации трубы в момент касания стенки скважины: $p_n = p_z$ - при погашенной поперечной вибрации. При вращении трубы вокруг оси скважины: $p_n = p_p + p_y$ - при вибрации; $p_n = p_y$ — при погашенной поперечной вибрации. Силы p_z и p_y при вращении разделяют трущиеся поверхности трубы и скважины, способствуют возник-

новению условий полужидкостного и жидкостного трения. Снижение трения способствует стабилизации крутящего момента и, как следствие, снижению продольной вибрации.

Одним из факторов, уменьшающих вибрацию и, как результат, износ является правильно подобранная промывочная жидкость. Нами рассмотрены факторы, определяющие уровень противоизносных и смазочных свойств, дана оценка энергетической загрузки узлов трения – резец АТП – горная порода, работающих в среде бурового раствора.

Процесс промывки скважин на современном этапе развития техники и технологии бурения выполняет ряд таких важнейших функций, как гидродинамические, гидростатические, физико-химические, функции коркообразования и др. Первоочередность выполнения и значимость этих функций зависят от условий и целей бурения и, в соответствии с ними выбирается тот или иной промывочный или продувочный агент.

Всю совокупность технологических свойств буровых растворов можно объединить в пять групп: 1) реологические свойства; 2) плотность; 3) фильтрационные свойства; 4) химическая активность по отношению к разрушаемой породе; 5) противоизносные и смазочные свойства.

Введение в буровой раствор противоизносных и смазочных добавок изменяет его общетехнологические свойства. Регулирование последних также отражается на противоизносных и смазочных свойствах сред.

Показателями реологических свойств растворов являются вязкость и предельные статическое и динамическое напряжения сдвига. С повышением вязкости противоизносные свойства раствора ухудшаются, снижаются показатели работы коронок.

При регулировании структурно-механических свойств бурового раствора его противоизносные и смазочные свойства также могут изменяться. Это может быть следствием введения в раствор реагентов-структурообразователей, повышения содержания в нем шлама и растворенных солей, ухудшения его охлаждающей способности

С ростом содержания твердой фазы в буровом растворе увеличивается его плотность, как правило, возрастают и показатели реологических свойств.

Смазочная способность такого раствора проявляется в снижении сил трения коронки о горную породу на забое скважины, а противоизносные свойства – в снижении износа АТП и коронки в целом.

Основными характеристиками режима трения являются: удельное давление, скорость скольжения, условия смазки охлаждения. Обобщенным показателем режима трения для заданных условий охлаждения является удельная контактная мощность трения

$$N_{\text{уд.к}} = \rho v \varphi, \quad (3.29)$$

Где ρ – удельное давление; v – скорость скольжения; φ – коэффициент трения, характеризующий условия смазки.

С учетом выше изложенного перед нами была поставлена задача - разработать буровой раствор, обладающий высокими ингибирующими, фильтрационными коркообразующими, смазывающими, антиприхватными свойствами и обеспечивающего установление осмотического равновесия, либо создание условий, когда осмос направлен из пласта в скважину. При этом водоотдача должна быть близка к 0 см³ за 30 минут, а коэффициент трения не более 0,1.(патент RU №2582197)

Постановленную задачу удалось решить за счет того, что предлагаемый буровой раствор содержит химреагенты при следующем соотношении компонентов(%): мраморная крошка - 5-10, полианионная целлюлоза - 2- 10, сульфанол - 2-5, хлористый калий - 2-5, метилсиликонат калия - 1-4 ацетат калия – 1,5-4 , бишофит - 2-5, феррохромлигносульфонат - 1-5, ГКЖ-11 - 2-5, барит - 0,5-5, пеногаситель - 0,5-1, жидкая фаза - остальное, причем жидкая фаза включает отходы растительного масла и воду в соотношении мас. % 55/45 - 80/20. Технический результат этого раствора - улучшение крепящих, смазочных и антиприхватных свойств бурового раствора на углеводородной основе при одновременном уменьшении коэффициента трения буровой

колонны о стенки скважины, кроме того происходит, повышение ингибирующей и гидрофобизирующей способности фильтрата раствора и, как результат, - отсутствие образования желобов и дифференциальных прихватов в стволе скважины. Улучшение ингибирующего качества раствора возможно за счет повышения его крепящего действия. В механизме синергетического эффекта подтверждена составляющая доля действия каждого реагента. Достигается это за счет введения реагентов-ингибиторов набухания глин.

В качестве растительных масел могут использоваться отходы, получаемые при изготовлении соевого, подсолнечного, хлопкового, кукурузного, рапсового и других масел. Сульфнол выполняет функцию эмульгатора, который представляет собой синтетическое ПАВ, анионного типа в виде порошка, хорошо растворимое в воде, образующее прочную эмульсию. Мраморная крошка является структурообразователем. Полианионная целлюлоза (ПАЦ 85/700) является регулятором фильтрации. В качестве пеногасителя чаще всего используется пента 465. Барит, как утяжелитель, применяется в количестве от 0,5% до 10%.

Предложен комплексный по свойствам, многокомпонентный, высокомолекулярный ингибирующий раствор, обладающий очень высокими смазывающими, фильтрационными, крепящими свойствами с качественными реологическими параметрами. Предлагаемый буровой раствор готовится непосредственно в полевых условиях, на имеющемся оборудовании. Все необходимые химреагенты предварительно завозятся на буровую. Сначала готовится раствор из мраморной крошки -CaCO_3 и воды, которая обрабатывается полианионной целлюлозой - ПАЦ 85/700. Все остальные химреагенты вводятся в растворомешалку с постоянным перемешиванием. Порядок загрузки химреагентов следующий: - продукт переработки растительного масла, хлористый калий (KCl), феррохромлигносульфонат (ФХЛС), ацетат калия (CH_3COOK), метилсиликанат калия- (CHSiOK) , бишофит - $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость ГКЖ-11, сульфнол- $\text{C}_{18}\text{H}_{29}\text{NaO}_3\text{S}$, пеногаситель- пента 465, барит- BaSO_4 .

Одним из основных условий сохранения устойчивости стенок скважины является обеспечение минимально возможного показателя фильтрации до $0 \text{ см}^3/30 \text{ мин}$. Это условие выполняется с помощью полианионной целлюлозы. Установлено, что основную роль в интенсификации процесса разупрочнения глин играет не исходная влажность, а насыщение фильтратом бурового раствора под действием репрессии на пласт. Поглощение фильтрата бурового раствора происходит не столько под действием перепада давления в системе скважина-пласт, сколько в результате физико-химического воздействия - развивающегося в самой глинистой породе. Наиболее оптимальным, с точки зрения устойчивости стенок скважины, являются случаи, когда в системе скважина-пласт устанавливается осмотическое равновесие, либо осмос направлен из пласта в скважину. Несмотря на то, что в случае действия осмоса из пласта в скважину происходит изменение показателей бурового раствора, гораздо легче управлять ими и поддерживать их в заданных пределах, чем бороться с осложнениями уже после дестабилизации ствола скважины. Следовательно, устойчивость глин будет зависеть от правильно выбранной композиции химреагентов и, в первую очередь, от ингибирующего состава реагентов. Это и есть основная задача, требующая решения.

Выполненные лабораторные исследования позволили установить, что применение шести именно таких ингибиторов набухания глин одновременно в одном растворе позволило добиться синергетического эффекта, т.е. усиливается ингибирующая составляющая промывочной жидкости, при этом каждый реагент, дополняя друг друга, усиливает крепящие свойства бурового раствора. Комплекс - реагентов работает лучше, чем каждый компонент в отдельности. Кроме того, за счет подбора химреагентов в таком составе, происходит вытеснение натриевых катионов из глинистых отложений, натриевая глина переходит в кальциевую, а это так же несет ингибирующую функцию, способствуя снижению гидратации и набухания, уменьшая выпучивание, текучесть, обвалы и осыпи пород в стволе скважины.

Преимущество раствора разработанной рецептуры заключается в том, что в результате взаимодействия его с исследуемыми глинами концентрация ионов K^+ возрастает от 800 до 1200 мг/л ионов. А это приводит к дополнительному улучшению раствора и свидетельствует о том, что осмотический процесс направлен из пласта в скважину при сравнительно невысоком значении изотонического коэффициента: ($k_{i\text{ ср}} = 1,31$). Наличие в растворе ионов калия и магния способствует значительному росту изотонического коэффициента до 4,7. Таким образом, происходит увеличение количества осмотических активных частиц в растворе вследствие диссоциации раствора.

Применение такой системы раствора позволяет успешно сооружать скважины глубиной до 300 м на участках, представленных неустойчивыми, высокопластичными глинистыми отложениями, с чередованием горных пород от II до IX категории по буримости

Оптимальным является буровой раствор № 8 имеющий параметры: плотность - 1,22 г/см³, вязкость - 40 с, водоотдача 0 см³ за 30 мин, коэффициент трения - 0,06. (таблица 2.7).

Предлагаемый раствор обладает очень высокими ингибирующими свойствами, нулевой фильтрацией, имеет улучшенные структурно-реологические, антиприхватные и природоохранные свойства для осложненных условий бурения. Экспериментально подтверждено явление синергетического эффекта при комплексной обработке бурового раствора несколькими реагентами - ингибиторами.

При бурении разведочных скважин на площадях работы Ростовской буровой компании и ОАО «Алроса» доказано улучшение крепящих свойств раствора за счет синергетического эффекта от действия предлагаемых компонентов. Применение этого раствора позволяет успешно сооружать разведочные скважины глубиной до 300 метров в условиях работы ОАО «Алроса» и Ростовской буровой компании где в разрезе встречаются высокопластичные глины и самодиспергирующие сланцы.

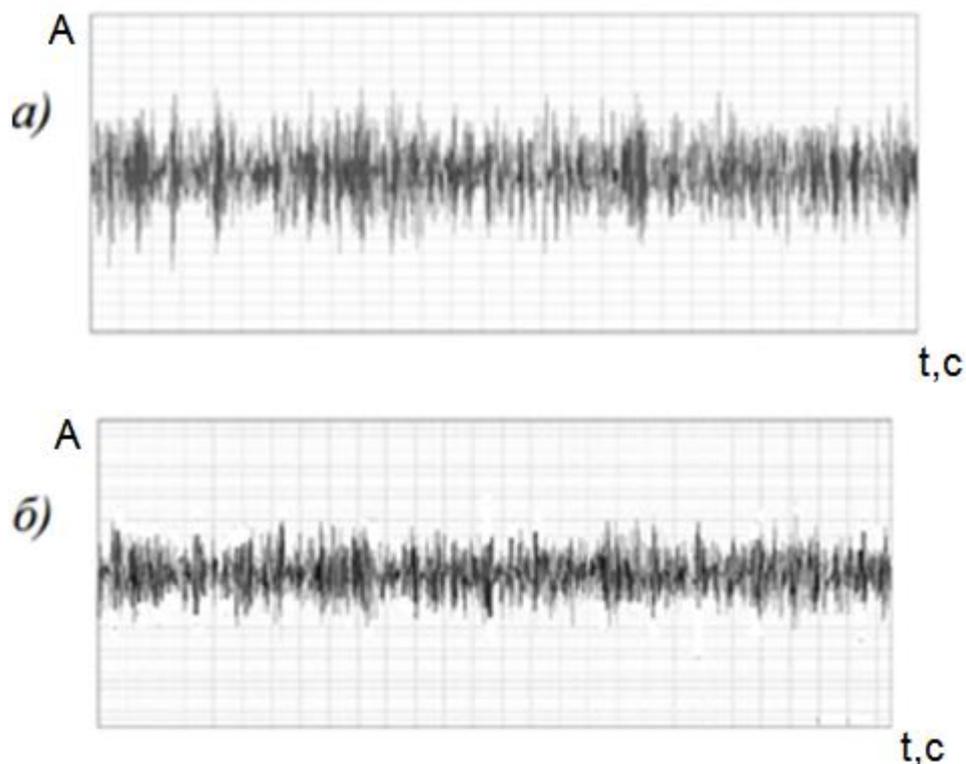
Таблица 3.6 - Состав буровых растворов

Состав химреагентов		Раствор №1	Раствор №2	Раствор №3	Раствор №4	Раствор №5	Раствор №6	Раствор №7	Раствор №8
CaCO ₃ - Мраморная крошка		5,0	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	9,0	10
ПАЦ 85/700 -Полианионная целлюлоза		5,0	6,0	6,5	7,0	7,0	8,0	9,0	10
KCl- Хлорид калия		1,5	2,0	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5
ФХЛС- феррохромлингосульфат		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5
CH ₂ SiO ₃ K- метилсиликонат калия		1,0	2,0	2,0	2,5	3,0	3,5	3,5	4
CH ₃ COOK-ацетат калия		1,5	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	4
MgCl ₂ 6H ₂ O- бишофит		2,0	2,0	2,5	2,0	3,5	4,0	4,0	5
C ₁₈ H ₂₉ NaO ₃ S - Сульфонол		2,0	2,0	2,5	3,0	3,0	4,5	4,5	5
ГКЖ-11- гидрофобизирующая крем- нийорганическая жидкость		2,0	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0	5
Пеногаситель- Пента- 465		0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
BaSO ₄ -Барит		0,5	1	1	2	2	3	4	5
Жидкая фаза – остальное Масло/вода		55/45	60/40	65/35	65/35	70/30	75/25	75/25	80/20
Параметры раствора	плотность, г/см ³ (ареометр)	1,16	1,18	1,19	1,20	1,20	1,21	1,21	1,22
	вязкость, с (СПВ-5)	30	32	33	34	35	36	37	40
	водоотдача, см ³ /30мин (ВМ-6)	3,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,0	0,5	0
	Коэффициент трения (КТК-2)	0,15	0,14	0,17	0,12	0,12	0,08	0,09	0,06

Экспериментально подтвержден синергетический эффект действия компонентов раствора - комплекс реагентов работает лучше, чем каждый компонент в отдельности. Предлагаемый состав нового раствора, обладает высокой ингибирующей способностью, способствует замедлению процесса гидратации и набухания глинистых отложений. Предложенное сочетание реагентов позволяет раствору успешно предупреждать, приостанавливать и подавлять деформационные процессы в околоствольном пространстве скважины, уменьшает кавернозность. Показано, что предлагаемый раствор обладает улучшенными смазывающими и антиприхватными свойствами при существенных энергосберегающих показателях и достаточном уровне экологической безопасности всех добавок, при этом уменьшается риск дифференциальных прихватов, улучшается реологический профиль скоростей промывочной жидкости в кольцевом пространстве и повышается стабильность эмульсии. Предложенный буровой раствор на углеводородной основе с высокими ингибирующими, фильтрационными и смазывающими свойствами, имеет параметры: фильтрация раствора - 0 см³/за 30 минут, липкость корки равна 0, коэффициент трения меньше 0,1, толщина корки меньше 0,5 мм, отношение масло/вода в % составляет 80/20, плотность раствора от 1,1 до 1,2 г/см³, условная вязкость по СПВ-5 - 35-40 секунд, пластическая вязкость - 20-40 мПа·С, СНС 1/10 минут - 15-20/20-30 дПа, содержание песка меньше 0,5%, содержание Ca⁺⁺ больше 16000 мг/л, содержание СГ больше 30000 мг/л.

Выполнение исследования с применением раствора с высокой смазывающей способностью позволили установить, что частота и амплитуда вибраций увеличивается пропорционально числу оборотов. На виброграмме (рисунок 3.27) также видно, что через определенные интервалы, характерные для конкретных условий (физико-механических свойств породы, параметры коронки, кинематика вращения, разница в диаметре коронки и буровых штанг, режимы бурения и т.д.) в буровой системе возникают про-

дольные и поперечные колебания, характеризующиеся увеличением амплитуды до 2^x раз.



t- время вибрации, A- амплитуда вибраций

Рисунок 3.27 Виброграммы при бурении коронками 112СА-4 и 112 АТП.
 а- коронка типа 112 СА-4 с применением обычного, малоглинистого бурового раствора. б- стабилизирующая, антивибрационная буровая коронка с применением бурового раствора с высокой смазывающей способностью

Вибрационные исследования производились на приборе записи и анализа вибрационных сигналов BD-1842F/1852. Устройства BD-1842F/1852 работают совместно с персональным компьютером, на который передаются полученные с датчиков вибрации данные и производится их обработка. Большой динамический диапазон устройств BD-1842F/1852 позволяет работать с вибрационными сигналами любой величины без необходимости регулировать усиление измерительного тракта в процессе измерения, что предотвращает потери данных при измерении вибрации.

Обобщая выполненные исследования по борьбе с вибрацией необходимо сделать следующие выводы:

1. Из трех типов вибраций – поперечной, крутильной и продольной – последняя является самой значимой.

2. Поперечные колебания могут появиться в случае, если шпиндель бурового станка или ведущая труба плохо отцентрированы, а в комплекте бурового снаряда отсутствуют УБТ.

3. Поперечная вибрация бурильных труб возникает также за счет продольного изгиба труб и центробежных усилий, возрастающих пропорционально квадрату угловой скорости вращения. Центробежные усилия при вращении бурильных труб вызваны неуравновешенностью бурильного вала, смещением центра тяжести бурильных замков от оси скважины вследствие неправильного изготовления замков и резьбовых соединений, а также из-за разностенности и овальности труб.

4. Механическая скорость бурения возрастает на 40% в случае применения антивибрационной коронки, армированной АТП, в комплекте с УБТ, вибрационного амортизатора и бурового раствора с высокой смазывающей способностью.

5. Работа бурильной колонны в растворе с высокой смазывающей способностью является одним из эффективных способов снижения поперечной вибрации коронок. Наличие в растворе достаточного количества смазки способствует уменьшению силы трения бурильной колонны о стенки скважины и снижению затрат энергии потребляемой при бурении.

Выполненные работы позволили сделать следующие выводы.

1. Предложена оптимальная конструкция коронок, не имеющих аналогов в мире, с “агрессивным” вооружением режущей части - большим выступом, оптимальными углами установки АТП и возможностью их замены.

2. Данные коронки изготавливаются классическим способом. Их геометрия и схема установки АТП на корпусе позволяет работать инстру-

менту в более стабильном режиме. Пластина АТП крепиться на корпусе коронки, как с помощью пайки, так и механическим путем, что позволяет в случае выхода из строя быстро её заменить.

3. Гидродинамический анализ работы коронок, армированных АТП, позволил внести изменения в их конструкцию, что позволило улучшить очистку забоя от шлама, охлаждение резцов, усилить турбулентность потока промывочной жидкости.

4. Впервые при бурении геологоразведочных скважин для буровых инструментов режущего типа, армированных АТП, по экспериментальным данным обоснован выбор рабочих передних и задних углов.

5. При выборе рабочих передних и задних углов ПРИ, армированных АТП, определяющим является уменьшение усилия резания и уменьшения прироста площадки затупления, предупреждение посадки режущих элементов на заднюю грань.

6. Скважинообразующую АТП (первую по счету) необходимо устанавливать на корпусе коронки с передним отрицательным углом 15° и углом поворота в плоскости торца, между проекциями радиуса коронки и продольной оси, равным 15° .

7. Кернообразующую АТП (третью по счету) необходимо устанавливать на корпус коронки с передним отрицательным углом 15° и углом поворота в плоскости торца, между проекциями радиуса коронки и продольной оси, равным 15° .

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

9. 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.

10. Преимущество данной пластины состоит в том, что она в процессе работы не меняет контактную площадь режущего элемента (резца) с забоем скважины, самозатачивается и имеет до 30% отработку алмазного слоя.

11. Внедрение в практику буровых работ стабилизирующих, анти-вибрационных буровых коронок и бурового раствора с высокой смазывающей способностью способствует уменьшению вибраций, увеличению механической скорости бурения и проходки.

12. Разработанные конструкции позволяют повысить ремонтпригодность коронок, армированных АТП, и, в конечном счете, добиться увеличения коммерческой скорости бурения. Коронки представляют большой интерес для отрасли и требуют проведения дальнейших исследований по конструкции и технологии применения.

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ БУРОВЫХ КОРОНОК, АРМИРОВАННЫХ АТП.

4.1 Анализ современных методов повышения прочностных свойств буровых резцов.

Известно, что при проводке скважин огромные материальные затраты приходится на буровой инструмент, следовательно, создание новых и усовершенствование существующих конструкций, а также технологий их применения является приоритетным направлением. Многие научно-производственные организации, а также видные ученые занимались и занимаются разработками перспективных способов упрочнения породоразрушающего инструмента, а также ресурсосберегающими технологиями.

Эффективность бурения скважины в различных геолого-технических условиях в значительной степени зависит от эксплуатационных показателей ПРИ, к которым относятся углубка на коронку, механическая скорость бурения, расход твёрдых сплавов и алмазов. Эксплуатационные показатели в значительной степени определяются износостойкостью материалов, из которых изготавливается инструмент. Наиболее перспективным направлением увеличения износостойкости ПРИ является снижение интенсивности его изнашивания за счёт повышения качества используемых материалов. Модификация физико-механических свойств твёрдых сплавов и композиционных материалов может быть реализована воздействием на них различными физическими способами. Анализ классификации способов упрочнения металлов и сплавов, разработанной по признаку «глубина упрочнения», показал, что практический интерес для упрочнения ПРИ, работающего в условиях абразивного износа, представляют способы объёмного упрочнения. Наиболее перспективными из них представляются криогенная обработка и в дальнейшем воздействие различными физическими полями, поскольку они позволяют производить упрочнение материалов на значительную глубину, являются доступными, достаточно простыми, не требуют сложного оборудования и капитальных затрат. Кроме того, эти способы

позволяют упрочнять уже изготовленный инструмент любой конфигурации.

Значительные результаты в области упрочнения ПРИ получены в ВИТР, ТулНИГП, ИСМ НАН Украины, Томском политехническом университете, а также учеными: С.Я. Рябчиковым, Л.К. Горшковым, В.И. Власюком, В.И. Спириным, А.И. Осецким, С.Н. Аракчеевым, И.А. Барабановой, Е.А. Кривонос, Ю.Е. Будюковым, К.И. Борисовым, А.Ю. Козлюком, С.Н. Аракчеевым, С.Е. Сухоруковой В.В. Кубасовым и др.

Установлено, что криогенная обработка инструментальных материалов - быстрорежущих сталей и твердых сплавов ведёт к увеличению стойкости режущих элементов из-за повышения механических характеристик таких материалов. Криогенная обработка закаленных быстрорежущих сталей, является дополнительным их отпуском, сопровождается переходом остаточного аустенита в мартенсит с соответствующим измельчением микроструктуры [131].

Обработка алмазных буровых коронок жидким азотом (криогенная обработка) впервые произведена сотрудниками Томского политехнического института. Рябчиковым С.А., Сулакшиным С.С. и другими. В ходе эксперимента было установлено, что ресурс буровых коронок, прошедших криогенную обработку, увеличивается в 1,4 – 2,2 раза, а механическая скорость бурения в 1,3 – 1,5 раза. Криогенная обработка выполнялась применительно к обычным алмазным коронкам. [131].

Благодаря развитию технологий изготовления и упрочнения материалов, на сегодняшний день износостойкость производимого серийно ПРИ можно увеличить в несколько раз, по сравнению с ранее выпускаемым инструментом. Проходка на коронку может достигать, в зависимости от геолого-технических условий, нескольких сотен метров. Однако и этот инструмент имеет огромные резервы для совершенствования его прочностных свойств.

По мнению С.Я. Рябчикова упрочнение коронок при воздействии хо-

лодом осуществляется за счет термического удара в области низких отрицательных температур, в них происходят заметные структурные преобразования: снимаются полностью или рассредотачиваются суперпозиционные поля напряжений, создается равномерное объемное напряженное состояние сжатия, повышается концентрация дислокаций, происходит дробление блоков мозаики.[139]

Известно, что прочность и износостойкость твердых сплавов в значительной степени зависят от их структуры. Воздействуя целенаправленно на структуру различными способами, можно улучшить прочность, и износостойкость исследуемых материалов. Практически все физические свойства твердых тел определяются взаимным расположением, характером взаимодействия и интенсивностью движения атомов кристаллической решетки и свободных электронов. При низких отрицательных температурах происходят радикальные изменения свойств материалов. Состояние твердых тел при этом характеризуется малой энергией частиц, пониженным значением энтропии. Однако такое состояние имеет место только тогда, когда система (например, образец твердого сплава) принимает температуру окружающей среды (например жидкого азота -196°)

Криогенная обработка позволяет производить объемное упрочнение твердосплавного и алмазного породоразрушающего инструмента. Механизм упрочнения и твердосплавного, и алмазного породоразрушающего инструмента при термическом ударе в области низких отрицательных температур обусловлен изменением тонкой кристаллической структуры твердых сплавов и композиционных материалов за счет пластической деформации кобальтовой или иной другой связки в локальных областях по периметру включений (карбид вольфрама, алмазы, релит и др) и имеет субструктурный характер [137]. Объемное упрочнение алмазно-твердосплавного породоразрушающего инструмента методом криогенной обработки в сочетании с внешним воздействием различными физическими и другими полями способствует повышению его прочности. Одним из спо-

собою повышения износостойкости бурового инструмента, получившим широкое распространение в последнее время, является обработка глубоким холодом в среде жидкого азота. Обработка холодом в цикле термической обработки быстрорежущей стали известна давно. Начиная с 1930 года металловеды многих стран изучали вопросы кинетики превращения аустенита в мартенсит при температурах ниже нуля с целью улучшения свойств стали. В 1937 году А.И. Гуляев поставил вопрос о целесообразности применения обработки холодом инструментальных сталей. В своей работе он показал, что охлаждение быстрорежущей стали до отрицательных температур вызывает дополнительное превращение остаточного аустенита в мартенсит. Обработка холодом нашла большое практическое применение, как в нашей стране, так и за рубежом. Однако теоретические вопросы, касающиеся кинетики превращения аустенита при обработке холодом, недостаточно изучены, и вопросы практического применения не получили известной технологической законченности. [131]. В 1976 г. кандидатом технических наук Е.С. Жмудь предложен метод обработки инструмента мгновенным погружением в охлаждающую среду, позволяющий повысить его стойкость в 3 и более раз [129]. Обработка инструмента ударом холода производится путем погружения инструмента в среду жидкого азота с температурой минус 196°С на 10-15 минут.

В настоящее время для изготовления режущих инструментов применяются углеродистые инструментальные, легированные, быстрорежущие стали, металлокерамические твердые, керамикометаллические сплавы (кермиты), минералы, природные и синтетические сверхтвердые материалы (таблица 4.1)

Наибольшую прочность при изгибе и ударную вязкость имеют быстрорежущие стали. Это обеспечивает высокую формоустойчивость режущих кромок, что важно для фасонных инструментов сложной формы. Однако низкая теплостойкость не позволяет вести обработку инструментом из быстрорежущих сталей с достаточно высокой производительностью.

Таблица 4.1 Физико-механические свойства инструментальных материалов

Свойства	Инструментальные материалы					Алмазы	Кубический нитрид бора (эльбор)
	Легированные инструментальные стали	Быстрорежущие стали	Твердые стали	Кермиты	минералокерамика		
1	2	3	4	5	6	7	8
Плотность (кг/м ³)-10 ³	7,8	8-8,8	8,0-15,0	4,4-4,7	3,6-4,0	3,5	3,5
Твердость по Роквеллу	HRA 58-62	HRA 65-70	HRA 88-90	HRA 90-92	HRA 91-94	-	-
Микротвердость по Виккерсу, МПа	-	-	(13-14)10 ³	-	23·10 ³	1·10 ⁵	(8-10)·10 ⁴
Предел прочности при изгибе, МПа	2500	2000-	750-	300-	250-600	300	300
Предел прочности при сжатии, МПа	3000	2500-4000	3500-5900	2600-2800	1300-3000	2000-6000	-
Теплостойкость, С ⁰	260-300	600-700	800-1000	-	1200	700-800	1400-1500

Высокой теплостойкостью и твердостью, достаточной прочностью обладают твердые сплавы, что обеспечивает их широкое использование для режущих инструментов, но в ряде случаев из-за низкой ударной вязкости и ряда технологических особенностей обработки применение твердых сплавов для изготовления инструментов сложной формы ограничено или невозможно. Алмазы и кубический нитрид бора имеют минимальное температурное удлинение, высокую твердость и теплопроводность. Применение минералокерамики ограничивается ее хрупкостью, вызванной низкой ударной вязкостью и высокой чувствительностью к тепловому удару из-за низкой теплопроводности. Более благоприятными характеристиками обла-

дают кермиты.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт бурения скважин коронками около 50% случаев остановки технологического процесса происходит в связи с интенсивным износом породоразрушающего инструмента, поэтому выбор материалов для инструмента является достаточно важной задачей.

В настоящее время проблема повышения эффективности буровых работ при поисках и разведке месторождений твердых полезных ископаемых является актуальной. В рамках этой проблемы была поставлена задача, заключающаяся в сведении к минимуму производственных издержек, связанных с недостаточно высоким ресурсом породоразрушающего инструмента (ПРИ). Соответствие физико-механических свойств разбуриваемых пород: режимные параметры бурения (частота вращения инструмента, осевая нагрузка, интенсивность очистки забоя), качество и свойства используемого очистного агента, конструктивные особенности коронок и свойства горных пород оказывают существенное влияние на ресурс ПРИ. Однако определяющим фактором является его износостойкость - способность инструмента противостоять изнашиванию в процессе разрушения горной породы. Износостойкость ПРИ определяется качеством (физико-механическими свойствами) материалов, из которых изготовлен инструмент, в связи с чем можно выделить два пути решения проблемы - создание новых материалов, значительно превосходящих по свойствам современные, и модификация существующих. Создание новейших сверхпрочных материалов должно сопровождаться рядом научных открытий, к которым научно-технический прогресс, к сожалению, еще нас не подвел. А вот в области упрочнения существующих материалов за счет модификации их свойств уже были достигнуты определенные успехи, которые можно использовать в дальнейших исследованиях. Практически все физические свойства твердых тел в конечном счете определяются взаимным расположением, характером взаимодействия и интенсивностью движения атомов

кристаллической решётки, а также поведением свободных электронов. В связи с чем, существенное изменение свойств изготовленных твердых сплавов и композиционных алмазосодержащих материалов (КАМ) можно реализовать воздействуя на его структуру.[140]

Необходимо учитывать то обстоятельство, что при изготовлении инструмента могут существенно изменяться свойства исходных материалов. Так, например, пайка, сварка, плавление существенно повышают внутренние напряжения в твердом сплаве и в КАМ. Из этого следует, что целесообразно проводить упрочнение готового инструмента, а не его отдельных рабочих элементов до сборки. Способы поверхностного упрочнения металлов и твердых сплавов не нашли применения в практике упрочнения ПРИ в связи со спецификой его работы (абразивный износ, динамические, знакопеременные нагрузки и т.д.). Положительный эффект от упрочнения поверхностного слоя рабочих элементов ПРИ безусловно проявляется, но на непродолжительное время. С износом упрочненного слоя, физико-механические свойства ПРИ возвращаются к своим исходным значениям. Сопоставив затраты (стоимость, трудоемкость изготовления) и ее эффективность можно сделать вывод, что применять такие способы не рентабельно. Большой практический интерес представляют объемные способы упрочнения металлов и твердых сплавов. Автором дополнена классификация объемных способов упрочнения ПРИ предложенная Рябчиковым С.Я (рисунок 4.1) классификационным признаком которой является вид используемой энергии. [130].

Слабое воздействие ионизирующего излучения вызывает коренную перестройку кристаллов и резкое улучшение его физических свойств. Оказалось, что облучение гамма-квантами и электронами с поглощенной дозой ионизирующего излучения, превышающей 105 Дж/кг металлов и сплавов приводит не к накоплению дефектов (как считалось ранее), а наоборот, к их устранению и упорядочению структуры материала. Структурные изменения в твердом кристаллическом теле происходит за счет освобожде-

ния запасенной энергии в результате инициированных облучением цепных реакций между дефектами.

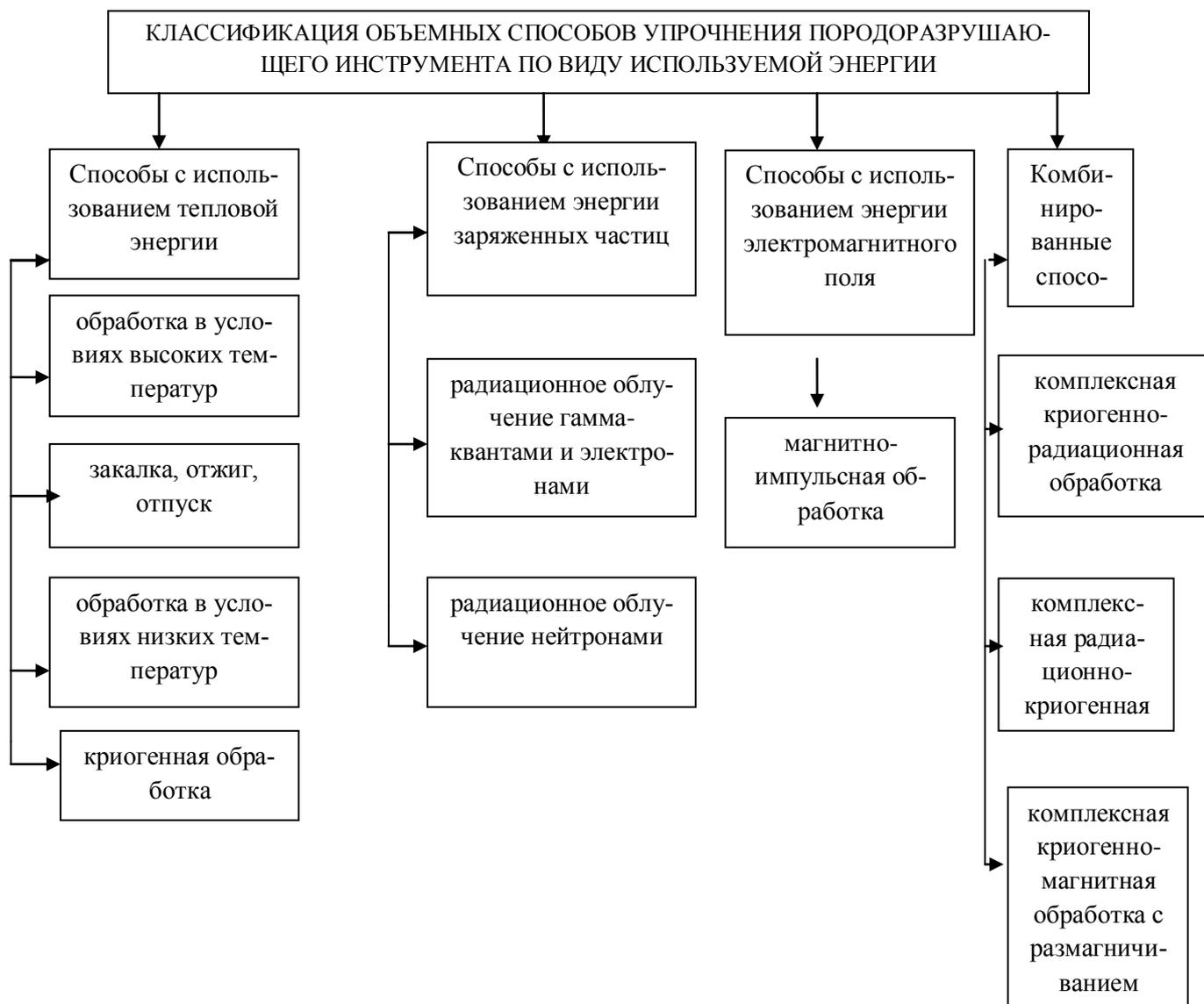


Рисунок 4.1. Классификация объемных способов упрочнения

Все способы объемного упрочнения ПРИ можно разделить на 4 группы – с использованием тепловой энергии (термическая обработка), энергии заряженных частиц, энергии электромагнитного поля и комбинированные способы. По характеру воздействия термическую обработку можно разделить на два вида: обработка в условиях высоких температур (закалка, отжиг, отпуск) и обработка в условиях низких отрицательных температур (криогенная обработка). Обработка в условиях высоких температур позволяет повысить ресурс некоторых твердосплавных инструмен-

тов в 1,2-2 раза. Однако такое упрочнение оказывает малое, либо вообще не оказывает влияние на некоторые материалы, в том числе КАМ, и имеет ряд недостатков (разрушение паяных швов, повышение хрупкости материалов, и т.д.), что в совокупности не позволяет применять такую обработку для упрочнения ПРИ. Криогенная обработка является более эффективным способом термического упрочнения алмазного и твердосплавного ПРИ, которая реализуется путем быстрого охлаждения (термического удара) обрабатываемого изделия. [130].

Процесс криогенной обработки осуществляется следующим образом: обрабатываемое изделие (ПРИ) быстро погружают в жидкость с низкой отрицательной температурой (обычно используют жидкий азот) на определенное время, в результате чего происходит «ударное» охлаждение изделия. Вследствие чего, происходит значительное изменение в структуре обрабатываемых материалов, приводящее к заметным изменениям физико-механических характеристик. Эффект упрочнения твердосплавного инструмента при термоударе обусловлен изменением тонкой кристаллической структуры твердого сплава за счет наклепа кобальтовой связки в локальных областях по периметру карбидных включений из-за большого различия в коэффициентах термического расширения. Этими же факторами можно объяснить повышение качества закрепления алмазов в матрице алмазного ПРИ [141].

Большой интерес для объемного упрочнения ПРИ представляет метод магнитно-импульсной обработки. Сущность такого упрочнения состоит в том, что при магнитно-импульсном воздействии вещество меняет свои физические и механические свойства. Улучшение свойств у ферромагнитных материалов, прошедших магнитно-импульсную обработку, достигается за счет направленной ориентации внешним полем свободных электронов вещества, вследствие чего увеличивается его тепло- и электропроводность. Взаимодействие импульсного магнитного поля с ферромагнитным веществом тем интенсивнее, чем выше его структурная и энергетическая

неоднородность. После обработки ПРИ таким способом повышается его усталостная и общая прочность, уменьшаются остаточные термические напряжения все, это приводит к повышению износостойкости ПРИ.

В группе комбинированных способов объемного упрочнения ПРИ можно выделить комплексную криогенную-радиационную обработку. В данном случае криогенная обработка рассматривается как низкотемпературная закалка, а облучение малыми дозами гамма-квантов - как радиационный отпуск. Комплексная криогенно-радиационная обработка обеспечивает более высокую износостойкость ПРИ по сравнению этими же способами, применяемыми по отдельности [139].

Таким образом, проанализировав существующие методы упрочнения ПРИ, можно обозначить несколько направлений для дальнейших исследований:

- исследование влияния исходной температуры обрабатываемого материала перед криогенной обработкой на эффективность его упрочнения,
- влияние комплексной радиационно-криогенной обработки на ресурс ПРИ,
- исследование влияния криогенно-магнитной обработки на износостойкость ПРИ.

Известно, что при обработке инструмента из быстрорежущей стали его ресурс повышается в несколько раз. Это дает теоретические предпосылки для проведения экспериментальных исследований, на коронках, армированных АТП.

Известно, что коронка, армированная АТП, работает в режуще-истирающем режиме. При бурении легких и средних пород коронка работает как режущий инструмент, срезая породу, встречая твердые и крепкие прослойки, коронка работает в режиме истирания. Следовательно, наиболее эффективным методом разрушения породы является метод резания, несмотря на кажущуюся парадоксальность этого вывода, так как известно, что инструменты режущего типа, в настоящее время, имеют ограниченную

область применения. В основном все дело в том, что износ АТП при разрушении породы методом резания значительно интенсивнее, чем при истирающем режиме. [82]

Анализ выполненных работ показывает, что при создании породоразрушающего инструмента обычно не всегда учитывают функциональную взаимосвязанную систему трех основных составляющих, влияющих на эффективность взаимодействия пары «инструмент-порода». Под основными составляющими функциональной взаимосвязанной системы следует понимать конструктивное, структурное и технологическое решение по изготовлению, упрочнению и применению инструмента. Поэтому наибольший интерес вызывает в настоящее время упрочнение коронок, армированных АТП. Решению этих вопросов и посвящены следующие параграфы четвертой главы.

4.2. Теоретические исследования криогенно-магнитной технологии упрочнения буровых коронок.

Одним из основных факторов, влияющих на износостойкости инструмента при его упрочнении являются внутренние остаточные напряжения. Особый интерес в настоящее время заключается в решении проблемы снижения внутренних остаточных напряжений в породоразрушающем инструменте путем применения физических методов упрочнения, в частности воздействия жидким азотом (-196°C) с последующей обработкой в постоянном магнитном поле с напряженностью 320 кА/м. При этом в инструменте происходят значительные структурные изменения повышающие его твердость и износостойкость.

Сущность предлагаемой технологии упрочнения буровых коронок, армированных АТП, состоит в том, что до выполнения наших исследований были известны в отдельности метод криогенного и магнитного упрочнения, но совместные исследования никто не выполнял. [130,131,134,135,136,139]

Нами впервые предложено упрочнять буровые коронки последовательно, путем обработки их в криогенно-магнитном поле. На использование данной технологии упрочнение буровых коронок получен патент RU №2566523[136]

В настоящее время общее представление о теории криогенно-магнитного упрочнения отсутствует, а следовательно отсутствует и количественное описание процессов упрочнения буровых коронок, армированных АТП. В литературе изложены некоторые теоретические подходы по описанию происходящих с ПРИ явлений и процессов при воздействии на него отдельно магнитного поля и отдельно воздействия холодом. Интерпретация результатов экспериментов находится на уровне многочисленных гипотез и предположений.

Нами впервые предпринята попытка объяснить с точки зрения физики твердого тела явления и процессы, происходящие при криогенно-магнитном упрочнении. Исследования остаточных микронапряжений (главных и внутренних, а также структурных характеристик коронок до и после криогенно-магнитной отработки выполнялись в ЦКП “Нанотехнологии” ЮРГПУ (НПИ) методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре.

Криогенная обработка является одним из вариантов такого вида термической обработки как термоудар. Однако, физический механизм воздействия на свойства композиционного материала и технические характеристики буровых коронок как термоудара, так и его частного случая - криогенной обработки до настоящего времени остается дискуссионным. Не выявлен механизм формирования остаточных и внутренних напряжений в результате термоудара и его связь с изменением характеристик структурного состояния материала. Это ограничивает возможности применения термической обработки для изменения свойств материала буровых коронок, затрудняет подбор оптимальных режимов ее проведения.

Отсутствие теории по криогенно-магнитному способу упрочнения буровых коронок не позволяет обоснованно подойти к конструированию аппаратуры и разработке оптимальных режимов. Между тем, практика остро нуждается в помощи теории.

Сейчас, как и прежде, применение магнитной обработки в казалось бы, тождественных условиях часто приводит к различным результатам. Мы пока не умеем рассчитывать оптимальные условия обработки и автоматически их выдерживать. Не зная механизма происходящих явлений, нельзя найти действенные активаторы криогенно-магнитной обработки и тем самым прогнозировать области ее применения, а также усилить результативность работ. Попытка теоретической оценки этих явлений и установление их связи, а также разработка теоретического воззрения на механизм криогенно-магнитной обработки и является целью этой главы.

В работе [134] изложены основы теории и результаты экспериментальных исследований обработки ПРИ в магнитном поле. Приведены данные о влиянии магнитного поля на механизм и кинетику фазовых превращений при термической обработке стали, структурообразовании при закалке, отпуске, нормализации, рекристаллизационном отжиге. Содержатся сведения о результатах промышленного использования специализированного оборудования и технологии термической обработки в магнитном поле с целью повышения комплекса механических и эксплуатационных свойств деталей машин и инструмента.

В работе [134] проведенный анализ полученных данных говорит в пользу выдвинутой одним из авторов гипотезы, согласно которой увеличение стойкости магнитообработанного инструмента происходит в результате магнитоострикционного наклепа и магнитнодисперсного твердения быстрорежущей стали. Суть этой гипотезы сводится к следующему. Намагничивание быстрорежущего инструмента сопровождается магнитоострикционной деформацией и в соответствии с законом Гука - упругими напряжениями. Происходящее при этом изменение степени деформации кри-

сталлической решетки, обусловленной дислокациями, вызывает значительное увеличение их плотности. При быстром размножении дефектов, когда магнитоупругое взаимодействие дислокаций с междоменными границами нарушает условия равновесия и приводит к уменьшению доменов, инструмент претерпевает своеобразный наклеп, упрочняется. Магнитострикционный наклеп, в отличие от механического, представляет собой не столько поверхностное, сколько объемное упрочнение металла. Снять его, т.е. разупрочнить материал, можно, естественно, нагреванием, особенно циклическим.

По мнению Г.М. Гаврилова [142] упрочнение при намагничивании объясняется наклепом аустенита в результате анизотропной магнитострикционной деформации мартенситового монокристалла и является, как правило, обратимым в связи с протеканием релаксационных процессов. Выполненные нами исследования подтверждают вышеизложенное.

Как показывает выполненные экспериментальные исследования, время «памяти» обработанной в магнитном поле коронки и характер релаксационной зависимости имеют плавную, затухающую во времени кривую. Время релаксации определено опытным путем и составляет 26 часов. Опыты производились на аппарате с постоянными магнитами при напряженности 4 тыс. эрстед в течение 15 минут. Зависимость времени релаксации от эффективности магнитной обработки буровых коронок показана на рисунке. 5.2.

$$W = \frac{B - B_1}{B_1} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

где W - эффективность обработки, %, B и B_1 – соответственно напряженность коронок до и после магнитной обработки

Анализируя экспотенциальную кривую (рисунок 4.2) 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. Это указывает на то, что с течением времени эффективность предварительной обработки в магнитном поле будет все время уменьшаться и через некоторое время исчезнет совсем. Время существования аномальных свойств обработанного комплексным полем коронок (время «памяти» или время релаксации) является чрезвычайно важным, особенно при практическом использовании.

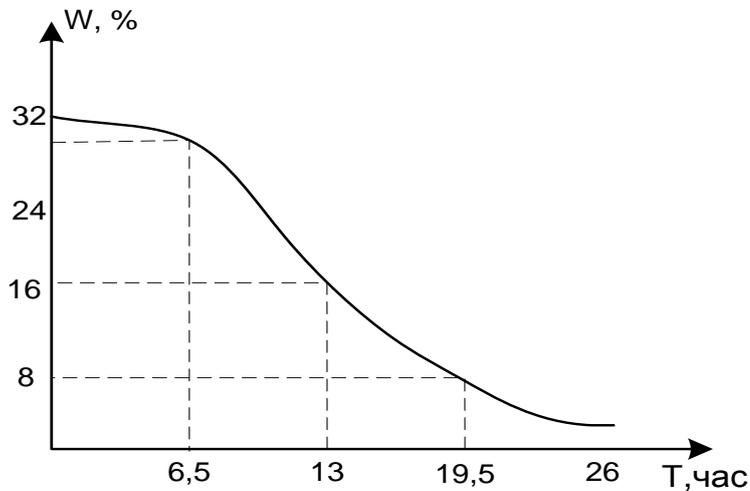


Рисунок 4.2 Зависимость эффективности магнитной обработки буровых коронок, армированных АТП, от времени релаксации при температуре 20⁰С

Неприменимость законов термодинамики равновесных процессов — основная трудность при создании теории криогенно-магнитного способа упрочнения ПРИ, это обстоятельство не может рассматриваться как непреодолимое препятствие. В течение нескольких минут коронка претерпевает значительные температурные и структурные изменения.

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. То есть проявляется новый механизм при упрочнении буровых коронок, армированных АТП. На рисунке 4.3 показаны векторные параметры магнитного поля диполя при омагничивании буровой коронки [156]. Где: H -напряженность магнитного поля, (H_x, H_y, H_z) - векторные компоненты напряженности, R - радиус-вектор, направление на точку; P - вектор магнитного момента диполя; φ - угол между радиус-вектором R и осью диполя; S, N - южный и северный полюса диполя; (x, y, z) - система координат диполя.

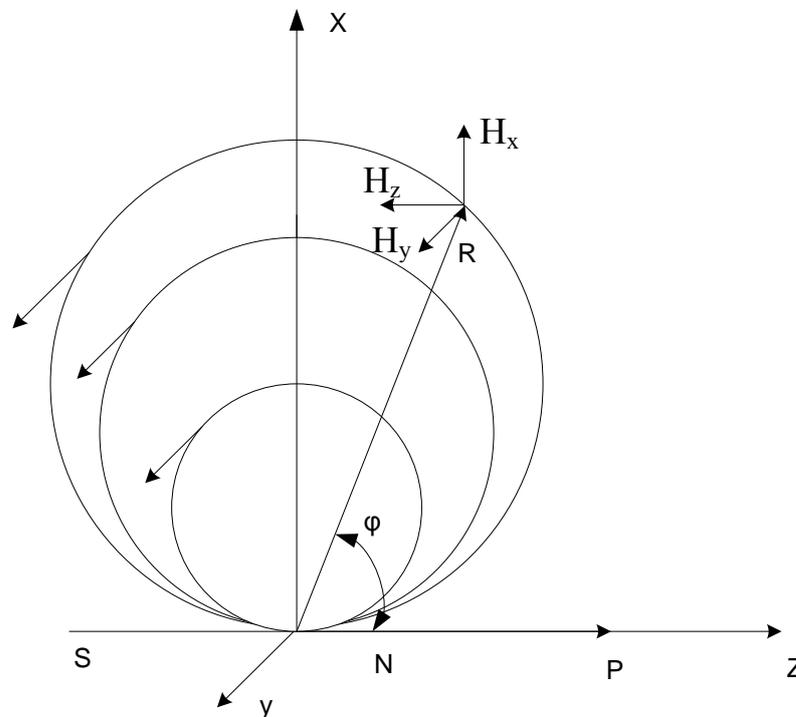


Рисунок 4.3 Векторные параметры магнитного поля диполя при омагничивании буровой коронки

Напряженность в любой точке постоянного магнитного диполя определяется по формулам:

$$\left. \begin{aligned} H_z &= \frac{P}{R^3} (3 \cos^2 \varphi - 1) \\ H_x &= \frac{3P}{R^3} Z X \\ H_y &= \frac{3P}{R^3} Z y \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

По магнитным свойствам все материалы подразделяются на парамагнетики, диамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики и ферриты. Принадлежность материала к тому или иному классу определяется характером отклика магнитных моментов электронов на магнитное поле в условиях сильных взаимодействий электронов между собой в многоэлектронных атомах и кристаллических структурах.

Диамагнетики и парамагнетики относятся к материалам со слабыми магнитными свойствами. Значительно более сильный эффект намагничивания наблюдается у ферромагнетиков. Существуют материалы, которые по магнитным свойствам относятся к антиферромагнетикам. У них оказывается энергетически более выгодным антипараллельное расположение спинов соседних атомов. Созданы антиферромагнетики, обладающие значительным собственным магнитным моментом из-за асимметрии кристаллической решетки. Такие материалы называются ферромагнетиками (ферритами). В отличие от металлических ферромагнитных материалов, ферриты – полупроводники и в них значительно меньшие потери энергии на вихревые токи в переменных магнитных полях. Магнитная восприимчивость (отношение абсолютных значений векторов намагниченности и напряженности поля) у таких материалов положительная восприимчивость и может достигать нескольких десятков тысяч. У ферромагнетиков образуются области самопроизвольной спонтанной однонаправленной намагниченности – домены. Ферромагнетизм наблюдается у кристаллов переходных металлов: железа, кобальта, никеля и у ряда сплавов.

При наложении внешнего магнитного поля с возрастающей напряженностью векторы спонтанной намагниченности, изначально ориентированные в разных доменах по-разному, постепенно выстраиваются в одном направлении. Этот процесс называется техническим намагничиванием. Он характеризуется кривой начального намагничивания - зависимостью индукции или намагниченности от напряженности результирующего магнитного поля в материале.

При относительно небольшой напряженности поля происходит быстрое возрастание намагниченности преимущественно из-за увеличения размеров доменов, имеющих ориентацию намагниченности в положительной полусфере направлений векторов напряженности поля. Одновременно пропорционально сокращаются размеры доменов в отрицательной полусфере. В меньшей степени изменяются размеры тех доменов, намагниченность которых ориентирована ближе к плоскости, ортогональной вектору напряженности.

При дальнейшем увеличении напряженности преобладают процессы поворота векторов намагниченности доменов по полю до достижения технического насыщения. Последующему возрастанию результирующей намагниченности и достижению одинаковой ориентации всех доменов по полю препятствует тепловое движение электронов. С увеличением температуры дезориентирующее тепловое движение усиливается и намагниченность вещества уменьшается.

Для конкретного ферромагнитного материала существует определенная температура, при которой ферромагнитное упорядочение доменной структуры и намагниченности исчезают. Материал становится парамагнитным. Эта температура носит название точки Кюри. Для железа точка Кюри соответствует $790\text{ }^{\circ}\text{C}$ для никеля - $340\text{ }^{\circ}\text{C}$, для кобальта - $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Снижение температуры ниже точки Кюри вновь возвращает материалу магнитные свойства: доменную структуру с нулевой результирующей намагниченностью если при этом отсутствовало внешнее магнитное поле. Поэтому разогрев изделий из ферромагнитных материалов выше точки Кюри используют для их полного размагничивания.

Процессы намагничивания ферромагнитных материалов подразделяются на обратимые и необратимые по отношению к изменению магнитного поля. Если после снятия возмущения внешнего поля намагниченность материала возвращается в исходное состояние, то такой процесс обратимый, в противном случае - необратимый.

Главной особенностью ферромагнитного состояния является наличие доменной структуры. Устойчивость доменной структуры при прочих равных условиях определяется взаимодействием междоменных границ с дислокациями, которое обусловлено интерференцией упругих полей дислокаций и магнитострикционных деформаций. От плотности дислокаций зависят размеры и число доменов. В хорошо отожженном железе домены имеют крупные размеры, их границы прямолинейны. Увеличение плотности дефектов приводит к зарождению новых доменов меньших размеров с искривленными границами, что затрудняет процессы смещения при намагничивании. Наличие включений вторых фаз, например карбидов, формирование дисперсных структур также способствует уменьшению размеров доменов, увеличению поверхности их границ. Особенно высока плотность доменов на границах зерен, межфазовых границах и на поверхности, где преобладают замыкающие домены с 90-градусными границами, размеры которых значительно меньше доменов со 180-градусными границами. При высокой концентрации доменов малых размеров образуется развитая сетка междоменных границ, где сосредоточивается упругая энергия магнитострикции.

При намагничивании происходит смещение междоменных (границ, а в полях насыщения - их полная аннигиляция. В этих условиях изменяются магнитострикционные напряжения, которые в свою очередь могут изменять некоторые свойства намагниченных ферромагнитных сплавов.

Механизм упрочнения коронок при воздействии постоянным магнитным полем основан на совершенствовании структуры составляющих сплавов коронки за счет аннигиляции точечных дефектов и перераспределения дислокаций.

Структурные преобразования приводят не к дальнейшему накоплению дефектов, а наоборот, к их устранению и переводу кристаллических тел в более равновесное состояние. Дополнительное закрепление АТП в

паяном слое реализуется за счет диффузии в них метастабильных атомов из материала паяного слоя.

Эффекты магнитной обработки обнаруживают стабильность в течение нескольких часов – факт поразительной и необъяснимый с точки зрения квазикристаллических моделей. Ведь при изменении расположения молекул период восстановления свойств должен быть того же порядка, что и время жизни молекулы в структурном узле. Трудность понимания физической сущности обработки коронки возникает из-за сообщаемой малой энергии и загадочности механизма «памяти» коронки. Энергия, затрачиваемая на обработку, очень мала – это энергия на преодоление дополнительного сопротивления в зазоре с магнитным полем. Поэтому энергетические состояния коронки до и после обработки достаточно близки, но разделены высоким энергетическим барьером.

Рассмотрение теоретической стороны указанной проблемы затруднено в связи с многофункциональностью действия сил магнитного поля и сложностью структурных и энергетических превращений, протекающих при ударном воздействии холодом. Все это усложняет эффективное и полезное практическое применение криогенно-магнитного способа упрочнения коронок в более широких масштабах. Поэтому исследование и интерпретация процессов перехода материала коронки из одного состояния в другое, их взаимосвязь с кинетикой превращений являются актуальной задачей.

Анализ накопленного материала показывает, что простой по идее криогенно-магнитный метод упрочнения ПРИ представляет по механизму воздействия весьма сложное, в должной мере еще не изученное явление. Недооценка этого обстоятельства при подходе к изучению данной проблемы и поспешность, с которой подчас делаются выводы и предложения, приводят к тому, что применение криогенно-магнитной обработки, как показывает статистика случаев внедрения, оказывается большей частью кратковременным.

Сущность новой технологии криогенно-магнитного упрочнения состоит в том, что при криогенном и последующем магнитном воздействии на буровые коронки изменяются физические и механические свойства материала. Повышение твердости и износостойкости буровых коронок, прошедших стадию криогенно-магнитного упрочнения достигается за счет направленной ориентации свободных электронов материалов коронок внешним полем, вследствие чего увеличивается тепло и электропроводность.

Нами впервые на уровне изобретения 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 и металлографическими исследованиями было установлено следующее: при криогенной обработке коронок увеличивается плотность дислокаций в карбидной составляющей твердых сплавов. В результате происходит изменение физико-механических (снижение 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 является весьма эффективным методом повышения стойкости и режущих свойств буровых коронок.

Увеличение скорости превращения аустенита в мартенсит в инструменте наблюдается отдельно, как при воздействии холодом, так и при воздействии магнитным полем. Результатом таких воздействий является увеличение прочности, износостойкости, наработки на режущий и породоразрушающий инструмент. Обработка холодом нашла широкое практическое применение, как в нашей стране, так и за рубежом. Однако, теоретические вопросы, касающиеся кинетики превращения аустенита при обработке хо-

лодом, недостаточно изучены, и вопросы практического применения не получили технологической законченности. Известно, что граница раздела сплавов АТП является слабым местом, так как она является стоком дефектов, здесь же наблюдается максимальная концентрация полей напряжений. Решению этой проблемы способствует криогенно-магнитное воздействие на коронку, которое позволяет существенно снизить уровень дефектов как в кристаллической структуре сплавов, так и на границе их раздела.

При криогенно-магнитном воздействии на коронку происходит перестройка дислокаций. Поскольку максимальное количество дислокаций расположено на границе раздела сплавов АТП, то перестройка дислокаций на границе раздела приводит к устранению мелких пор в этой области. Это приводит к повышению стойкости коронок.

Криогенная обработка в виде термоудара приводит к существенным изменениям характера напряженного состояния материала паяного слоя за счет формирования напряжений сжатия. Это дает объяснение полученному эффекту повышения удерживающей способности АТП в корпусе коронки в присутствии напряжений сжатия не только за счет сил адгезии, но и вследствие механического удержания металлом. Учитывая, что до 15% случаев выхода из строя коронок происходит из-за потери АТП, дополнительное закрепление АТП в корпусе коронки является фактором повышающим ресурс бурового инструмента.

Результаты исследований, а также известные положения из физики твердого тела, позволили сформировать достоверную версию о механизме упрочнения коронок, армированных АТП, с помощью криогенно-магнитного воздействия. Выполненные исследования позволили утверждать, что выполняя криогенно-магнитное воздействие, добиться повышения твердости алмазного слоя АТП не представляется возможным. Следовательно для повышения стойкости коронок необходимо увеличить прочность их закрепления в корпусе коронки, т.е. улучшить качество паяного слоя ПСР-45, увеличить твердость корпуса коронки (сталь ХГСА) и твер-

досплавной подложки (ВК-20), кроме того необходимо проверить качество швов на стыке алмазный слой-твердосплавная подложка, твердосплавная подложка-паяный слой, паяный слой-корпус коронки.

Использование метода рентгеноструктурного анализа позволило получить оценку плотности хаотических дислокаций до и после применения криогенно-магнитного способа. В тоже время установлено 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.

Криогенная обработка ПРИ ведет к увеличению стойкости режущих инструментов из-за повышения их механических характеристик. Криогенная обработка ПРИ, являющаяся дополнительным их отпуском, сопровождается переходом остаточного аустенита в мартенсит с соответствующим изменением микроструктуры. При этом косвенным показателем структурных изменений, улучшающих режущие свойства коронок, является величина термоЭДС, которая снижается после криогенной обработки. Анализ результатов исследований показывает, что во всех случаях после криогенной обработки твердость режущих элементов увеличивается по шкале Роквелла.

Криогенная обработка позволяет производить объемное упрочнение породоразрушающего инструмента. Механизм упрочнения породоразрушающего инструмента при термическом ударе в области низких отрицательных температур обусловлен изменением тонкой кристаллической структуры твердых сплавов и композиционных материалов за счет пластической деформации кобальтовой или иной другой связки в локальных областях по периметру включений (карбид вольфрама, алмазы, релит и др.) и имеет субструктурный характер [131].

Объемное упрочнение ПРИ методом криогенной обработки, в сочетании с внешним воздействием различными физическими полями, способствует повышению качества коронок.

Снижение интенсивности изнашивания коронок после криогенной обработки, приводящей к увеличению плотности структуры тела коронки, твердосплавной подложки (ВК-20) и паяного слоя, связано с ростом плотности дислокаций в карбидах металлов с соответствующим повышением коэрцитивной силы и твердости буровой коронки в целом.

Если нагружать металл, то способность его к пластической деформации уменьшится, предел текучести повысится до определенного значения, т.е. чтобы вызвать пластическую деформацию, следует приложить большие напряжения. Это значит, что металл стал прочнее. Упрочнение металла под действием пластической деформации называется наклепом, или нагартовкой.

Из сказанного выше уже известно, что пластическая деформация осуществляется путем перемещения дислокаций. Пара движущихся дислокаций порождает сотни и сотни новых, в результате этого плотность дислокаций повышается, что и приводит к упрочнению корпуса буровой коронки в целом.

Несмотря на то, что остаточные напряжения определяемые методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре проявляются только в приповерхностном слое, из условий равновесия следует, что во всем объеме коронки в сечениях параллельных исследуемой поверхности, будут действовать такие же напряжения.

Полученные результаты позволяют выявить ряд закономерностей. Для каждого из изученных состояний и поверхностей значения всех видов (как остаточных макронапряжений, так и внутренних микронапряжений) хорошо согласуются между собой. По порядку величины эти напряжения находятся в пределах от десятков до сотен МПа. Это очень высокий уровень напряжений, существенно превосходящий предел текучести примея-

емого нами для пайки АТП припоя ПСР-45. Причина сохранения таких остаточных напряжений связана только со стесненным характером деформации связки, находящейся в композите внутри жесткого каркаса. (см. приложения А).

Материал связки в исследуемых образцах до термоудара (состояние I) находится в достаточно напряженном состоянии. Более того, это двухосное, но неравноосное напряженное состояние.

После термоудара (состояние II) характер напряженного состояния связки существенно изменяется. Оба главных напряжения становятся отрицательными, то есть преобразуются в напряжения сжатия.

Общий характер изменения главных остаточных макронапряжений таков: в результате термоудара главные напряжения изменяются в отрицательную сторону на величину (200...300) МПа. Другими словами, термоудар как бы добавляет к напряжениям, действовавшим в исходном состоянии, по 200-300 МПа напряжений сжатия, что соответствует расчету напряжений вблизи упругих включений.

Общий уровень напряженного состояния в результате термоудара существенно возрос: остаточные макронапряжения увеличились на 50-70 %.

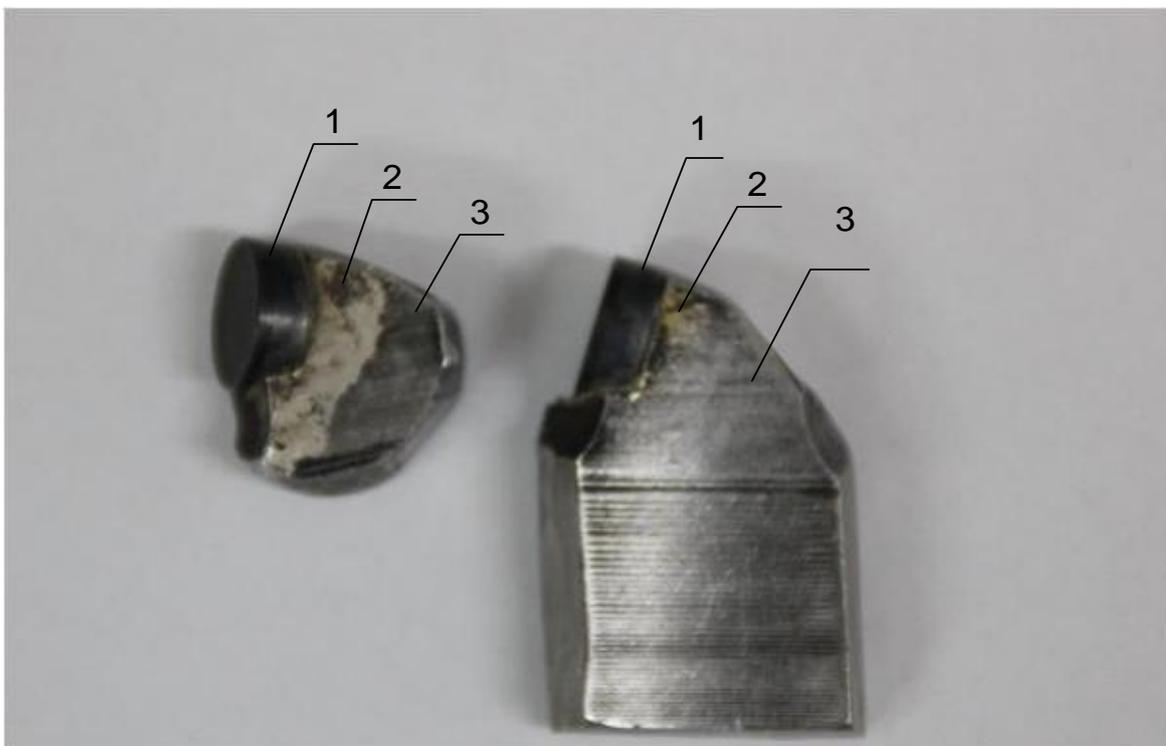
Следует отметить хорошее совпадение теоретической оценки уровня внутренних напряжений, возникающих на границе корпус коронки (сталь ХГСА) - твердосплавная подложка (ВК-20) при охлаждении от температуры +20°С до -196°С, с экспериментально определенными значениями изменения уровня остаточных напряжений в связке композиционного материала, то есть на границе алмазный слой - твердосплавная подложка ВК-20. В то же время за счет развития процессов релаксации напряжений в припое ПСР-45 при температуре -196°С, и последующем нагреве до комнатной температуры величина остаточных напряжений понижается по сравнению с результатами расчета до экспериментальных напряжений.

Величина внутренних напряжений как до, так и после термоудара, характеризуется достаточно большими значениями (около 200 МПа), что свидетельствует о высоком содержании дефектов различного вида в корпусе коронки. В результате термоудара уровень внутренних напряжений в связке практически не изменяется. В материале припоя при резком охлаждении от комнатной температуры до температуры жидкого азота также происходит изменения напряжений сжатия. Поэтому происходит дополнительное упрочнение материала коронки в целом.

Анализ полученных рентгенограмм свидетельствует о том, что при принятой в данном исследовании методике рентгеноструктурного анализа значимых изменений в структуре включений и частиц карбида не выявлено.

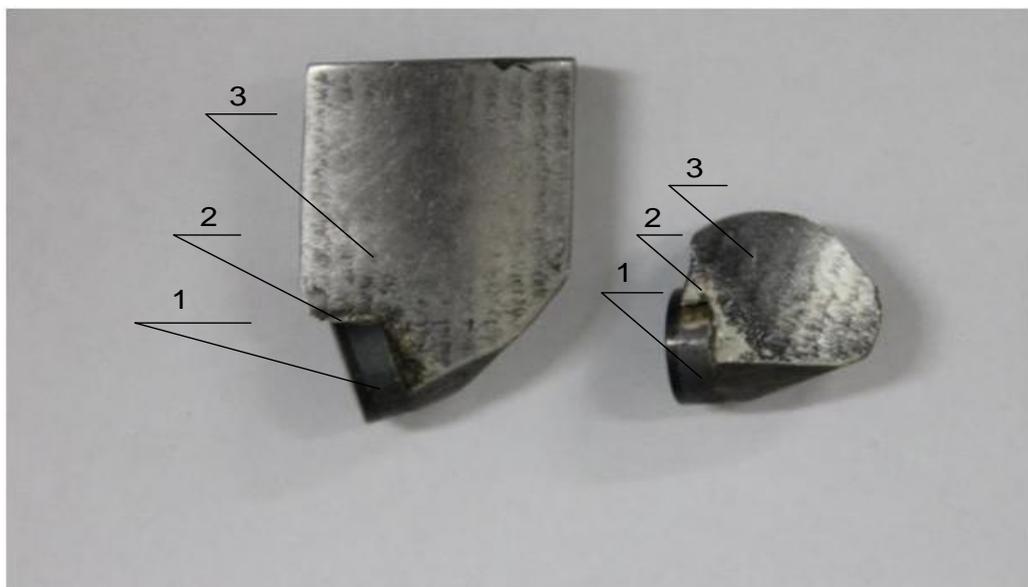
Исследования были проведены на специально подготовленных образцах, то есть вырезались из корпуса коронки отдельные секторы с АТП (рисунок 4.4.4.5). Секторы коронок при комнатной температуре помещались в жидкий азот на 15 минут, после чего извлекались, доводили температуру до +20°C и на 15 минут помещались в магнитное поле с напряженностью 32000 А/м. Исследования выполнялись до погружения в криогенно-магнитное поле и после.

Из данных рентгеноструктурного анализа отдельных секторов коронок видно, что уже в исходном состоянии в поверхностном слое материала формируется остаточные напряжения сжатия, хотя их уровень и достаточно велик. Внутренние напряжения по своей величине сопоставимы с остаточными напряжениями. Это важный результат, поскольку остаточные и внутренние напряжения хоть и определяются одним и тем же методом рентгеноструктурного анализа, но в основу их оценок положены различные физические явления: остаточные напряжения рассчитываются по сдвигу дифракционной линии, а внутренние напряжения - по её размытию (уширению). Следует также отметить достаточно малый размер блока мозаики и высокую плотность дислокаций (см. приложения А).



1-АТП, 2- припой (ПСР-45), 3 - корпус коронки (сталь ХГСА)

Рисунок 4.4 Сектора коронки с АТП для проведения рентгеноструктурного анализа



1- АТП, 2- припой (ПСР-45), 3- корпус коронки (сталь - ХГСА)

Рисунок 4.5 Сектора коронки с АТП для проведения рентгеноструктурного анализа

Термообработка коронок в области положительных температур рекомендуется как своеобразный «отжиг» материала коронки после криогенной обработки. Рентгеноструктурный анализ паяного слоя позволил установить, что применяя криогенно-магнитный способ, скорость роста микротрещин в сплаве уменьшается, происходит как бы магнитная цементация микротрещин, при этом, естественно увеличивается усилие по сдвигу, т.е. улучшается качество крепления АТП в корпусе коронок.

Изучение паяного слоя на сканирующем электронном микроскопе QUANTA-200 подтверждают выше изложенное.

Во всех рассмотренных случаях экспериментальные данные однозначно свидетельствуют о влиянии магнитного поля на кинетику фазовых превращений как контролируемых, так и не контролируемых диффузий.

Рассмотрение влияния внешнего магнитного поля на изменение условий фазовых равновесий, механизм и кинетику превращений при термической обработке стали ХГСА дают возможность сделать определенные выводы о характере такого влияния. Во-первых, имеет место энергетическое влияние магнитного поля, обусловленное разницей намагниченностей исходных фаз и продуктов превращения. Существенную роль здесь играет напряженность поля, с увеличением которого возрастают и термодинамические эффекты, в частности изменение равновесной температуры фазовых переходов. Значительные сдвиги температур равновесия могут иметь место только в очень сильных полях, напряженностью свыше 320 кА/м. Воздействие таким большим по напряженности полем может быть осуществлено преимущественно в импульсном режиме, так как проблема использования постоянного поля далеко не решена, тем более для условий промышленной эксплуатации. Воздействие магнитным полем в процессе фазовых превращений при термической обработке приводит к усилению процессов, своеобразного магнитного расслоения неферромагнитной матрицы (аустенита), обусловленного образованием ферромагнитно-упорядоченных кластеров, которые, воспринимая энергию внешнего поля

через магнитострикционные напряжения, изменяют поля упругих сил в микрообъемах атомной решетки корпуса коронки, что приводит к снижению энергии образования зародышевого центра ферромагнитной фазы.

Для сохранения полученного при криогенной обработке положительного эффекта (повышение микротвёрдости и жёсткости) необходимо повысить пластичность материала корпуса коронки (величину деформации) при сохранении или незначительном понижении твёрдости. При этом криогенная обработка рассматривается как низкотемпературная закалка, а воздействие постоянным магнитным полем – как медленный магнитный отпуск.

Основной эффект упрочнения коронок при криогенной обработке достигается за счет перестройки в структуре, снятия супернапряжений в образце. На макроуровне перестройка в структуре твердого сплава напоминает собой перестройку, происходящую при упрочнении металла методом механического наклёпа. То есть, при быстром и глубоком охлаждении твердого сплава ВК-20 происходит изменение тонкой кристаллической структуры за счет наклёпа кобальтовой или иной другой связки в локальных областях по периметру карбидных включений зёрен из-за значительного различия коэффициентов термического расширения. Однако при этом хрупкость материала коронки увеличивается.

Анализ полученных результатов показывает, что комплексная криогенно-магнитная обработка коронок дает значительно больший эффект по сравнению с отдельным упрочнением их с помощью этих методов.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования, а также исследования буровых коронок, армированных АТП, до и после криогенно-магнитного воздействия методом рентгеноструктурного анализа и на микроскопе Guoita 200 позволили предположить, что криогенно-магнитное упрочнение рассматривается нами как термический удар в области низких отрицательных температур, при этом производит заметные структурные преобразования: снимаются полностью или рассредоточива-

ются суперпозиционные поля напряжений, создается равномерное объемное напряженное состояние сжатия, повышается концентрация дислокации, происходит дробление блоков мозаики.

Объемное упрочнение буровых коронок методом криогенной обработки в сочетании с найденными рациональными режимами и конструкциями коронок бурения позволяют добиться повышения их ресурса и механической скорости бурения.

Механизм модификации физико-механических свойств буровых коронок при криогенной обработке основан, главным образом, на субструктурном упрочнении вследствие пластической деформации кобальтовой связки из-за большого различия температурного коэффициента линейного расширения WC и Co. Пластическая деформация повышает плотность дислокаций и точечных дефектов в твердом сплаве, что сопровождается изменением его прочности и износостойкости. Механизм упрочнения коронок дополняется тем, что существенное изменение напряженного состояния корпуса коронки при криогенной обработке повышает удерживающую способность АТП за счет механического воздействия окружающего припоя ПСР-45 и проникновения его в микротрещины и поверхностные поры.

Механизм упрочнения твердосплавного и алмазного ПРИ при криогенно-магнитном воздействии приводит к совершенствованию структуры твердых сплавов и коронок в целом за счет аннигиляции точечных дефектов и перераспределения дислокаций. Структурные преобразования приводят не к дальнейшему накоплению дефектов, а, наоборот, к их устранению и переводу кристаллических тел в более равновесное состояние.

Криогенно-магнитная обработка буровых коронок, армированных АТП, рассматриваемая нами как термический удар в области низких отрицательных температур, производит в них заметные структурные преобразования: снимаются полностью или рассредоточиваются суперпозиционные поля напряжений, создается равномерное объемное напряженное со-

стояние сжатия, повышается концентрация дислокаций, происходит дробление блоков мозаики. В результате криогенно - магнитной обработки коронок изменяются их физико-механические свойства: повышается твердость, жесткость, снижаются технологические упругие деформации напряжения, возникающие в коронках при обработке постоянным магнитным полем, они суммируются алгебраически с напряжениями, возникающими при криогенной обработке, повышая состояние сжатия, что способствует увеличению их микротвердости, а, следовательно, и износостойкости.

Выполненные теоретические исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Теоретически обоснована и подтверждена практическими опытами дислокационная теория механизма криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок.
2. Высказаны предположения о причине «памяти», определено время релаксации буровых коронок, после обработки их постоянным магнитным полем напряженностью 320 кА/м.
3. 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 ВК20). Добиться упрочнения алмазного слоя АТП практически не удалось.
4. Упрочнение буровых коронок, армированных АТП, криогенно-магнитным способом связано с высокой концентрацией внутренних напряжений в корпусах коронок. Уменьшение или ликвидация концентраций внутренних напряжений способствует повышению износостойкости инструмента в целом. Внутренние напряжения зависят от физико-механических характеристик материала буровых коронок.

5. 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.
6. Сведения, которыми в настоящее время располагает наука, позволяют утверждать, что упрочнение породоразрушающего инструмента, и буровых коронок в частности, является одной из важнейших проблем современности, заслуживает пристального внимания и исследования в дальнейшем.
7. Выполненное нами теоретическое обоснование криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок не может претендовать на законченность, несмотря на решение целого комплекса вопросов. Работы в этом направлении необходимо продолжить и перспективность их не вызывает сомнения.

4.3. Криогенно-магнитный способ упрочнения буровых коронок.

Проблема повышения стойкости породоразрушающего инструмента особо остро встала в последние годы в связи с резким его удорожанием.

Одним из основных резервов повышения эффективности буровых работ является создание породоразрушающего инструмента с повышенными эксплуатационными показателями путем дополнительного упрочнения различными физическими методами.

В настоящее время существует большое количество способов упрочнения ПРИ, позволяющих модифицировать отдельные эксплуатационные показатели твердых сплавов и композиционных алмазосодержащих материалов (КАМ), используемых для изготовления коронок. Способы упрочнения коронок основаны на использовании различных видов энергии: тепловой, механической, энергии заряженных частиц (радиационное облуче-

ние) и т.д. Некоторые из них представляют интерес чисто в теоретическом плане, другие имеют практический интерес для повышения ресурса ПРИ. В соответствии с классификацией профессора С.Я Рябчикова [130], все методы упрочнения металлов и сплавов можно разделить на две группы: методы поверхностного упрочнения и методы объемного упрочнения.

Научный и практический интерес с позиций повышения ресурса породоразрушающего инструмента представляет способ объемного упрочнения, наиболее перспективными из которых является криогенная обработка. Установлено, что криогенная обработка инструментальных материалов - быстрорежущих сталей и твердых сплавов ведёт к увеличению стойкости режущих элементов из-за повышения механических характеристик таких материалов. Криогенная обработка закаленных быстрорежущих сталей, является дополнительным их отпуском, сопровождается переходом остаточного аустенита в мартенсит с соответствующим измельчением микроструктуры [130].

Сотрудники кафедры «Нефтегазовая техника и технологии» впервые предложили выполнить криогенную-магнитную обработку буровых коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами, (патент RU №244543). Криогенная обработка алмазных буровых коронок производилась в специально отведенном помещении с температурой не ниже 20°C. Участок криогенной обработки коронок оснащается следующим оборудованием и инструментом: столом с подогреваемыми емкостями для обезжиривания, просушки и консервации коронок, столом для снаряжения сменных кассет, криостатом (ванной) для обработки коронок жидким азотом, который размещается в шкафу с вытяжной вентиляцией, загрузочными сменными кассетами из нержавеющей стали, подъемно-поворотным механизмом для загрузки и извлечения кассет из криостата специальным инструментом (клещи, захваты, крюки и т.п.) для загрузки и извлечения обработанных коронок из ванны. Для доставки жидкого азота с завода используются сосуд Дьюара емкостью 50 литров (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6. Сосуд Дьюара

Оборудование и инструмент для криогенной обработки должен удовлетворять следующим требованиям:

— криостат для обработки инструмента жидким азотом (сосуд Дьюара) должен состоять из наружного и внутреннего корпусов, разделенных тепло-изоляционным материалом; съемной решетки, устанавливаемой во внутреннем корпусе на расстоянии от дна не менее 0,1 высоты внутреннего корпуса (вместе с крышкой);

— в качестве теплоизоляционного материала между наружным и внутренним корпусами криостата используется стекловата (ГОСТ 5174-49) или минеральная вата (ГОСТ 4640-66);

— внутренняя часть криостата, съемная решетка и сменные кассеты для установки коронок изготавливаются из стали марки X18H10T или сплавов на основе меди и других материалов, незначительно снижающих пластичность при низких температурах;

— крышка криостата имеет не менее 2-3 отверстий диаметром 5мм для выхода испаряющегося азота.

Методика криогенной обработки породоразрушающего инструмента, армированного АТП, состоит в следующем. Поступающие для обработки коронки очищаются от загрязнения и обезжиривают в водном моющем растворе или уайтспирите. Температура водного моющего раствора должна быть не менее 50°С. После обезжиривания коронки промываются горячей водой, протираются чистым тампоном и просушиваются. Для контроля качества обезжиривания и просушки коронок их протирают тампоном из чистой белой хлопчатобумажной ткани. При наличии на ткани масляных пятен процесс обезжиривания повторяют. Обезжиренные и просушенные коронки устанавливаются в загрузочную кассету. При этом температура коронок должна быть не выше температуры окружающей среды. Жидкий азот из сосудов Дьюара типа АСД-50, емкостью 50 дм³, заливается в криостат до уровня не менее 70 % его объема. После охлаждения стенок внутреннего корпуса криостата (прекращение интенсивного кипения жидкого азота) кассета с обезжиренными, промытыми и просушенными коронками опускается в криостат для криогенной обработки. Жидкий азот доливается до полного перекрытия коронок, после чего криостат закрывается теплоизоляционной крышкой. После прекращения интенсивного кипения жидкого азота коронки выдерживаются в течении 10-15 мин. При этом обрабатываемые коронки должны быть полностью закрыты жидким азотом. По мере необходимости азот доливается в криостат. Обработанные коронки при помощи подъемного устройства извлекаются из криостата и, с целью нагрева до температуры окружающей среды, устанавливаются на столе для разгрузки кассет.

Оставшийся в криостате жидкий азот может быть повторно использован для обработки коронок только в том случае, когда содержание кислорода в нем не превышает 30%. Анализ на содержание кислорода в жид-

ком азоте производится прибором Гемпеля типа ПАК-3. При необходимости слив жидкого азота производится в специально отведенном месте, не имеющем покрытия из асфальта, дерева и других органических материалов.

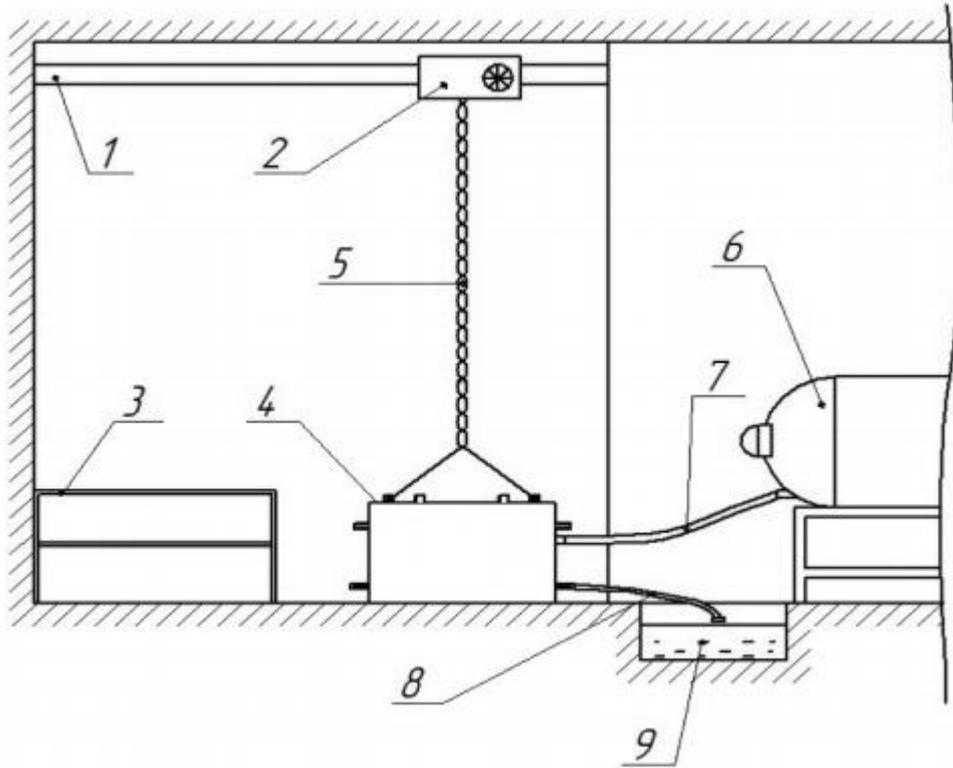
При разработке установки за основу взята установка конструкции «УКРО-02». Установка «УКРО-02», созданная в ТПУ [130]. Наиболее полно отвечает требованиям технологии криогенной обработки ПРИ, однако имеет ряд недостатков: отсутствие системы автоматического долива жидкого азота, недостаточная механизация рабочих процессов, большой расход жидкого азота. Эти недостатки были нами устранены.

Блок-схема усовершенствованной нами установки представлена на рис. 4.7. Она состоит из криостата 4, грузоподъемного устройства 2, рабочего стола 3, и транспортной цистерны 6. Криостат представляет собой емкость, объемом $0,1 \text{ м}^3$ с двойными стенками, изготовленными из стального листа. В качестве теплоизоляционного материала используется пенопласт.

Заполнение рабочей ёмкости установки 4 жидким азотом из цистерны 6 осуществляется через теплоизоляционный шланг 7, а слив остатков азота, после завершения работ, в сливную ёмкость 9 – через шланг 8. Для доставки жидкого азота к месту работы используются цистерны типа ЦТК-5/0,25 или сосуды Дьюара ёмкостью 25-50л.

Обработка в криогенно-магнитной среде позволяет создать на поверхности коронок слой, обладающий высокой твёрдостью, износостойкостью, эрозийной стойкостью, контактной выносливостью и усталостной прочностью при изгибе.

Главной задачей при криогенной обработке коронок было установить не произойдёт ли отслаивание алмазного слоя от твердосплавного и как будет вести себя паяный слой. Выполненные исследования показали, что отслаивание алмазного слоя не произошло, а паяный слой сохраняется целостным (рисунок 4.8).



1 – тельферная балка; 2 – тельфер электрический; 3 – стол; 4 – криостат; 5 – цепь; 6 – цистерна ТК-5/00,25; 7,8 – теплоизолированные шланги нагнетения и слива; 9 – сливная ёмкость; 10 – вентиляционный люк.

Рисунок 4.7 Схема установки для криогенной обработки ПРИ



Рисунок 4.8. Коронка, армированная АТП, после обработки в жидком азоте

Криогенная обработка в виде термоудара приводит к существенным изменениям характера напряженного состояния материала коронки за счёт формирования только напряжений сжатия. Это даёт прямое объяснение известному эффекту повышения удерживающей способности АТП в посадочном гнезде коронки, поскольку в присутствии напряжений сжатия АТП удерживаются в гнезде не только за счёт сил адгезии, но и вследствие механического удерживания окружающими объемами металла. С учетом вышеизложенного считаем, что дополнительное закрепление АТП в посадочном гнезде корпуса коронки является фактором повышающим ресурс коронок.

Поскольку при криогенной обработке никаких фазовых превращений и соответственно, существенных изменений структуры не происходит, очевидно, что термоудар не должен существенно влиять на свойства, слабо зависящие от уровня внутренних напряжений. К таким свойствам относятся модули упругости и демпфирующая способность. О дополнительной стабилизации структурного состояния после термоудара свидетельствуют и внешние данные опытных образцов (рисунок 4.8)

Термоудар при низких температурах обеспечивает формирование в корпусе коронки оптимального уровня напряжений, их сохранение при нагреве до температур нормальной эксплуатации инструмента при этом формируются относительно стабильные субструктуры.

С целью определения влияния криогенной обработки на твердость корпусов коронок (сталь ХГСА) коронки, армированные АТП, были выполнены сравнительные испытания в лабораторных условиях на приборе для определения твердости по методу Роквелла (HRA), рисунок 4.9. Результаты испытаний представлены в таблице 4.2

В последнее время все большее значение приобретает проблема улучшения физико-механических свойств породоразрушающего инструмента, его прочности и износостойкости за счет обработки его магнитным полем высокой напряженности. При этом используются различные типы аппаратов

для магнитной обработки породоразрушающего инструмента (рисунок 4.10).

Таблица 4.2 Результаты упрочнения корпусов коронок в магнитном поле

№ п / п	Тип коронки	Время обработки в жидком азоте, мин	Напряженность постоянного магнитного поля, кА/м	Твердость НРА			
				до обработки		после обработки	
				корпус коронки, сталь ХГСА	подложка, ВК-20	корпус коронки, сталь ХГСА	Подложка, ВК-20
1	112 АТП	5	320	59,8	89,8	66,2	91,2
2	225 АТП	10	320	59,9	89,9	66,4	91,4
3	93 АТП	15	320	59,9	89,9	66,5	91,5
4	151 АТП	20	320	59,8	89,8	66,5	91,5

Электромагнитные индукторы постоянного тока нашли широкое применение при магнитной обработке. Достоинство – возможность регулировать ток в намагничивающихся катушках. Используют при этом преобразователи переменного тока в постоянный (выпрямители). С помощью электромагнитов удается создавать поля с магнитной индукцией равной 0,8-1,4 тесла в рабочих зонах с большим межполюсным расстоянием. Электромагнитные индукторы удобны с точки зрения размагничивания рабочей зоны. Для изготовления электромагнитных индукторов не требуется дорогих дефицитных материалов. К их недостаткам относятся большие размеры и масса намагничивающихся катушек и индуктора в целом, затрудненная доступность к рабочей зоне, необходимость в отдельном блоке питания и управления индуктором, в герметизации катушек. Для вращающихся индукторов нужны скользящие электроконтакты, которые быстро изнашиваются и требуют частого ремонта. С точки зрения техники безопасности использовать устройства с постоянными магнитами менее опасно в условиях, где промывка скважины осуществляется буровым раствором.

С учетом выше изложенного нами был выбран способ упрочнения с использованием постоянных магнитов.

Использование постоянных магнитов для создания магнитного поля в рабочих зонах позволяет отказаться от электрических схем питания индукторов, уменьшить вероятность выхода из строя электрических аппаратов или электрического пробоя намагничивающих катушек.

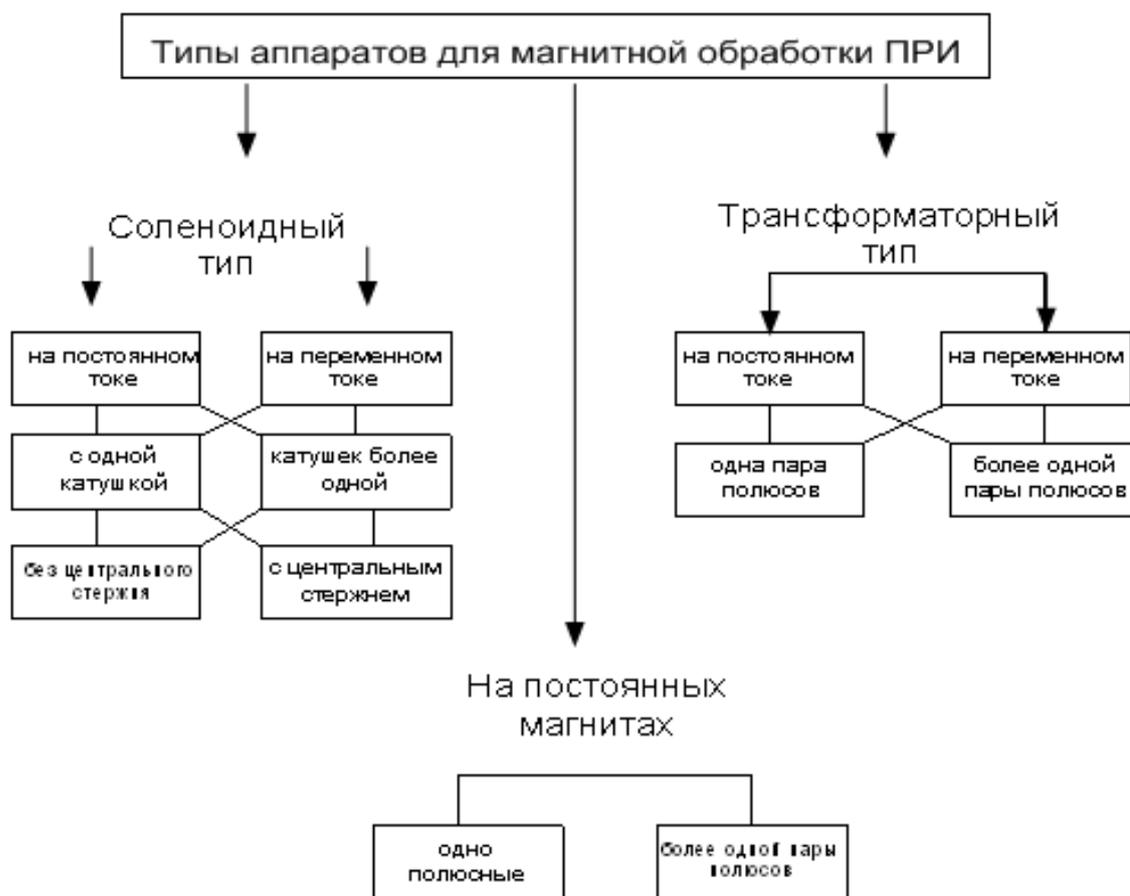
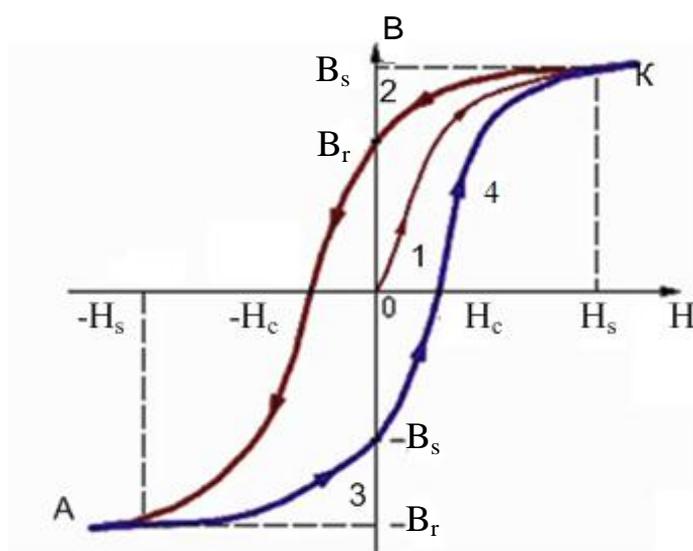


Рисунок 4.10 Типы аппаратов для магнитной обработки породоразрушающего инструмента

При испытаниях магнитных материалов петли гистерезиса строятся для функций параметров магнитного поля - магнитная индукция от напряженности $B(H)$, при моделировании процесса омагничивания - намагниченность от напряженности $M(H)$, которые имеют смысл результирующих параметров внутри материала в проекции на зафиксированное направление. Если материал предварительно был полностью размагничен, то постепенное увеличение напряженности магнитного поля от нуля до H_s

дает множество точек начальной кривой намагничивания (участок 0-1). Точка К - точка технического насыщения (B_s , H_s). Последующее снижение напряженности H внутри материала коронки до нуля (участок 2) позволяет определить предельное (максимальное) значение остаточной намагниченности. Далее коронка перемагничивается в отрицательном направлении до насыщения (участок 3), при координатах $(-B_s, H_s)$. Изменение напряженности поля в положительную сторону замыкает предельный гистерезисный цикл (участок 4). Точка А - точка предельного насыщения при противоположной (отрицательной) ориентации внешнего поля. Множество состояний материала коронки внутри предельного гистерезисного цикла может быть достигнуто при изменении напряженности магнитного поля, соответствующем частным симметричным и несимметричным гистерезисным циклам. (рисунок 4.11)



1 ($0 \rightarrow H_s$), 2 ($H_s \rightarrow (-H_s)$), 3 ($(-H_s) \rightarrow H_c$), 4 ($H_c \rightarrow H_s$)

Рисунок 4.11. Кривая намагничивания - размагничивания буровой коронки

Петлей гистерезиса называется кривая изменения магнитной индукции ферромагнитного тела, помещенного во внешнее магнитное поле, при изменении напряженности последнего от $+H_s$ до $-H_s$ и обратного, где H_s - напряженность магнитного поля, соответствующая насыщению. Величина

$\pm B_s$ магнитной индукции, достигается при значении напряженности внешнего поля, равной $\pm H_s$, называется индукцией насыщения. Величина магнитной индукции $\pm B_r$ сохраняющейся в образце после уменьшения напряженности поля от $\pm H_s$ до 0, называется остаточной индукцией. Её существование является основой создания постоянных магнитов.

Напряженность H_c обратного поля, доводящего магнитную индукцию до нуля, называется коэрцитивной силой (задерживающей напряженностью).

Частные несимметричные гистерезисные циклы образуются, если начальная точка не находится на кривой основного намагничивания при симметричном изменении напряженности поля, а также при несимметричном изменении напряженности поля в положительном или отрицательном направлении. В зависимости от силы значения коэрцитивной силы ферромагнитные материалы разделяются на магнитомягкие и магнитотвёрдые. Магнитомягкие материалы используются в магнитных системах как магнитопроводы. Эти материалы имеют малую коэрцитивную силу, высокую магнитную проницаемость и индукцию насыщения. Магнитотвёрдые материалы имеют большую коэрцитивную силу и в предварительно намагниченном состоянии используются как постоянные магниты, первичные источники магнитного поля.

Постоянные магниты изготавливают из магнитотвердых материалов, магнитные свойства которых характеризуются кривой размагничивания – участком петли гистерезиса. Магнитное состояние магнита при этом характеризуется точкой A на кривой размагничивания, которую называют рабочей точкой магнитотвердого материала, а тангенс угла α наклона луча OA , проведенного из начала координат, называют коэффициентом размагничивания (N) данного материала.[142,150,151,152,153,154,155]

Известно, что коэффициент N может быть выражен через размеры постоянного магнита

$$N = \operatorname{tg} \alpha = \frac{B_d}{H_s} = G l_M / S_M \quad (4.3)$$

Где B_d и H_d – магнитная индукция и напряженность поля в среднем сечении магнита для его рабочей точки; G – магнитная проводимость окружающей среды; l_M и S_M – длина магнита вдоль оси намагничивания и площадь его поперечного сечения.

Для полного размагничивания постоянного магнита его нужно поместить во внешнее магнитное поле противоположного знака. Величина называемая коэрцитивной силой, характеризует способность материала сохранять свое намагниченное состояние. Основным достоинством литых и металлокерамических постоянных магнитов является их высокая остаточная индукция. В то же время они обладают сравнительно низкой коэрцитивной силой, а значит могут размагничиваться под действием внешних магнитных полей, повышенных температур и сотрясений. Максимальная магнитная энергия у таких магнитов достигается при большой длине магнитов.

Предварительно намагниченные, а затем размагниченные коронки также показывают повышенную стойкость. Было выдвинуто предположение, что причиной изменения стойкости является изменение направления теплового потока в присутствии магнитного поля остаточной намагниченности инструмента, и изменение таким образом теплонапряженности самых теплонагруженных участков буровой коронки. Предварительно многократно намагниченные, а затем размагниченные инструменты обладают повышенной магнитной проницаемостью и по этой причине легко намагничиваются в процессе обработки полями токов теплоЭДС. В связи с этим намагниченные, размагниченные и вновь намагниченные буровые коронки проявляют повышенную стойкость.

Рентгеноспектральный анализ буровых коронок до и после магнитной обработки показал распад остаточного аустенита и переход его в мартенсит. При криогенной обработке происходит “выдавливание” естественного магнитного поля из коронки и АТП. “Магнитный отпуск” необходим для снятия напряжений после криогенного воздействия и восстановления естественной намагниченности.

С целью решения вопросов теории и практики при намагничивании и размагничивании буровых коронок, армированных АТП, в постоянном магнитном поле напряженностью 320кА/м была разработана математическая модель, позволяющая описать процесс их упрочнения во вращающемся магнитном поле малой частоты. Модель позволила определить остаточную намагниченность коронки после её извлечения из устройства омагничивания. Необходимо учесть, что остаточная намагниченность будет распределена неоднородно по объему коронки.

Известно, что электромагнитное поле описывается уравнениями Максвелла (в дифференциальной форме):

$$\operatorname{rot} \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t},$$

$$\operatorname{rot} \bar{H} = -\frac{\partial \bar{D}}{\partial t} + \bar{J},$$

$$\operatorname{div} \bar{B} = 0,$$

$$\operatorname{div} \bar{D} = \rho,$$

$$\bar{J} = \bar{J}_c + \bar{J}_s,$$

$$\bar{J}_c = \sigma \bar{E},$$

$$\bar{B} = \mu \bar{H},$$

$$\bar{D} = \varepsilon \bar{E},$$

где \bar{E} – напряженность электрического поля, \bar{B} – магнитная индукция, \bar{H} – напряженность магнитного поля, \bar{D} – вектор электрического смещения,

\bar{J} – плотность тока, \bar{J}_C – плотность наводимых полей токов проводимости, \bar{J}_S – плотность токов-источников поля, ρ – плотность свободных электрических зарядов, σ – проводимость, μ – магнитная проницаемость, ε – электрическая проницаемость, t – время.

В рассматриваемой технической системе свободные электрические заряды отсутствуют ($\rho = 0$), а частота вращения коронки мала. В таких условиях слагаемыми $\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$ и $\frac{\partial \bar{D}}{\partial t}$ в уравнениях Максвелла можно пренебречь, а электромагнитное поле в каждый момент времени t может быть описано как стационарное магнитное:

$$\text{rot} \bar{H} = \bar{J}_S,$$

$$\text{div} \bar{B} = 0,$$

$$\bar{B} = \mu \bar{H},$$

где $\bar{J}_C = 0$.

Так как в качестве источников поля выступают постоянные магниты, а намагничивающая обмотка отсутствует, то в качестве \bar{J}_S в задаче необходимо рассматривать плотность микротоков в постоянных магнитах. Их можно учесть введением вектора намагниченности \bar{M} , что приведет к системе уравнений вида:

$$\text{rot} \bar{H} = 0,$$

$$\text{div} \bar{B} = 0,$$

$$\bar{B} = \mu \bar{H} = \mu_0 \mu_r \bar{H} \quad \text{– в объеме коронки,} \quad (4.4)$$

$$\bar{B} = \mu_0 \bar{H} \quad \text{– в воздухе,}$$

$$\bar{B} = \mu_0 (\bar{H} + \bar{M}) \quad \text{– в объеме, занимаемом постоянными магнитами,}$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума (воздуха), μ_r – относительная магнитная проницаемость ферромагнитного материала буровой коронки.

Из первого уравнения $\text{rot}\bar{H} = 0$ следует, что магнитное поле является потенциальным (вне области, занимаемой магнитами), то есть полученная система уравнений может быть сведена к краевой задаче для скалярного потенциала и решена методом конечных элементов, либо конечных разностей. Альтернативой является использование метода интегральных уравнений, основанного на применении скалярных потенциалов простого слоя (ППС) и потенциала двойного слоя (ПДС). Обратим внимание на характер зависимости $\bar{B} = \mu\bar{H}$ в объеме, занимаемой омагничиваемой буровой коронкой. Она является не только нелинейной, но и неоднозначной из-за магнитного гистерезиса. Пренебречь последним нельзя, так как нас интересует остаточная намагниченность. В связи с этим большинство существующих программных пакетов моделирования магнитного поля становятся неприменимыми для решения поставленной задачи.

Для описания магнитного гистерезиса (поведения буровой коронки в процессе омагничивания) необходимо использовать одну из математических моделей гистерезиса. Наиболее известными среди них являются модели Прайзаха и Джилса-Аттертона. Остановимся на последней. Она позволяет получить кривые зависимостей

$$\bar{B}(\bar{H}) = \mu\bar{H} = \mu_0(\bar{H} + \bar{M}(\bar{H})) \quad (4.5)$$

для процессов намагничивания и размагничивания (то есть намагничивания в противоположном направлении) для изотропного ферромагнитного материала.

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо последовательно промоделировать три процесса:

- 1) Помещение коронки в устройство, то есть ее внесение в поле постоянных магнитов.
- 2) Вращение постоянных магнитов вокруг коронки с малой угловой скоростью.
- 3) Извлечение коронки.

В ходе моделирования необходимо для каждого момента времени t решать задачу моделирования стационарного магнитного поля (4.4) с учетом гистерезисных зависимостей (4.5). 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. Модель Джилса-Аттертона основана на безгистерезисной кривой намагничивания M_{an} и представляет собой дифференциальное уравнение [84]:

$$\frac{dM}{dH} = \frac{\delta_M}{k\delta} (M_{an} - M) + c \frac{dM_{an}}{dH}, \quad (4.6)$$

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,

$c \approx \frac{\mu_i}{\mu_{an}} < 1$, μ_i – начальная магнитная проницаемость, μ_{an} – магнит-

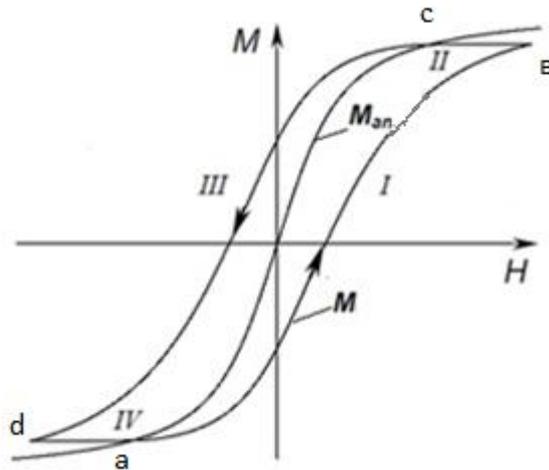
ная проницаемость по безгистерезисной кривой,

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

δ – знак приращения напряженности.

Следует отметить, что модель, построенная в виде уравнения (4.6), 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 согласно системе (4.4).

В уравнении (4.6) удобно ввести функцию $\delta(H) = \frac{\delta_M}{\delta}$, зависящую от участка петли (рисунок 4.12). На петле гистерезиса можно выделить четыре участка. Участок I соответствует намагничиванию ($\frac{dH}{dt} > 0$), когда рабочая точка находится ниже безгистерезисной кривой ($M < M_{an}$). На нем полагают $\delta > 0$ (обычно $\delta = 1$). Участки II и III соответствуют размагничиванию ($\frac{dH}{dt} < 0$), причем на участке II $M < M_{an}$ и полагают $\delta = 0$, а на участке III $M > M_{an}$ и $\delta < 0$ (обычно $\delta = -1$). Участок IV также как и I соответствует намагничиванию ($\frac{dH}{dt} > 0$), но здесь рабочая точка находится выше безгистерезисной кривой ($M > M_{an}$) при этом считают, что $\delta = 0$ [99].



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 4.12 – Участки намагничивания-размагничивания на петле гистерезиса, согласно модели Джилса –Аттертона

Уравнение (4.6) имеет численно-аналитическое решение:

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

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

(4.7)

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

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

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

определяются численным интегрированием, $M(H_0) = M_0$ – начальная точка процесса или точка реверса, на рисунке 4.12 обозначена точкой *C*. [107,108,115].

При фиксации траектории (4.7) движения рабочей точки моделирование магнитного поля, описываемого системой уравнений (4.4) сводится к решению нелинейной задачи расчета стационарного магнитного поля и приводит к итерационному процессу решения задачи в кусочно-однородном пространстве с корректировкой магнитной проницаемости на каждом шаге, что предполагает:

- 1) разбиение ферромагнетика на элементарные области с однородной магнитной проницаемостью;
- 2) определение плотностей скалярного потенциала двойного слоя фиктивных магнитных зарядов (ПДС) на границах элементарных областей;
- 3) расчет усредненного значения магнитной индукции в объеме каждой элементарной области;
- 4) корректировку магнитной проницаемости каждого элементарно-

го ферромагнетика согласно формуле:

$$\mu_{k+1} = \mu_k + \nu(\mu(B) - \mu_k), \quad (4.8)$$

где μ_k и μ_{k+1} – старое и новое значения магнитной проницаемости соответственно; ν – параметр релаксации; $\mu(B) = B / H(B)$.

Магнитная индукция \bar{B} ищется в виде суперпозиции согласно формуле

$$\bar{B} = \bar{B}_\Phi + \bar{B}_0, \quad (4.9)$$

где \bar{B}_Φ – безвихревое поле реакции ферромагнетика, а \bar{B}_0 – поле внешних источников, создаваемое в однородной среде с магнитной проницаемостью μ_0 .

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

$$\begin{aligned} \bar{B}_n^+ &= \bar{B}_n^-; \\ \bar{H}_s^+ &= \bar{H}_s^-, \end{aligned} \quad (4.10)$$

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:

$$\bar{B}_\Phi = -\mu_0 \text{grad} \varphi_\Phi. \quad (4.11)$$

Данный подход делает ПДС совместимым с потенциалом прослая фиктивных магнитных зарядов (ППС) и удобен для моделирования поля постоянных магнитов. Равенством (4.11) 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:

$$\tau(Q) + \frac{\lambda_Q}{2\pi} \iint_{S_\Phi} \tau(P) \frac{\bar{r}_{PQ} \cdot \bar{n}_P}{r_{PQ}^3} dS_P = -2\lambda_Q \mu_0 \varphi_0(Q) + C_{ij}, \quad (4.12)$$

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 (4.12) от напряженности к потенциалу, калибруются выбором значений постоянных в определении φ_Φ .

В результате рассмотренного подхода расчет поля сводится к многократному решению уравнения (4.10) с пересчетом магнитной проницаемости в элементарных областях согласно равенству (4.8). При этом в уравнении (4.8) в качестве B берется среднее значение магнитной индукции в элементарной области V_E , которое вычисляется интегрированием потенциала по ее границе S_E :

$$B_{cp} = \left| -\frac{\mu_0}{V_E} \iint_{S_E} (\varphi_\Phi(P) + \varphi_0(P)) \bar{n}_P dS_P \right|. \quad (4.13)$$

Следует отметить, что данная формула останется справедливой и при кусочно-постоянной аппроксимации τ .

Так как в роли источников поля в устройстве омагничивания выступают постоянные магниты, то в формулах (4.9) и (4.12)

$$\bar{B}_0 = \sum_{PM} \bar{B}_{\text{ПМ}}^{PM}, \quad (4.14)$$

$$\Phi_0 = \sum_{PM} \Phi_{\text{ПМ}}^{PM}, \quad (4.15)$$

где символ \sum_{PM} обозначает суммирование по постоянным магнитам.

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:

$$\bar{H}_{\text{ПМ}}^{PM}(Q) = \frac{1}{4\pi} \iint_{S_{\text{ПМ}}^{PM}} M_n(P) \frac{\bar{r}_{PQ}}{r_{PQ}^3} dS_P. \quad (4.16)$$

Магнитная индукция, создаваемая постоянным магнитом, будет равна:

$$\bar{B}_{\text{ПМ}}^{PM} = \mu_0 (\bar{H}_{\text{ПМ}}^{PM} + \bar{M}) \text{ – внутри постоянного магнита;} \quad (4.17)$$

$$\bar{B}_{\text{ПМ}}^{PM} = \mu_0 \bar{H}_{\text{ПМ}}^{PM} \text{ – вне постоянного магнита.} \quad (4.18)$$

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

$$\varphi_{\text{ПМ}}^{PM}(Q) = \frac{1}{4\pi} \iint_{S_{\text{ПМ}}^{PM}} M_n(P) \frac{1}{r_{PQ}} dS_P. \quad (4.19)$$

Описанная модель предполагает, что постоянные магниты намагничены однородно и размагничиванию не подвергаются.

Предложенная математическая модель медленно изменяющегося магнитного поля позволяет выполнить моделирование трех этапов (внесения, 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 субмикроробъектов коронки, проявляющаяся в изменении структуры. Это явление называется магнитострикционным упрочнением корпуса коронки, паяного слоя и твердосплавной подложки ВК 20.

О диффузионном характере механизма упрочнения свидетельствуют уменьшения областей когерентного рассеивания и параметра решетки мартенсита, выделение мелкодисперсных фаз-упрочнителей, увеличение твердости корпуса коронки после магнитной обработки. (Приложение А)

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).

В процессе перемагничивания материал инструмента испытывает циклически изменяющиеся магнитострикционные напряжения и деформации, в нем возникают индукционные токи. Протекание индукционных токов сопровождается выделением джоулева тепла, работа, затраченная на перемагничивание каждого элементарного объема, сопровождается выделением тепла гистерезиса, количество которого зависит от коэрцитивной силы материала инструмента. На ферромагнитное тело в магнитном поле действуют силы магнитного притяжения. Если тело лишено возможности притягиваться к полюсам, то в его объеме должны возникать напряжения от действия этих сил. При повороте тела направление и знак напряжений, действующих на каждый условно выделенный объем, меняются по отношению к этому объему. При вращении ферромагнетика в 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. Индук-

ционные 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.

Хотя энергия накладываемых извне магнитных полей значительно ниже энергии образования новых дефектов субмикроструктуры, она оказывается достаточной для инициирования в твердом теле процессов, энергетическим источником которых является внутренняя энергия искаженной кристаллической решетки. Установлено, что воздействие магнитных полей приводит к необратимым изменениям структуры и свойств не только у ферромагнетиков, но также у материалов, у которых нет областей спонтанной намагниченности. Релаксация образующихся в кристаллической решетке напряжений связана с распадом метестабильных дефектных комплексов, что приводит к повышению подвижности дефектов структуры (ускорению диффузии). С другой стороны, после освобождения дефектов появляется возможность образования устойчивых, с большой энергией связи, дефектных ассоциаций. Одним из механизмов, контролирующих повышение свободных дефектов в электропроводных твердых телах, является групповое упорядочение дефектов, в том числе их вынос на поверхность кристалла под воздействием электронных вихрей, возникающих от действия импульсивного поля.

В качестве объяснения зафиксированным остаточным напряжениям и изменениям структуры было выдвинуто предположение о распаде остаточного аустенита и протекания диффузионных процессов под воздействием магнестрикционных напряжений и микродеформаций. Одним из предположений было возможное насыщение приповерхностного слоя коронок атомами окружающей среды. Во время магнестрикционных упругих сдвигов на поверхности коронок могут кратковременно появляться ювенильные участки структуры, на которые адсорбируются атомы и ионы вещества окружающей среды, а затем втягиваются в металл при упругом возврате сдвигов.

Перемагничивание закаленных сталей, как и буровых коронок, сопровождается изменениями напряженного состояния и структуры приповерхностного слоя. При этом происходит диффузия к поверхности 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 параметр с 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 (см. приложение А). Из рассмотренных ранее видов магнитной упрочняющей обработки магнитноимпульсный способ и перемагничивание имеют много общего как по характеру воздействия, так и по проявлениям. Различаются они амплитудными значениями поля, направлени-

ем магнитного потока по отношению к упрочняемым поверхностям и технологическими возможностями.

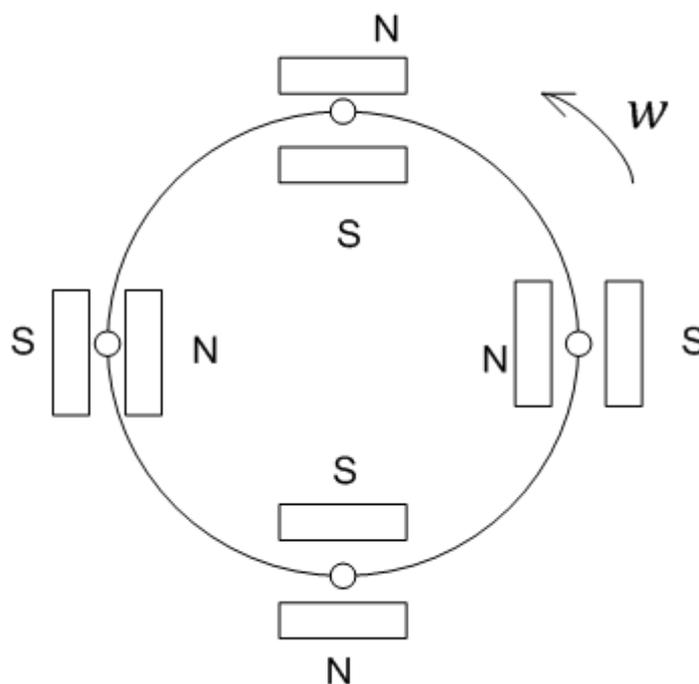


Рис.4.13 Схема омагничивания-размагничивания коронки

На рисунке 4.13. 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.

Желательно коронки размещать в устройстве для намагничивания не по оси магнитных полей, а с некоторым смещением, поэтому в процессе обработки инструмента магнитные силовые линии пересекают его тело неравномерно и различные его участки намагничиваются неодинаково, что

позволяет уменьшить концентрацию внутренних и поверхностных напряжений, а следовательно, увеличить стойкость инструмента.

Как показали исследования по магнитной обработке коронок основными показателями влияющими на ее эффективность, являются: род магнитного поля (переменное, постоянное, пульсирующее, импульсное); напряженность магнитного поля установки; время намагничивания; материал, масса, габариты коронки; расположение изделия в индукторе 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.

Наличие у вещества магнитных свойств проявляется в изменении параметров магнитного поля по сравнению с полем в немагнитном пространстве. Происходящие физические процессы в микроскопическом представлении связывают с возникновением в материале под воздействием магнитного поля магнитных моментов микротоков, объёмная плотность которых называется вектором намагниченности.

Возникновение намагниченности в веществе при помещении его в магнитное поле объясняется процессом имущественной ориентации магнитных моментов циркулирующих в микротоках в направлении поля. Подавляющий вклад в создание микротоков в веществе вносит движение электронов: спиновое и орбитальное движение связанных с атомами электронов, спиновое и свободное движение электронов проводимости.

Из рассмотренных ранее видов магнитной упрочняющей обработки, магнитноимпульсный способ и перемагничивание имеют много общего как по характеру воздействия, так и по проявлениям. Различаются они амплитудными значениями поля, направлением магнитного потока по отношению к упрочняемым поверхностям и технологическими возможностями.

В ряде изобретений для магнитной обработки инструмента предлагается использовать пульсирующие, знакопеременные, а также бегущие и вращающиеся магнитные поля.

В лабораторных условиях Южно-Российского государственного политехнического университета были проведены исследования по выявлению влияния остаточного магнитного и криогенно-магнитного поля на прочность буровых коронок, армированных АТП. Опытная проверка коронок осуществлялась в постоянном магнитном поле с напряженностью 320кА/м эрстед. Изменение твердости тела коронки в зависимости от времени после омагничивания показано на рисунке 4.14. Линия *AA* показывает твердость корпуса коронки до омагничивания.

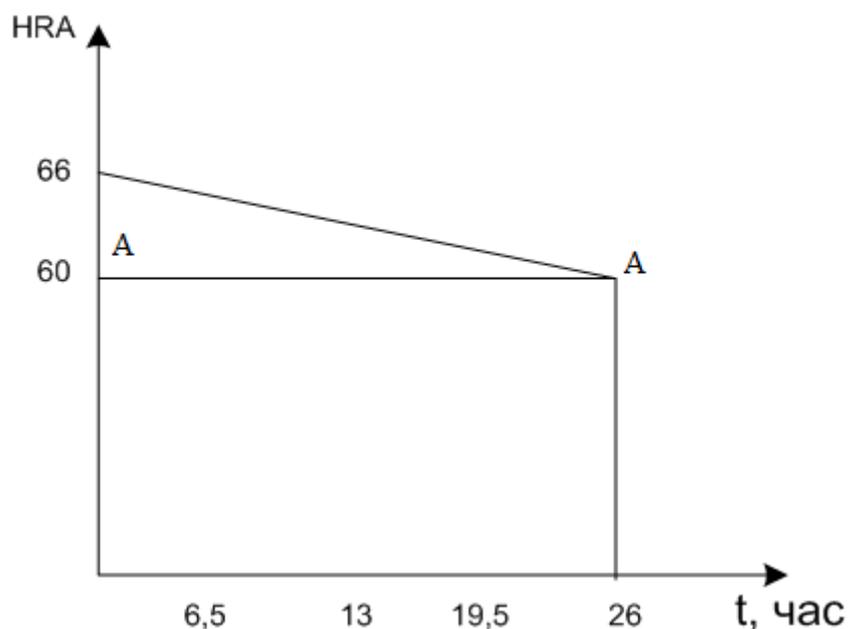


Рисунок 4.14. Изменение твердости коронки в течение времени после омагничивания

Выполненные исследования показывают, что время начала использования намагниченного инструмента должно быть не меньше 26 часов после обработки. Намагниченные коронки необходимо укладывать в деревянные ящики с одинаковым направлением режущих частей (в одну сто-

рону). Исследованиям подвергались три пары коронок, каждая вторая подвергалась упрочнению в постоянном магнитном поле.

Экспериментальные исследования по перемагничиванию осуществляли следующим образом. Коронку диаметром 112 мм помещали в постоянное магнитное поле напряженностью 320 кА/м эрстед на 15 мин, без обработки в жидком азоте, после чего измеряли твердость тела коронки. После этого коронку размагничивали и снова в течение 15 минут помещали в постоянное магнитное поле. Твердость измеряли после 10 циклов «намагничивание-размагничивание» на стенде (рисунок 4.16). Результаты сравнительных испытаний коронок при бурении пород VIII категории по буримости представлены в таблице 4.3

Таблица 4.3 Результаты сравнительных испытаний коронок

№ п/п и тип коронки	твердость по Роквеллу, НРА		проходка на коронку, м	Средняя механическая скорость бурения, м/ч
	сталь ХГСА	ВК-20		
1. обычная	59,1	89,1	79,4	11,5
2.обработанная в магнитном поле	66,8	91,8	103,1	15,1
3. обычная	59,0	89,0	78,5	11,7
4.обработанная в магнитом поле	66,7	91,7	105,1	14,8
5. обычная	59,2	89,2	79,2	11,6
6.обработанная магнитом поле	66,9	91,7	104,2	14,2

Твердость коронок по Роквеллу определялась на стандартном приборе. Таким образом, в результате выполненных исследований разработан

метод и подобраны технические средства криогенной обработки буровых коронок, армированных АТП, разработаны методические рекомендации по магнитной обработке. Установлено, что воздействие на буровые коронки постоянным магнитным полем позволяет повысить твердость на 13 %, механическую скорость бурения на 31 %, проходку на коронку более чем на 30%.

Для эксперимента отбирались четыре пары коронок, одна из них подвергалась упрочнению в жидком азоте, другая нет.

Экспериментальные исследования по упрочнению буровых коронок, армированных АТП, диаметром 112 мм за счет отработки в жидком азоте в течении 15 минут с последующей обработкой в постоянном вращающемся магнитном поле в полевых условиях при бурении горных пород VIII категории приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 Результаты сравнительные испытания

№ и п/п тип коронки	Твердость по Роквеллу, HRA		Проходка на коронку, м	Средняя механическая скорость бурения, м/ч
	корпус коронки сталь, ХГСА	подложка, ВК-20		
1. Обычная	60,0	89,0	78,5	11,0
2. Обработанная в жидком азоте	68,3	91,0	133,4	15,4
3. Обычная	60,0	89,0	77,9	11,1
4. Обработанная в жидком азоте	68,4	91,3	131,6	15,3
5. Обычная	60,0	89,0	78,1	11,2
6. Обработанная в жидком азоте	68,3	91,6	132,5	15,5
7. Обычная	60,0	89,0	77,7	10,8
8. Обработанная в жидком азоте	68,2	91,0	132,1	15,1

Твердость коронок по Роквеллу определялась на стандартном приборе. По результатам выполненных работ установлено, что твердость увеличилась на 14 % (рисунок 4.14).

В связи с вышеизложенным представляется целесообразным применять криогенную-магнитную обработку коронок для всех типоразмеров коронок, включая коронки для бурения с отбором керна съемными кerno-приемниками.

Криогенная обработка в виде термоудара приводит к существенным изменениям характера напряженного состояния коронки в месте пайки АТП за счет формирования напряжений сжатия. Это дает прямое объяснение эффекту повышения удерживающей способности АТП в посадочном гнезде коронки не только за счет сил адгезии, но и вследствие механического удерживания окружающим объемом металла. Учитывая, что выпадение пластин АТП из посадочного гнезда коронки является одним из механизмов износа породоразрушающего инструмента, дополнительное закрепление пластин является фактором повышающим ресурс бурового инструмента, что в данном случае является очень важным аргументом.

Результаты исследования показали, что эффективность магнитной обработки зависит от напряженности и оптимальной является напряженность магнитного поля равная 320 кА/м. В дальнейшем все испытания буровых коронок, армированных АТП, выполнялись при напряженности постоянного магнитного поля, равной 320 кА/м.

Нами выполнены исследования, показывающие зависимость коэффициента эффективности магнитной обработки ($K_{эм}$) от напряженности постоянного магнитного поля установки (рисунок 4.15).

Учитывая то, что эффективность магнитной обработки имеет определенные интервалы, т.е. максимум имеет вид горба, этим, возможно, и объясняются разноречивые данные по эффективности данной обработки у разных авторов. График показывает, что существует некоторый сравнительно узкий интервал значений напряженности магнитного поля в кото-

ром улучшаются режущие свойства коронок, за этим интервалом эффективность резко снижается.

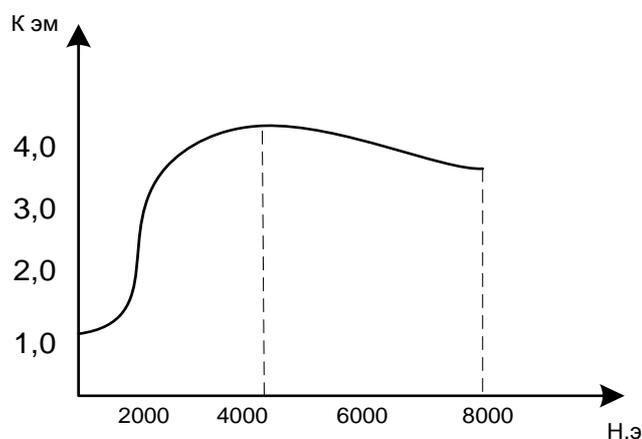


Рис.4.15 Зависимость коэффициента магнитной обработки от напряженности магнитного поля установки

На основании анализа литературных источников [195], а также предварительного моделирования сделан вывод, что чем больше размер поперечного сечения кольцевого постоянного магнита, тем больше значение напряженности магнитного поля P необходимо будет достигнуть в его окружении.

При конструировании устройства для омагничивания рассматривались два варианта материалов постоянных магнитов:

1. Магниты NdFeB(неодим-железо-бор) - редкоземельные магниты, отличающиеся высокими магнитными свойствами и низкой стоимостью. К недостаткам магнитов NdFeB относятся: относительная высокая температура, нестабильность, сильная подверженность коррозии. Для устранения последнего постоянные магниты неодим-железо-бор покрывают цинком, никелем, медью или комбинацией этих материалов.

2. Магниты на основе сплавов SmCo(самарий-кобальт) обладают комбинацией чрезвычайно высоких магнитных свойств: высокие значения остаточной магнитной индукции, коэрцитивной силы, а также высокой

температурной стабильностью и устойчивостью к процессам коррозии. Недостатками магнитов SmCo являются их высокая стоимость и хрупкость.

В частности рассматривались сплавы NiFeB35 и SmCo28 из стандартной библиотеки материалов Fsoft Maxwell. Основным отличительным параметром данных сплавов при моделировании магнитных полей является намагниченность. Для NiFeB35 она составляет 890 кА/м, для SmCo28 - 820 кА/м. Относительное расположение полюсов постоянных магнитов для омагничивания коронок показана на рисунке 4.18, которая применялась при выполнении всех экспериментальных работ.

Было установлено, что намагничивание и размагничивание коронок повышает их твердость на несколько процентов. Анализ фактического материала, а также теоретические и экспериментальные исследования способов магнитной обработки породоразрушающего инструмента позволило разработать устройство для упрочнения буровых коронок во вращающемся постоянном магнитном поле (рисунок 4.16). Применение этого устройства позволяет многократно перемагничивать буровые коронки в постоянном магнитном поле, напряженностью 320 кА/м. Перемагничивание осуществляется вращением буровой коронки вокруг неподвижно закрепленных постоянных магнитов с разноименными полюсами, закрепленными на столе. При этом скорость вращения постоянных магнитов изменяли от 1 об/мин до 5 об/мин, напряженность постоянного магнитного поля при этом не изменялась (320 кА/м). Скорость вращения стола определяет частоту перемагничивания. Установленные разнополюсно, через 90°, постоянные магниты позволяют за один оборот дважды намагничивать и размагничивать буровую коронку. (рисунок 4.17)

Геометрические размеры намагничивающего устройства (рисунок 4.16) состоящего из постоянных магнитов, обеспечивает создание постоянного магнитного поля с напряженностью 320 кА/м при диаметре коронок от 93 мм. до 225 мм.

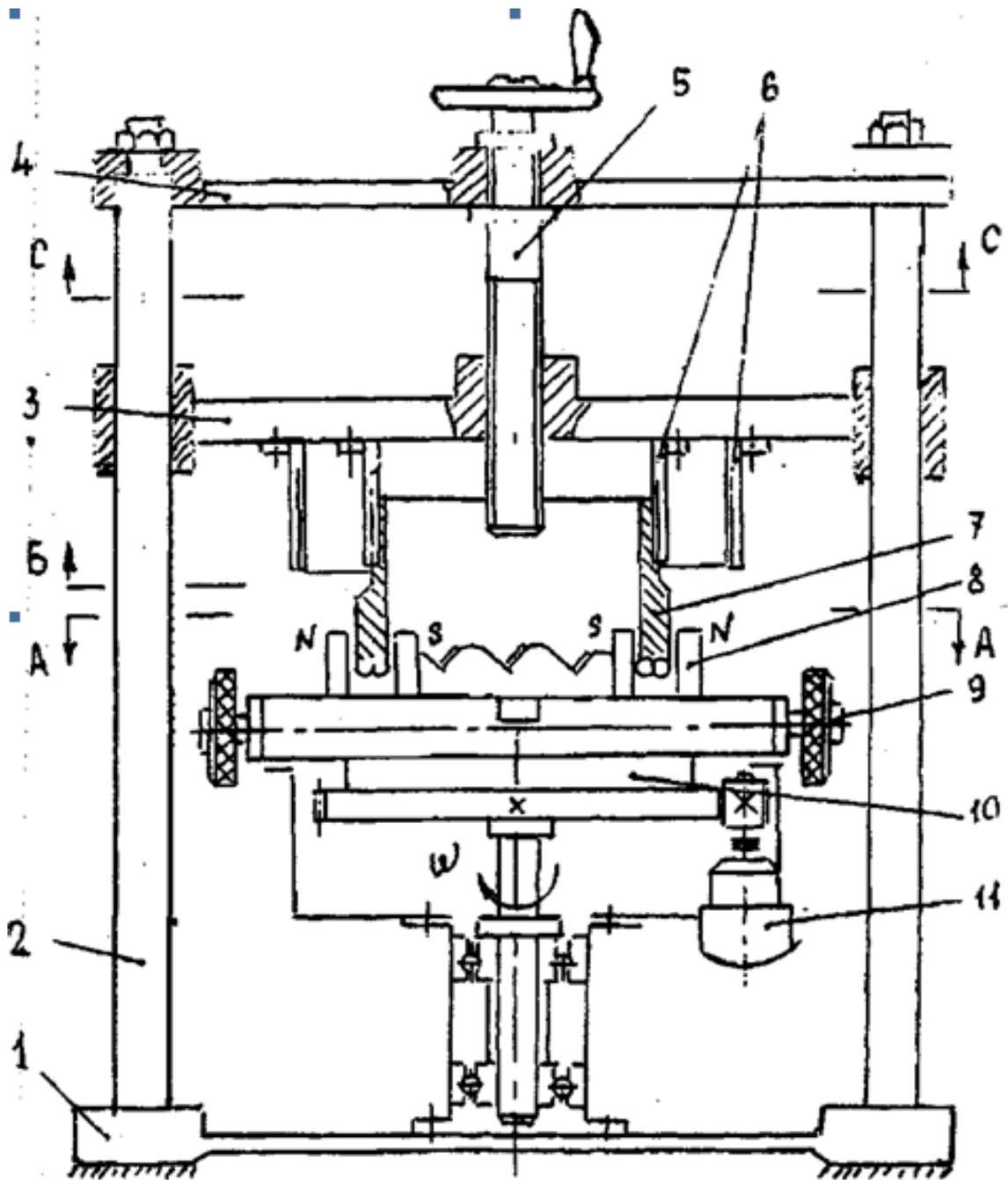


Рисунок 4.16 Стенд для обработки коронок вращающимся магнитным полем

1 - опорная плита; 2 - направляющие; 3- подвижная траверса; 4- неподвижная траверса с винтом; 5- винт подачи коронок; 6- втулки с резьбой для установки коронок на стенде; 7- буровая коронка. 8 -магниты N и S; 9 - винт перемещения магнитов под коронки разных диаметров; 10 - вращающийся стол; 11 - привод стола.

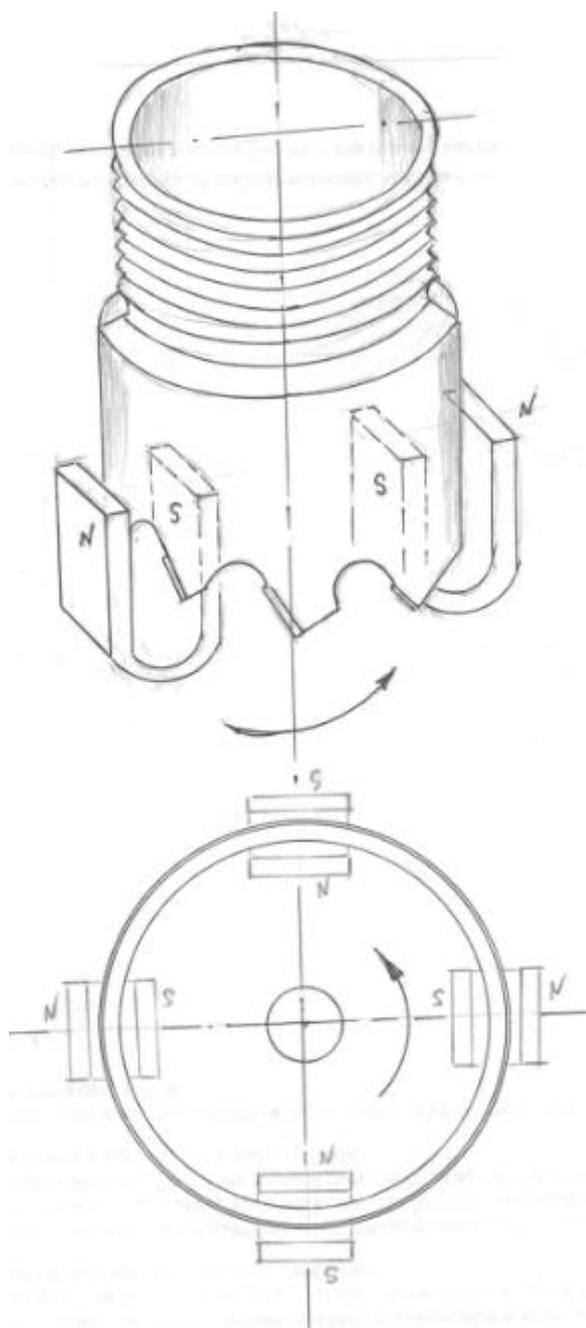


Рисунок 4.17 Схема установки коронки на испытательном стенде

В результате анализа существующих типов магнитов [195] и предварительного моделирования, в качестве основы намагничивающей системы выбрана конструкция постоянных магнитов, имеющих четыре полюса.

При выборе расположения полюсов магнитов, размещенных друг над другом, учитывалась необходимость обеспечения их взаимодействия для создания магнитного поля в коронке, находящейся во внутреннем диаметре

постоянных магнитов. Пунктиром на рисунке 4.18 показаны линии магнитного потока, замыкающиеся между полюсами постоянных магнитов.

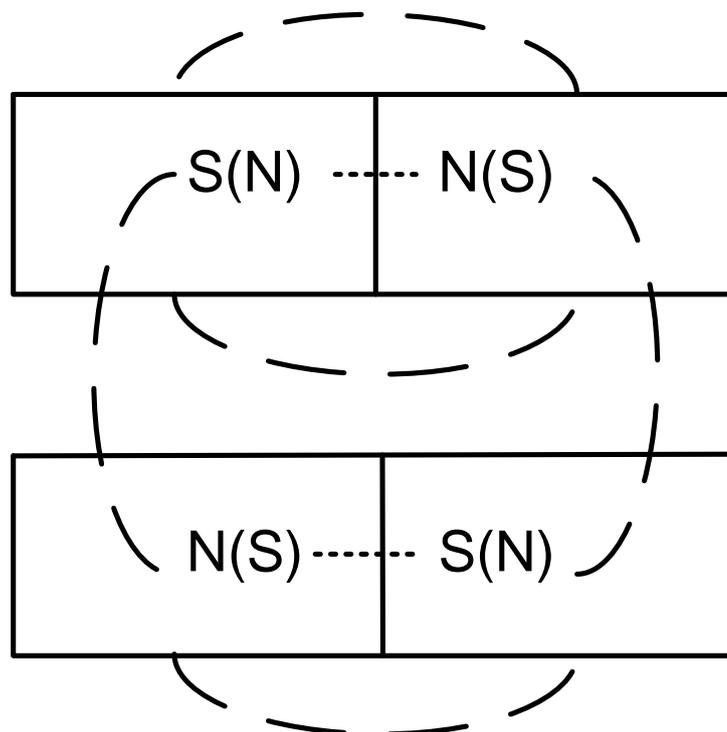


Рисунок. 4.18 Относительное расположение полюсов постоянных магнитов

При вращении постоянных магнитов (4 штуки) вокруг неподвижной коронки происходит намагничивание, потом – размагничивание или намагничивание с отрицательным (противоположным знаком рисунок 4.17).

Вращая постоянные магниты (4 штуки) вокруг неподвижной коронки выполняем намагничивание, потом размагничивание или намагничивание с отрицательным (противоположным) знаком (рисунок 4.16).

На основании анализа литературных источников [195], а также предварительного моделирования сделан вывод, что чем больше размер поперечного сечения кольцевого постоянного магнита, тем больше значение напряженности магнитного поля будет достигнуто в его окружении.

Результаты перемагничивания оценивали с помощью рентгеноструктурного анализа и измеряли величины магнитной напряженности. Длительность перемагничивания изменяли в пределах от 15 до 75 циклов. Результаты исследований представлены в таблице 4.5. Перемагничивание бур-

вых коронок привело к появлению в поверхностном слое напряжений сжатия. Исследование структуры позволяет установить, что исходная структура буровой коронки имела строение аустенита, а после перемагничивания приобрела мелкодисперсное зернистое строение по всему телу коронки в виде мартенсита.

В лабораторных условиях были выполнены исследования по намагничиванию-размагничиванию буровых коронок. 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 помещали в постоянное магнитное поле, намагничивали до технического насыщения, далее размагничивали с помощью устройства (рисунок 4.15) в постоянном магнитном поле путем вращения в обратном направлении. 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).

Намагничивание и размагничивание коронок, армированных АТП, выполнялось в лабораторных условиях ЦКП “Нанотехнологии” ЮРГПУ (НПИ) (рисунок 4.19)

Перемагничивание выполнялось на стенде (рисунок 4.16) путем вращения магнитов с постоянным магнитным полем равным 320 кА/м со скоростью от единицы до пяти оборотов в минуту. Результаты испытания показывают, что оптимальным является 60 циклов намагничивания-размагничивания. Увеличение количества циклов до 75 не приводит к увеличению твердости по шкале Роквелла, как твердосплавный подложки ВК-20, так и стали ХГСА.

Таблица №4.5 Результаты намагничивания - размагничивания буровых коронок после обработки в жидком азоте

№ коронки	Вид испытаний	Твердость по шкале Роквелла, <i>сплав ВК 20</i> <i>сталь ХГСА, Н</i>	Скорость вращения магнитов, об/мин	Напряженность магнитного поля, кА/м	Количество циклов намагничивания-размагничивания
1	До обработки во вращающемся магнитном поле	$\frac{89,0}{58,1}$	—	—	—
	После обработки во вращающемся магнитном поле	$\frac{91,0}{74,4}$	1	320	15
2	До обработки во вращающемся магнитном поле	$\frac{89,0}{58,0}$	—	—	—
	После обработки во вращающемся магнитном поле	$\frac{91,0}{75,0}$	2	320	30
3	До обработки во вращающемся магнитном поле	$\frac{89,0}{58,0}$	—	—	—
	После обработки во вращающемся магнитном поле	$\frac{91,1}{75,5}$	4	320	60
4	До обработки во вращающемся магнитном поле	$\frac{89,0}{58,0}$	—	—	—
	После обработки во вращающемся магнитном поле	$\frac{91,0}{75,5}$	5	320	75

Выполненные лабораторные испытания коронок, армированных АТП, показывают, что омагничивание инструмента не может рассматриваться как единственный метод упрочнения, поскольку, во-первых, рассматриваемые эффекты омагничивания очень малы и полностью обратимы.



Рисунок 4.19 Намагничивание и размагничивание коронки в лабораторных условиях

Выполненные лабораторные и полевые исследования коронок, армированных АТП, дают основания считать, что обработка их только в жидком азоте не может являться лучшим вариантом упрочнения. Исходя из этого считаем, что упрочнения коронок, армированных АТП, требуется комплексное криогенно-магнитное воздействие.

Анализируя выполненные экспериментальные работы можно сделать следующие выводы:

1. Предложен простой и эффективный метод омагничивания коронок, армированных АТП, с помощью постоянных магнитов.
2. Магнитная обработка должна осуществляться при перемещении силовых линий магнитных полей изменяющейся полярности, относительно коронки.
3. Эффективность омагничивания зависит как от состава материала постоянных магнитов так и от режимов магнитной обработки.
4. Полученные в результате экспериментальных работ данные позволяют утверждать, что криогенно-магнитное упрочнение буровых коронок,

армированных АТП, является действенным методом улучшения качества породоразрушающего инструмента.

5. Совместное последовательное применение для целей упрочнения криогенно-магнитной обработки позволило получить синергетический эффект.

6. Оптимальным режимом упрочнения буровых коронок, армированных АТП, является: воздействие жидким азотом (-196°C) в течении 15 минут, отпуск при нагревании до комнатной температуры ($+20^{\circ}\text{C}$) и обработка в постоянном магнитном поле с напряженностью 320 кА/м при 60 циклах перемагничивания в течении 15 минут, со скоростью вращения постоянных магнитов - 4 об/мин.

7. Раздельно выполненные исследования по магнитному и криогенному упрочнению установили, что обработка коронок в изменяющемся постоянном магнитном поле позволяет добиться увеличения механической скорости бурения и проходки на коронку в среднем на 30%, при этом твердость повышается на 13%, а обработка коронок в жидком азоте позволила увеличить механическую скорость бурения на 40%, проходку на коронку на 70%, при этом твердость увеличилась на 14%.

8. Для повышения технико-экономических показателей работы буровых коронок, армированных АТП, необходимо выполнять комплексное криогенно-магнитное воздействие.

9. Установлено сохранение структуры материала коронок и основных их свойств, после воздействия постоянным магнитным полем напряженностью 320 кА/м наблюдается в течении 26 часов.

4.4. Экспериментальные исследования процессов криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок.

В настоящее время известны различные способы упрочнения породоразрушающего инструмента (А.С. РФ № 2011151863 А.С. СССР № 485161. Известен также способ упрочнения инструмента (А.С. 210456 С 1)

путем использования обработки холодом, за счет погружения в жидкий азот, а после обработки холодом проводят облучение гамма-квантами. Недостатком этого способа является использование сложного и опасного технологического процесса (обработка гамма-квантами) и как результат незначительное повышение стойкости породоразрушающего инструмента..

Повышение работоспособности буровых коронок, армированных АТП, путем изменения физических свойств корпуса коронки режущей части алмазно-твердосплавных пластин, паяного слоя и твердосплавной подложки, является актуальной задачей в настоящее время. Достигается поставленная задача за счет того, что упрочнение буровых коронок, армированных АТП, включает обработку холодом в течении 15 минут и воздействие постоянным магнитным полем в течении 15 минут напряженностью 320 кА/м. Породоразрушающий инструмент, в частности алмазно-твердосплавная буровая коронка, армированная алмазно-твердосплавной пластиной (АТП), обрабатывается холодом в сосуде Дьюара от температуры положительной 20°С до отрицательной - минус 196°С, далее коронки доводят до температуры + 20°С и помещают в постоянное магнитное поле.

Известно, что прочность и износостойкость коронок, армированных АТП в значительной степени зависит от их структуры и от качества паяного слоя. В качестве паяного слоя применяется специальный сплав. Воздействуя целенаправленно на структуру различными способами можно улучшить прочность и износостойкость буровых коронок. Практически все физические свойства твердых тел определяются взаимным расположением, характером взаимодействия и интенсивностью движения атомов кристаллической решетки и свободных электронов. При низких отрицательных температурах происходят радикальные изменения свойств материалов (корпуса коронки твердого сплава, алмазного слоя АТП и паяного слоя). Состояние твердых тел при этом характеризуется малой энергией частиц, пониженным значением энтропии. Такое состояние имеет место только то-

гда, когда коронка принимает температуру окружающей среды (в нашем случае, температуру жидкого азота – 196°С). Основными факторами, определяющими прочностные характеристики коронки, армированной АТП, являются соотношение компонентов, размер зерен, наличие примесей, количество и размер пор, размеры полей напряжений.

После обработки коронок в криогенно-магнитной среде рентгеноструктурный анализ показал: соотношение компонентов, количество примесей и пор не изменяется, наблюдается перестройка структуры, уменьшаются блоки микромозаики, исходные поля напряжений рассредотачиваются. Эти данные доказывают деформационное упрочнение твердого сплава, паяного слоя и алмазного слоя пластины. При этом увеличивается плотность дислокаций твердых сплавов, происходит изменение физико-механических (снижение термо ЭДС и коэффициента трения, увеличение коэрцитивной силы и твердости) и режущих свойств буровых коронок.

Повышение эксплуатационных характеристик буровых коронок после их обработки достигается созданием в корпусе коронки, твердом сплаве, паяном слое напряженного состояния за счет повышения остаточных напряжений сжатия в различных фазах и остаточных паяных напряжений, при этом повышается микротвердость, снижается деформация.

Изменение структуры тела коронки, паяного слоя, подложки АТП и алмазного слоя АТП под влиянием внешнего воздействия криогенно-магнитным полем дает возможность проследить взаимосвязь структур составляющих частей коронки, взаимодействие частиц и релаксационное поведение во времени.

В процессе исследований основное внимание было уделено определению физико-механических характеристик коронок, армированных АТП, в частности: предел прочности при изгибе, ударная вязкость, деформация, твердость, хрупкость, коэффициент износа при бурении, структурные и текстурные изменения, атомно-кристаллическое строение, включая рент-

геноструктурный анализ, метод радиографического декодирования и исследование на электронном микроскопе «Quanta200».

Технология криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок, армированных АТП, осуществляется следующим образом. Коронки с температурой 20°С помещаются в сосуд Дьюара с температурой жидкого азота -196°С на 15 минут, после чего доводят температуру коронок до естественной температуры окружающей среды порядка 20°С. Далее коронки помещают в постоянное магнитное поле с напряженностью 320 кА/м на 15 минут. После этого коронки готовы к эксплуатации.

Скорость погружения в жидкий азот составляла 0,2-0,3 с., время одноразового погружения 15 мин. Расстояние между одновременно обрабатываемыми изделиями должно быть не менее 20 мм, чтобы испаряющийся при кипении азот не создавал вокруг обрабатываемых изделий газопаровую оболочку.

Обработка бурового породоразрушающего инструмента в постоянном магнитном поле после воздействия холодом снимает механические напряжения, повышает пластичность и предел упругости всех составных частей буровой коронки. За счет этих процессов в композиционных алмазосодержащих материалах (АТП), из которых изготавливают вооружение буровых коронок, наряду с упрочнением паяного слоя повышаются адгезионные свойства синтетического алмазного порошка особенно на контакте алмазного слоя и твердосплавной подложки, что сопровождается улучшением взаимного сцепления алмазных зерен. Паяный слой надежнее удерживает пластину АТП в гнезде коронки, что приводит к увеличению работоспособности коронки в целом и, каждой отдельной АТП, в частности. Анализ причин выхода буровых коронок из строя показал, что до 15% случаев приходится на потерю алмазно-твердосплавного вооружения, то есть имеется острая необходимость улучшать прочностные характеристики паяного слоя. Фактическая площадь пятна контакта корпуса буровой коронки с ее алмазно-твердосплавным вооружением значительно меньше

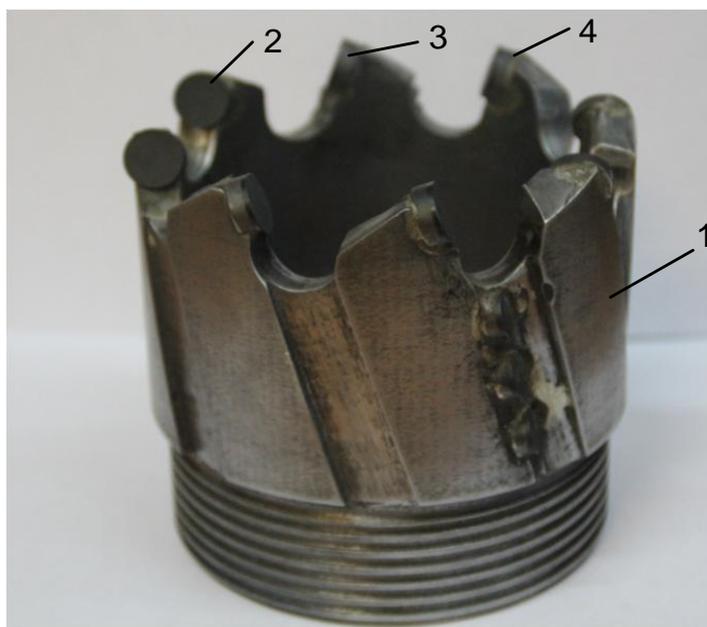
номинальной площади контакта, что не позволяет обеспечить требуемое качество соединения, снижающее ресурс буровой коронки. Вот почему очень важно улучшить качество паяного слоя АТП.

Полученные нами результаты исследования позволили сформировать версию о механизме упрочнения структуры всех материалов коронки, армированной АТП, при последовательном воздействии холодом и постоянным магнитным полем.

Криогенно-магнитная обработка коронок представляет собой технологический процесс, который позволяет повысить основные физико-механические характеристики корпуса коронки твердого сплава, алмазного слоя и качество закрепления АТП в корпусе коронки, что обеспечивает существенное повышение износостойкости и прочности коронки. На рисунке 4.20 показана стабилизирующая, антивибрационная коронка, армированная АТП, после криогенно-магнитного упрочнения.

Криогенно-магнитная обработка коронок повышает микротвердость, предел прочности при изгибе и деформацию, позволяет производить объемное упрочнение твердосплавного и алмазного породоразрушающего инструмента. Механизм упрочнения обусловлен изменением кристаллической структуры твердых сплавов (подложка АТП) за счет пластической деформации кобальтовой связки в локальных областях.

При применении криогенного способа упрочнения в твердом сплаве формируется объемное микроскопическое напряженное состояние сжатия, увеличивается плотность дислокаций. При этом дислокации снимаются с точек закрепления и занимают наиболее выгодное в энергетическом отношении положение, что приводит к снятию микронапряжений и уменьшению хрупкости металлов коронки и сплавов. Все это приводит к повышению износостойкости коронок.



1-корпус коронки, 2-посадочное гнездо АТП, 3-АТП, 4- паяный слой
 Фото. 4.20. Общий вид стабилизирующей антивибрационной буровой коронки после упрочнения

С помощью метода рентгеноструктурного анализа была определена плотность дислокаций. При последующей обработке постоянным магнитным полем установлено, что плотность дислокации уменьшается. В результате пайки АТП на корпусе коронки возникают остаточные напряжения. Применение специального паяного слоя позволило избежать высоких напряжений, когда мартенсит переходит в аустенит при высокой температуре. Микротвердость образцов замерялась до и после обработки на приборе ПМГ-3 алмазным индентором.

Коронки взвешивались до и после испытаний и обрабатывались до полного износа (прекращение углубки, повышение давления на насосе). В процессе испытаний фиксировалась проходка на коронку и механическая скорость бурения.

Сравнительные испытания буровых коронок, диаметром 112 мм, армированных АТП, выполняли 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. 4.6.

Анализ таблицы 4.6 показывает, что упрочнение в жидком азоте и постоянном магнитном поле напряженностью 320 кА/м, приводит к снижению напряжения за счет изменения кристаллической структуры металлического корпуса коронки, паяного слоя, карбид-вольфрамовой подложки АТП, алмазного слоя АТП. При этом увеличивается плотность дислокаций и износостойкость коронки в целом, что в конечном итоге, дает увеличение на 22,2 % проходки на одну коронку.

Данные экспериментальной отработки коронок показывают, что оптимальным результатом является опыт № 18, когда коронка обрабатывалась в жидком азоте - 15 минут и в дальнейшем подвергалась воздействию постоянным магнитным полем в течении 15 минут с напряженностью магнитного поля – 320 кА/м.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что именно обработка коронок в жидком азоте (-196°С) в течении 15 минут с последующим охлаждением до +20°С и воздействием магнитным полем в течении 15 минут с напряженностью 320 кА/м дает новый, неочевидный технический результат. На криогенно-магнитный способ упрочнения коронок, армированных АТП, получен патент RU №244543.

Существенное повышение эксплуатационных показателей коронок, армированных АТП, при воздействии на них жидким азотом (-196°С) с последующим воздействием магнитным полем (320 кА/м) может быть достигнуто только при оптимальном сочетании всех параметров криогенно-магнитной обработки, обеспечивающих повышения качества закрепления алмазов в корпусе коронки за счет изменения структуры паяного слоя, корпуса коронки и твердосплавной подложки ВК-20.

Таблица 4.6 Экспериментальная обработка коронок, армированных АТП

№ п/п тип коронки	Время воз- действия жидким азотом, мин	Время воздействия постоянным магнитным полем, мин	Напряженность постоянного магнитного по- ля, кА/м	Проход- ка на ко- ронку, м	Увеличе- ние про- ходки, %
1	2	3	4	5	6
1 обычная	-	-	-	127,2	-
2 экспериментальная	10	10	239	151,9	19,4
3 обычная	-	-	-	128,1	-
4 экспериментальная	12	12	239	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	239	155,6	19,7
9 обычная	-	-	239	130,1	-
10 экспериментальная	15	15	239	156,0	19,9
11 Обычная	-	-	-	128,2	-
12 экспериментальная	18	16	239	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	278	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	358	155,0	21,1
21 обычная	-	-	-	129,8	-
22 экспериментальная	16	16	358	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

Испытания буровых коронок проводили с целью установления количественных показателей влияния режимов обработки постоянным магнитным полем с напряженностью 320 кА/м на скорость бурения и износостойкость. Результаты испытания представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 Режим обработки коронок

№ опыта п/п	Режим бурения			Условия обра- ботки	Ско- рость буре- ния м/час	Износостой- кость
	P, кН	Q, л/мин	N, об/ми н			
1 112 АТП	13,0	16,0	350	обработанная	18,9	2,4
2 112 АТП	13,0	16,0	350	не обработанная	11,5	1,0
3 112 АТП	13,0	16,0	350	обработанная	19,0	2,5
4 112 АТП	13,0	16,0	350	обработанная	19,1	2,48
5 112 АТП	13,0	16,0	350	не обработанная	12,9	1,2
6 112 АТП	13,0	16,0	350	обработанная	18,0	2,3

Бурение выполняли на станке СКБ-4 с абразивностью 40 мг и категорией горных пород по буримости - VII, каждая коронка прошедшая криогенно-магнитную обработку находилась в работе в течении 10 часов.

Обработанные в криогенно-магнитном поле коронки показали минимальный износ. В таблице 4.7 показана интенсивность износа, то есть величина обратная интенсивности прироста площадки затупления.

Известно, что прочность твердых сплавов зависит от многих факторов, основными из которых являются: фазовый состав, размер зерен исходных компонентов, напряжения в кобальтовой и карбидной фазах— наличие примесей, трещин, пор и т.д. Воздействуя на эти факторы различными методами, можно изменять в нужном направлении прочностные характеристики сплавов: текучесть, предел текучести разрушающую нагрузку и предел прочности при изгибе деформацию, жесткость, хрупкость и др.

Многие из этих характеристик определяются структурой и текстурой сплава. Характер же структуры и текстуры зависит от технологии изготовления образцов, режима кристаллизации, исходного состояния компонентов, входящих в состав твердого сплава или КАМ.

Исходными веществами, входящими в состав сплава типа ВК, являются монокрибиды вольфрама (WC) и кобальт (Co). Сплавы типа Т15К6 состоят из карбида титана (TiC) и Co. Сплавы изготавливаются спеканием

смеси порошков исходных компонентов при температуре 1320-1500°С. При этом их микроструктура теоретически должна быть двухфазной, состоящей из зерен WC и участков связующей фазы. Однако в реальных изделиях из твердого сплава присутствует ещё одна фаза – свободный углерод в виде модификаций графита, который заметно снижает прочностные характеристики сплава. [130]

В зависимости от соотношения WC, TiC и Co, технологических режимов их спекания сплавы характеризуются определенной структурой микрокристаллических зерен и текстурой, то есть способом их сложения в объеме образца. Структура сплава состоит из зерен WC и TiC размером 1-15 мкм и участков связующей фазы Co толщиной 1-5 мкм. Зерна WC и TiC представляют собой один или несколько микрокристаллов, каждый из которых состоит из блоков мозаики, имеющих еще более мелкие размеры. Наличие примеси углерода, а также других элементов внутри кристаллической решетки приводит к ее искажению и возникновению микролокальных полей и участков напряжений внутри зерен WC и TiC и особенно на их поверхности.

Изделия из твердого сплава теоретически должны иметь равномерно зернистую текстуру, однако вследствие флуктуаций теплового поля в процессе кристаллизации и неравномерности распределения зерен исходной шихты происходит дисперсионное отверждение, ведущее как правило, к неравномерно зернистым текстурам, образованию пор, что сопровождается значительным разбросом физико-механических свойств в пределах одного образца.

Таким образом, характер структуры и текстуры твердого сплава отображается его физико-механическими свойствами, а также характером напряжений как по объему, так и по поверхности образца.

В большинстве работ, в которых предпринимались попытки повысить прочностные характеристики твердых сплавов, отрицательные ре-

зультаты объясняются тем, что для упрочнения использовались методы, которые не приводили к объемным структурным превращениям. При этом, как правило, упрочнялся только поверхностный слой изделия.

На основании ранее проведенных исследований нами было сделано предположение, что криогенная обработка и дальнейшее воздействие магнитным полем приводят к структурным и текстурным превращениям в твердом сплаве и повышению их физико-механических характеристик по всему объему. Экспериментально эти выводы были подтверждены методами радиографического декорирования. Определенный интерес представляет исследование влияния криогенной и магнитной обработки, а также их комплексного воздействия на прочностные характеристики твердого сплава. Их количественная оценка проводилась на образцах твердых сплавов ВК8, 8К6 Т15К6. Для исследований использовались резцы формы 1321 и Г-5108. Испытания образцов на изгиб проводились по стандартной схеме нагружения, согласно которой нагрузка прикладывалась в виде сосредоточенной силы в центре резца между опорами. В качестве источника нагрузки использовалась испытательная машина УМГП-3. Нагрузка передавалась через клиновидный твердосплавный индентор с диаметром скругления лезвия 0,5 мм. Результаты записывались в виде диаграммы в координатах «нагрузка-деформация». Значения предела прочности при изгибе $\delta_{из}$ (кГс/см) вычислялись по формуле

$$\delta_{из} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (4.2)$$

Где P – разрушающая нагрузка, кГс;

L – расстояние между опорами, см;

b – ширина образца, см;

h – высота образца, см.

Расстояние между опорами подбирались в соответствии с длиной образцов.

Жесткость образцов при изгибе (кГс/мм) определялась по формуле

$$C = \frac{P}{\delta}, \quad (4.3)$$

Где δ – величина деформации, мм.

Жесткость при таком виде испытаний характеризует способность образца сопротивляться внешней изгибающей силе деформации. Чем больше величина жесткости, тем значительней упруго хрупкие качества, и, наоборот, чем меньше значение жесткости, тем больше проявляются его упруго - пластические свойства.

По каждому виду обработки проводилось не менее семи опытов, по которым определялись средние значения $\delta_{из}$, среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариации, который по всему объему экспериментов не превышал 13%, что свидетельствует о хорошей воспроизводимости результатов. Оценка твердости образцов до и после обработки производилась по методу Роквелла, а микротвердость измерялась на микротвердомере ПМТ-3. Для криогенной обработки использовался жидкий азот. Результаты, испытаний представлены в таблице 4.8.

Выполненные экспериментальные исследования показывают, что после воздействия на твердые сплавы криогенно-магнитным способом упрочнения увеличивается твердость твердосплавных сплавов. Добиться повышения твердости алмазного слоя пластины не удалось.

Главной задачей при криогенной обработке коронок, армированных АТП было установить не произойдет ли отслаивание алмазного слоя от твердосплавного и как себя будет вести паяный слой, выполненный припоем ПСР-45 между АТП и телом коронки. Выполненные исследования показали что отслаивание алмазного слоя не произошло, а паяный слой сохраняется целостным. Многообразие режимов обработки определялось необходимостью выбора наиболее эффективных из них, которые в дальнейшем можно взять за основу при упрочнении готового ПРИ.

Таблица 4.8 Результаты экспериментальных испытаний

№ п/п	Марка твердых сплавов	Не обработанные сплавы. Твердость по Роквеллу, HRA	Обработанные в криогенно-магнитном поле. Твердость по Роквеллу, HRA
1	Сталь ХГСА (корпус коронки)	59,9	66,5
2	ВК-8	87,9	90,1
3	ВК-6	88,8	90,0
4	ВК-20 (подложка АТП)	89,0	91,3
5	Алмазный слой АТП (толщина до 2 мм)	96,0	96,0

Анализ результатов сравнительных испытаний свидетельствует о заметном влиянии почти всех видов обработки на величину разрушающей нагрузки P , предел прочности при изгибе $\delta_{из}$, деформацию и твердость.

Криогенная обработка в широком диапазоне изменения ее режимов незначительно влияет на величины P и $\delta_{из}$. Однако деформация при этом снижается существенно - от 14 до 24%. Особенно это проявляется у образцов с $T_{исх}=1000^{\circ}\text{C}$, у которых $\delta_{из}$ снижается на 7%, а деформация - на 24%. Очевидно, большой перепад температуры в процессе обработки от $+100^{\circ}\text{C}$ до -196°C приводит к дополнительному нарушению межзерновых связей, появлению трещин и суперпозиционных полей напряжений.

Исследования показали, что твердость сплава при всех режимах криогенной обработки увеличивается. Известно, что сплавы с большой твердостью и хрупкостью характеризуются высокой износостойкостью при сравнительно низких значениях прочности и ударной вязкости. И наоборот, сплавы с повышенными пластическими свойствами и пониженной

твердостью отличаются малой износостойкостью и повышенной прочностью. Такая закономерность позволяет объяснить резкое повышение проходки на обработанные жидким азотом твердосплавные коронки при бурении скважин в крепких, абразивных, монолитных горных породах. Однако при бурении трещиноватых пород, где имеют место ударные нагрузки, твердосплавные резцы из-за повышенной хрупкости разрушаются быстрее и эффективность криогенной обработки заметно снижается. [131]

Существенное повышение эксплуатационных показателей коронок, армированных АТП, при воздействии на них жидким азотом (-196°C) с последующим воздействием магнитным полем (320 кА/м) может быть достигнуто только при оптимальном сочетании всех параметров криогенно-магнитной обработки, обеспечивающих повышение качества закрепления АТП в корпусе коронки за счет изменения структуры паяного слоя, корпуса коронки и твердосплавной подложки ВК-20.

Экспериментальные исследования по перемагничиванию коронок с учетом обработки в жидком азоте осуществляли следующим образом. Коронку диаметром 112 мм помещали в постоянное магнитное поле напряженностью 320 кА/м на 15 мин, после чего измеряли твердость тела коронки. После этого коронку размагничивали и снова в течение 15 минут помещали в постоянное магнитное поле. Твердость измеряли после 10 циклов «намагничивание-размагничивание». Результаты сравнительных испытаний коронок при бурении пород VIII категории по буримости представлены в таблице 4.9

Твердость коронок по Роквеллу определялась на стандартном приборе, износ коронки в миллиграммах на электронных весах. Таким образом, в результате выполненных исследований разработан метод и подобраны технические средства для криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок, армированных АТП, разработаны методические рекомендации. Установлено, что обработка коронок диаметром 112 мм в криогенно-

магнитной среде увеличивает твердость по Роквеллу до 30 %, механическую скорость бурения в 1,7 раза, проходку на коронку до 2х раз.

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).

Таблица 4.9 Результаты сравнительных испытаний

№ п/п и тип коронки	твердость по Роквеллу, HRA сталь ХГСА	проходка на коронку, м	Средняя механическая скорость бурения, м/ч
1. обычная	58,1	80,2	11,5
2.обработанная в криогенно-магнитном поле	75,1	160,0	19,8
3. обычная	58,0	78,5	11,7
4.обработанная криогенно-магнитном поле	75,0	159,5	19,7
5. обычная	58,0	79,2	11,6
6.обработанная в криогенно-магнитном поле	75,1	159,7	19,6

Максимальный прирост твёрдости HRA наблюдался при 60 циклах, а продолжение перемагничивания дальнейшего повышения твердости не да-

ет. Размагничивание - намагничивание выполнялось в течение 15 минут, путем вращения постоянных магнитов со скоростью 60 об/мин. Данные эксперимента показывают, что при одинаковой напряженности магнитного поля равной 320 кА/м твердость паяного слоя (ПСР-45), твердость корпуса коронки (сталь ХГСА) и твердость 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 4.10).

Таблица 4.10 Данные замеров твердости коронок до и после обработки в криогенно-магнитном поле

№	Тип коронки	Напряженность постоянного магнитного поля, кА/м	Твердость, НРА							
			до обработки				после обработки			
			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	320	58,1	89,0	57,5	96,0	75,6	91,5	70,1	96,0
2	112 АТП	320	58,0	89,0	57,5	96,0	75,5	91,5	70,1	96,0
3	151 АТП	320	58,0	89,0	57,5	96,0	75,5	91,5	70,0	96,0
4	225 АТП	320	58,0	89,0	57,5	96,0	75,1	91,4	70,0	96,0

Таким образом криогенно-магнитная обработка коронок, армированных АТП, приводит к существенному увеличению прочности. Применяя криогенно-магнитный способ упрочнения удалось добиться уменьшения потери АТП, повысить твердость корпуса коронки, паяного слоя и твердосплавной подложки ВК-20. Для выполнения лабораторных работ использовалось следующее оборудование центра коллективного пользования «Нанотехнологии» НИИ Нанотехнологий и новых материалов ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова:

- система измерения твердости по шкале Роквелла;

- сканирующий электронный микроскоп QUANTA 200 (FEL, Голландия);

- микроскоп стереоскопический для микроструктурного анализа с цифровой камерой;

- анализатор фрагментов микроструктуры твердых тел «Siams 700»;

-оптико-эмиссионный спектрометр Q8MA GELLAN;

-дифрактометр ARLXTRA («Thermo Scientific, Швейцария»). Для выполнения рентгенофазового анализа;

-микроанализатор EDAX Genesis (приставка энергодисперсионного анализа к микроскопу QUANTA 200);

QUANTA 200 – совершенный многофункциональный сканирующий электронный микроскоп для автоматизированных исследований на современном уровне. Отличительная особенность микроскопа состоит в возможности исследования объектов в высоком и низком вакууме, а также в естественной среде, что позволяет изучать более широкий спектр объектов. Техническая характеристика QUANTA 200:

-увеличение – 50 – 1500000 крат

-разрешение – 3,5 НМ при 30 кВ в режиме высокого вакуума

-давление в камере – 10^{-3} Па

-величина горизонтального поля зрения, макс. – 10 мм

-ток зонда до 1 мкА

-время откачки до высокого вакуума – 3,5 мин.

QUANTA 200, оснащенный приставкой энергодисперсионного анализа EDAX Genesis, обладает такими же информационными возможностями, как при использовании нескольких аналитических средств (три вакуумных режима, увеличение до 200000х, разрешение 3НМ, элементный анализ с построением карт распределения химических элементов по поверхностям.

Техническая характеристика микроанализатора EDAX Genesis:

-разрушающая способность в точке – 1 мкм^3 ;

-время проведения анализа в точке – 1 мин;

- время набора элементной карты – от 15 до 60 мин;
- детектируемые элементы – от Be^4 до V^{92} ;
- элементный анализ – качественные и количественный;
- количественный анализ представлен в весовых и атомарных процентах;
- погрешность количественного анализа – 2,5% для тяжелых элементов и до 10% для легких элементов;
- концентрация примеси для обнаружения – не менее $10 \cdot 10^{-3}$ см.

Используя возможности ЦКП «Нанотехнологии» 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 \varnothing 8 мм с толщиной алмазного слоя (h – 0,8мм), высотой подложки (H – 4,5 мм); АТП \varnothing 10 мм (h – 2 мм, H – 4,5 мм); АТП \varnothing 13,5 мм (h – 2,0мм, H – 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 интентором по методу Роквелла (HRA). Все испытания выполнялись до и после термоудара в сосуде Дьюара, до и после воздействия криогенно-магнитным полем.

Экспериментальные данные приведены в приложении А.

Выполненные лабораторные и полевые исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Установлено, что снижение интенсивности изнашивания коронок, армированных АТП, после криогенно-магнитной обработки, приводящей к увеличению плотности структуры коронок, связано с ростом плотности дислокаций в карбидной составляющей корпуса коронки, с соответствующим, повышением коэрцитивной силы и твердости.

2. Получен синергетический эффект от последовательного выполнения технологии упрочнения буровых коронок, армированных АТП, за счет погружения в жидкий азот и последующей обработки в постоянном, вращающемся магнитном поле с размагничиванием.

3. Разработана математическая модель, позволяющая определить остаточную намагниченность буровых коронок.

4. Разработан технологический процесс – “низкотемпературная закалка-магнитный отпуск” и доказана принципиальная возможность повышения эксплуатационных показателей буровых коронок, армированных АТП, методами криогенно-магнитной обработки, подтвержденная патентом.

5. Сформулированы версии криогенно-магнитного механизма упрочнения буровых коронок, основанные на изменении структуры АТП, паянного слоя корпуса коронки и установлены закономерности формирования возникающих напряжений.

6. Установлены оптимальные режимы криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок, армированных АТП, заключающиеся в воздействии на них жидким азотом (-196°C) в течении 15 минут, охлаждение до комнатной температуры ($+20^{\circ}\text{C}$) и обработки в постоянном вращающемся магнитном поле с напряженностью 320 кА/м при 60 циклах перемагничивания в течении 15 минут.

7. Упрочнения буровых коронок, армированных АТП, в криогенно-магнитном поле позволило достичь увеличения твердости до 30 %. Применение буровых коронок, армированных АТП, обработанных в криогенно-магнитном поле, позволяет достичь увеличения механической скорости

бурения в 1,7 раза (19,8 м/час) и наработки на коронку до 160 метров по горным породам VII-VIII категории по буримости.

8. С учетом выполненных опытных работ по криогенно-магнитному упрочнению буровых коронок считаем этот метод перспективен, а проведение дальнейших исследований по этой теме целесообразным.

9. Внедрение рациональной технологии эксплуатации коронок, армированных АТП, с криогенно-магнитным упрочнением позволяет существенно повысить экономическую эффективность бурения геологоразведочных скважин.

5. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН КОРОНКАМИ, АРМИРОВАННЫМИ АТП

5.1 Изучение физико-механических свойств горных пород.

Экспериментальные исследования по разработке рациональной технологии бурения скважин коронками, армированными АТП, как в лабораторных, так и в полевых условиях, выполнялись после детального изучения образцов горных пород, которые были отобраны на участках работ ОАО “Алроса” (Архангельская область, Якутия) и Ростовской буровой компании (Ростовская область). Породы представлены в основном сланцами, аргилитами, кварцитами, песчаниками, известняками.

Основными физико-механическими свойствами горных пород являются твердость, абразивность и категория по буримости.

Твердость горных пород определяется по методу проф. Шрейнера Л.А. При данном методе использовалась полуавтоматическая установка УМГП-3. Твердость горной породы $P_{ш}$ определялась по формуле:

$$P_{ш} = \frac{P}{S} \quad (5.1)$$

где P - нагрузка в момент разрушения породы под пуасоном, Н.

S - рабочая площадь пуасона, мм²

Нагрузка определялась по диаграмме деформаций по величине ординаты, соответствующем масштабе. При определении твердости горных пород на приборе УМГП-3 использовались штампы с рабочей площадью 0,9 - 1,5 мм², при этом гидравлический пресс создает нагрузку до 40 кН.

Испытания горных пород на абразивность производились по методу УНИГРИ с помощью прибора ПОАП-2М. При взаимодействии с породой определялась потеря массы свинцовых шариков, при этом коэффициент абразивности определяется по формуле:

$$K_{абр.} = \frac{q}{100}, \quad (5.2)$$

где Q – потеря массы истираемого материала свинцовых шариков, мг.

Коэффициент абразивности изменяется от 0 до 3.

Категория горных пород по буримости определялась на приборе ВИТР-ОТ путем резания керна абразивным кругом. Индикатором определялась глубина резания. Буримость определялась глубиной пропила при нагрузке на керн 10Н - для пород IV-VII категории и 41Н – для более крепких пород. Чем выше категория буримости, тем меньше значение глубины реза. Показатели свойств горных пород представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 Показатели свойств горных пород

№ п/п	Наименование пород	Твердость по Л.А. Шрейнеру, R_t , МПа	Абразивность, $K_{абр.}$	Категория по буримости
1	Аргиллиты	2000	1,5	VI
2	Сланцы кварцево-хлоритовые	1500	1,5	VI
3	Кварциты	3000	1,5	VII
4	Песчаники	3900	2	VIII
5	Известняки	4000	1,5	VIII

Результаты испытаний образцов горных пород на твердость, абразивность и категорию по буримости показывают, что горные породы преимущественно относятся к породам слаботрещиноватым, окварцованным, средней абразивности, средней твердости и твердым, а в соответствии с классификатором пород по буримости относятся к VI – VIII категории по буримости.

С учетом выше изложенного была разработана рациональная технология бурения скважин коронками, армированными АТП.

До настоящего времени нет общепризнанной формулы, позволяющей рассчитать рациональную технологию бурения скважин в зависимости от количества и качества промывочной жидкости, удельной нагрузки и частоты вращения коронки. Выявить закономерности, отражающие изменение показателей работы коронки в зависимости от этих факторов, является главной задачей специалистов по бурению скважин. Поэтому рассмотрим в отдельности влияние каждого из этих параметров на механическую скорость бурения. По вопросу методики и регулирования режимных параметров бурения единого мнения среди специалистов нет. Считаем, что этот вопрос необходимо рассматривать комплексно во взаимосвязи с геолого-техническими условиями бурения, с учетом конструктивной специфики коронок, износа и рациональной отработки коронок. Поэтому рассмотрим в отдельности влияние каждого из параметров на механическую скорость бурения.

5.2. Технологические рекомендации по отработке буровых коронок.

Расчет технологических параметров бурения является основным требованием при составлении проекта на разработку любого месторождения полезных ископаемых. При практических расчетах осевой нагрузки пользуются удельным значением осевой нагрузки, приходящейся на один резец для коронок резцового типа или на одну вставку для самозатачивающихся коронок [6].

Расчет осевой нагрузки на твердосплавную коронку проводится по формуле:

$$P = P_{уд} m, \quad (5.3)$$

где $P_{уд}$ - удельная осевая нагрузка, кН; m - число основных резцов или вставок в коронке.

В таблице 5.2 приведены рекомендуемые значения удельной осевой нагрузки.[6, 190]

Таблица 5.1 Удельная осевая нагрузка для твердосплавных коронок.

Тип коронки	Удельная осевая нагрузка, даН, при категории пород по буримости		
	VI	VII	VIII-IX
СМ	0,8-1,0	1,0-1,2	-
СА	1,2-1,4	1,4-1,6	1,6-1,8
112АТП	1,2-1,4	1,4-1,6	1,6-1,8
225АТП	1,6-1,8	1,8-2,0	2,0-2,2

Частота вращения бурового снаряда существенно влияет на показатели работы твердосплавных коронок. Эта зависимость также имеет вид параболы. Рост частоты вращения повышает механическую скорость до определенного максимума, затем наблюдается снижение скорости бурения, которое, очевидно, связано с износом коронок. Максимум механической скорости бурения для каждого диаметра коронки соответствует различной частоте вращения. За критерий выбора оптимальной частоты вращения коронки принимается окружная скорость коронки, равная 1,4-1,5 м/с. Необходимая частота вращения (об/мин) рассчитывается по известной формуле:

$$n = 60 V_{\text{окр}} / \pi D_{\text{ср}}, \quad (5.4)$$

где $V_{\text{окр}}$ - окружная скорость коронки, м/с; $D_{\text{ср}}$ - средний диаметр коронки, м,

$$D_{\text{ср}} = (D_1 + D_2) / 2 \quad (5.5);$$

D_1 ; D_2 - наружный и внутренний диаметры коронки, м.

Малые значения частот вращения берутся для больших диаметров, а большие значения - для малых диаметров. При бурении скважин самозатачивающимися коронками, частота вращения коронок приближается к значениям, близким для алмазного бурения. При бурении трещиноватых пород частота вращения коронок снижается на 25 %. При бурении мягких пород частота вращения выбирается с таким расчетом, чтобы окружная скорость коронки не превышала 2,4 м/с; при этом предельные частоты вращения не должны превышать следующих значений:

Наружный диаметр коронок, мм	93	114	132	151	164	184	225
Предельное значение частоты вращения, об/мин, не более	500	400	350	300	250	250	200
Окружная скорость м/с	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4

Указанные значения должны уменьшаться при бурении мягких пород с пропластками более твердых или с включениями валунов и галечников.

Расход промывочной жидкости должен обеспечивать вынос частиц разрушенной породы на поверхность. Он будет определяться скоростью подъема восходящего потока жидкости, которая зависит от размера частиц, их плотности и зазора между стенками скважины и бурильными трубами. При промывке водой скорость восходящего потока должна быть 0,6-0,8 м/с, а при бурении с глинистым раствором ее снижают до 0,2 м/с. Тогда расход промывочной жидкости ($\text{м}^3/\text{с}$) определяется по формуле:

$$Q = F V_{\text{в.п.}}, \quad (5.6)$$

где F - площадь затрубного пространства, м^2 ; $V_{\text{в.п.}}$ - скорость восходящего потока, м/с.

Однако часто расход промывочной жидкости находят из рекомендуемого расхода в л/мин на 1 см диаметра коронки по формуле:

$$Q = K D_1; \text{ м}^3/\text{с}, \quad (5.7)$$

где K - удельный расход на 1 см диаметра коронки, л/мин;

D_1 - наружный диаметр коронки, см.

Величина K определяется опытным путем и приведена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 Удельный расход промывочной жидкости

Конструкции коронок	Категория пород по буримости	
	V-VI	VII-VIII
	Удельный расход промывочной жидкости, л/мин	
Рибристые	-	-
Резцовые	8-12	6-8
Самозатачивающиеся	8-12	6-8
Армированные АТП D-112	8-9	6-8
Армированные АТП D-225	12	10-11

В интервалах неустойчивых пород целесообразно применять глинистый раствор, а в особо осложненных условиях его обрабатывают

химическими реагентами с целью регулирования структурно-механических параметров.

Переход с большого диаметра на меньший, во избежание искривления скважины, производится с помощью компоновки из колонковой трубы с коронкой меньшего диаметра и колонковой трубы предыдущего большего диаметра, соединенных специальным двойным переходником. Уступ прорабатывается специальным коническим фрезером. Заклинивание керна в мягких породах I-IV категорий по буримости осуществляют притиркой керна к коронке бурением 3-6 см без промывки. Перед подъемом керна в бурильную колонну сбрасывают шаровой клапан, перекрывающий отверстие переходника и предупреждающий выдавливание керна столбом жидкости в трубах при подъеме. При бурении пород средней твердости для срыва керна применяют кернорвательное устройство или осуществляют заклинивание керна специальным материалом в виде дробленого кварца, обрезков алюминиевой проволоки и пр. При бурении в трещиноватых или хрупких породах следует избегать расхаживания снаряда для предупреждения самозаклинивания и последующего истирания керна.

Для твердосплавных коронок наибольшее влияние на механическую скорость на всех стадиях износа имеет частота вращения и осевая нагрузка, причем соотношение влияния факторов меняется по мере износа резцов. У новой коронки большее влияние на механическую скорость оказывает частота вращения, у наполовину отработанной коронки влияние частоты вращения и осевой нагрузки выравнивается и для сильно затупленного инструмента (в конце отработки) наибольшее влияние оказывает осевая нагрузка.

По мере снижения механической скорости у изношенной коронки ее зависимость от расхода промывочной жидкости снижается, т.е. при низком, значении $V_{\text{мех}}$ достаточно минимального количества жидкости для нормальной очистки забоя от шлама. В то же время при снижении $V_{\text{мех}}$ и

образовании площадок притупления требуется повышение осевой нагрузки для внедрения затупленных резцов в породу.

В таблице 5.3 приведены рекомендуемые параметры режима бурения в зависимости от диаметров коронок, при глубине скважины до 300 метров. Для конкретных условий рациональные режимы бурения должен устанавливаться инженерно-техническими работниками экспедиций с учетом данных и рекомендаций по их изменению по мере износа коронок. В процессе опытных работ отмечено преждевременное выкрашивание и скалывание алмазных резцов при резком нагружении коронки при приведенных значениях осевой нагрузки и частоты вращения. Поэтому для повышения работоспособности коронок большое влияние имеет режим их приработки [102].

Таблица 5.4 Рекомендуемые режимы бурения

№ п/п	Тип коронки	Категории по буримости	Осевая нагрузка, кН	Частота вращения, Об/мин	Количество промывочной жидкости, л/мин
1	112 АТП	VI	15,0	400	130
	112 АТП	VII	16,0	250	120
	112 АТП	VIII-IX	18,0	200	110
2	225 АТП	VI	36,0	280	270
	225 АТП	VII	38,0	130	240
	225 АТП	VIII-IX	40,0	100	230

Как известно, приработку коронок в начале каждого рейса рекомендуется проводить для всех типов коронок, однако для коронок, армированных АТП правильный режим приработки играет особую роль. Для нормальной работы коронки режим приработки должен производиться при осевой нагрузке 2-5 кН, частоте вращения 100-150 об/мин. После работы при этом режиме в течение 5-10 мин осевую нагрузку и частоту вращения

постепенно увеличивают до рациональных значения и производят процесс бурения. Литологический состав пород и глубина скважины оказывает решающее влияние на эффективность работы коронок и является основным фактором применения нескольких типов коронок для одного геологического разреза.

Оценивая в целом известную технологию бурения скважин коронками, армированными синтетическими алмазами необходимо отметить:

1. Выдать конкретные рекомендации по технологии бурения коронками, армированными синтетическими алмазами, без знания условий бурения и геологического разреза невозможно.

2. Технологию бурения горных пород средней и выше средней категории по буримости (VI-X) коронками, армированными АТП, необходимо разрабатывать с учетом геологического разреза, глубины скважины и конструкции буровых коронок. Решению этих вопросов и посвящена шестая глава.

5.3 Экспериментальные испытания коронок.

Известно, что основными показателями бурения скважин являются механическая скорость и износостойкость или наработка на коронку, которые определяются параметрами режима бурения: количеством и качеством промывочной жидкости, осевой или удельной нагрузкой, частотой вращения. При этом важное значение для повышения эффективности буровых работ имеют именно совместное влияние всех параметров режима бурения.

Нами, в условиях ЮРГПУ(НПИ), разработаны следующие буровые коронки, армированные АТП: ККД-164, ККД-184, 93АТП, 112АТП, 151АТП, 225АТП, PQ-123. Сведения об этих коронках представлены во второй главе. Экспериментальные исследования буровых коронок выполнялись в центре коллективного пользования «Нанотехнологии» НИИ Нанотехнологий и новых материалов ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова и в

полевых условиях Мирненской 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).

Результаты исследований приведены в приложении А. 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/мм²). Состав порошка алмазного слоя высотой 1-2 мм следующий: углерод С-96,5%, кобальт Со – 0,5 %, вольфрам W – 3%. Теплоустойчивость алмазного слоя – 750-800 °С. Было установлено, что при повышении температуры более 800 °С 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 С- 0,3-0,6%), паяный слой ПСР - 45 (серебро Ag-45%, медь Cu – 31%, цинк Zn – 20%, олово Pb – 4%).

Исследование выполнялось с помощью сканирующего электронного микроскопа ARL QUANT^X. Характеристика микроскопа приведена в главе 4. Рентгенофазовый анализ (XRD) образцов проводили на дифрактометре ARL X TRA («Thermo Scientific», Швейцария) с монохроматизированным CuK α -излучением методом сканирования по точкам (шаг 0.01⁰). Определение качественного фазового состава осуществляли методом сравнения экспериментальной дифрактограммы с дифрактограммами из базы данных PDF-2 [188] в программном комплексе Crystallogratica. Расчет размера ОКР (область когерентного рассеивания) проводился по уравнению Шеррера:

$$D_i = \frac{1.00 \cdot \lambda}{(\text{FWHM}-b) \cdot \cos\theta} \quad (5.8)$$

где, $\lambda = 1,5418$ это длина волны монохроматизированного CuK α -излучения,

D_i – размер кристаллитов (размер ОКР) в ангстремах для фазы i .

FWHM - полная ширина на половине высоты экспериментального дифракционного пика в радианах.

$b = 0,00164$ (0,094⁰ 2θ) – инструментальная полная ширина на половине высоты дифракционного пика в радианах.

$\theta=15^0$ угол Брегга (для расчета используется среднее значение угла $2\theta = 30^0$).

Для получения инструментальной ширины дифракционного пика использовали корундовый эталон (NIST1976). Для аналитического описания угловой зависимости полной ширины дифракционного отражения на половине его высоты применяли формулу [189]:

$$\text{FWHM} = \sqrt{U \cdot \text{tg}^2 \theta + V \cdot \text{tg} \theta + W} \quad (5.9)$$

Параметры U , V , и W получали в результате полнопрофильного анализа дифрактограмм методом Ритвельда в программном комплексе Siroquant. Размерное уширение дифракционного пика определяли по уравнению [189]:

$$FWHM = \sqrt{W} \quad (5.10)$$

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. Результаты сравнительных испытаний представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 Результаты сравнительных испытаний

Группа сплавов	Марка сплава	Состав, %			Плотность г/см ³	Твердость, HRA	
		WC	C	Co		До обработки	После обработки
BK	BK-6	94		6	14,6-15,0	88	92
	BK-8	92		8	14,4-14,8	87,5	91
	BK-20	80		20	14,5-14,7	88	90
АТП	АТП Ø8 мм	3	96,5	0,5		96	96
	АТП Ø10 мм	3	96,5	0,5		96	96

С целью определения оптимального количества АТП для коронок 112АТП и 225АТП и определения рациональных режимов бурения были выполнены лабораторные испытания на буровом стенде станка СКБ-4. Результаты представлены на рисунках 5.2 и 5.3, а также в таблице 5.5.

Экспериментальные исследования буровых коронок были проведены в лабораторных условиях на буровом стенде, оборудованном на базе станка для вращательного бурения геолого-разведочных скважин СКБ-4 с усилием подачи до 40 кН в диапазоне скоростей вращения от 90 до 430 об/мин. Коронки прошли криогенно-магнитную обработку в оптимальном технологическом режиме.

Станок СКБ-4, состоит из рамы 1 сварной конструкции, по которой перемещается станина 2, коробки передач 3 и раздаточной коробки 4, лебедки 5, вращателя 6, узла однодискового сцепления 7, блока гидравлического управления (блок 8 гидросистемы) с автоперехватом, электродвигателя 9 и цилиндра перемещения. На лицевой стороне станка расположены рукоятки сцепления 10, раздаточной коробки 11, включения лебедки 12, рычаги тормоза подъема 13, спуска 14 и коробки передач 15. На верхней панели блока гидроуправления установлены распределитель 16, регулятор подачи 17, дроссель 18, прибор управления 19 и стрелочный прибор указателя давления 20. (рис. 5.1).

Искусственный забой станда состоит из корпуса 21 для помещения блока породы 22. В верхней боковой части корпуса имеется отвод 23 для выхода промывочной жидкости в циркуляционную систему. Охлаждающая жидкость к инструменту подводилась посредством муфты - от насоса НБ-32Б производительностью 360 л/мин и через буровой шланг 25 от стояка 26. Под номером 27 показана буровая коронка.

Осевая нагрузка на долото в период стендовых исследований контролировалась по показаниям гидравлического манометра.

Измерения скорости бурения осуществляли с помощью секундомера «Слава» и мерной линейки, установленной на направляющих механизма подачи станда.

Исследования механической скорости бурения коронками, армированными АТП, при бурении крепких и абразивных пород проводились при частотах вращения обеспечиваемых стандом. Для установления зависимости механической скорости от величины подачи промывочной жидкости, нагрузки, частоты вращения коронки были проведены испытания коронок, армированных АТП.

Экспериментальные исследования были выполнены при бурении мелкозернистого песчаника и известняка VII категории по буримости, коронками диаметром 225 АТП и диаметром 112 АТП. Результаты лабора-

торных испытаний коронок 225 АТІ с 6,10,14 АТІ и коронок 112 АТІ с 6,8,10 АТІ представлены в таблице 5.6 и таблице 5.7.

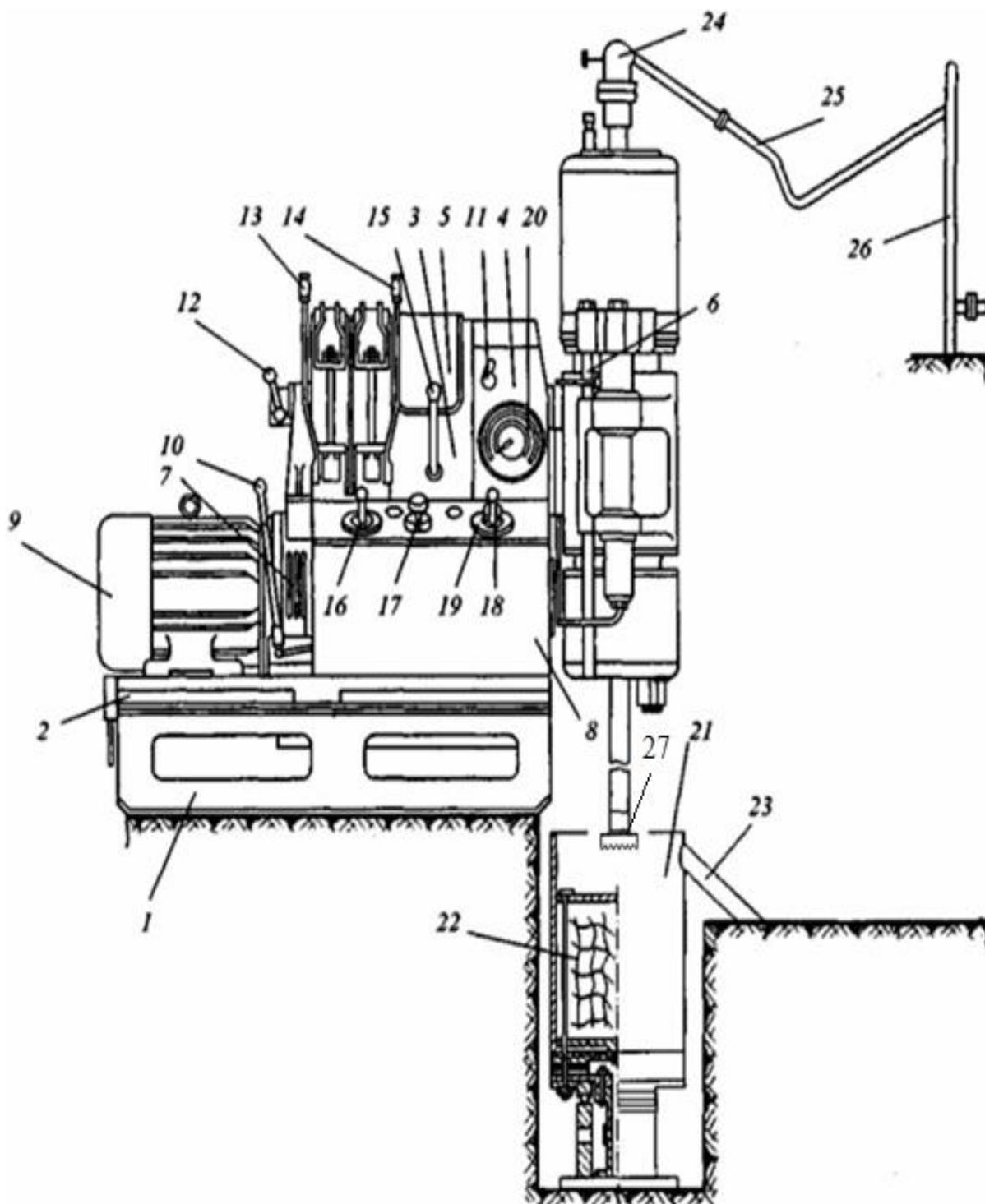


Рис. 5.1 Схема экспериментального стенда на базе станка СКБ-4

Таблица 5.6 Результаты лабораторных испытаний коронок диаметром 225 АТП

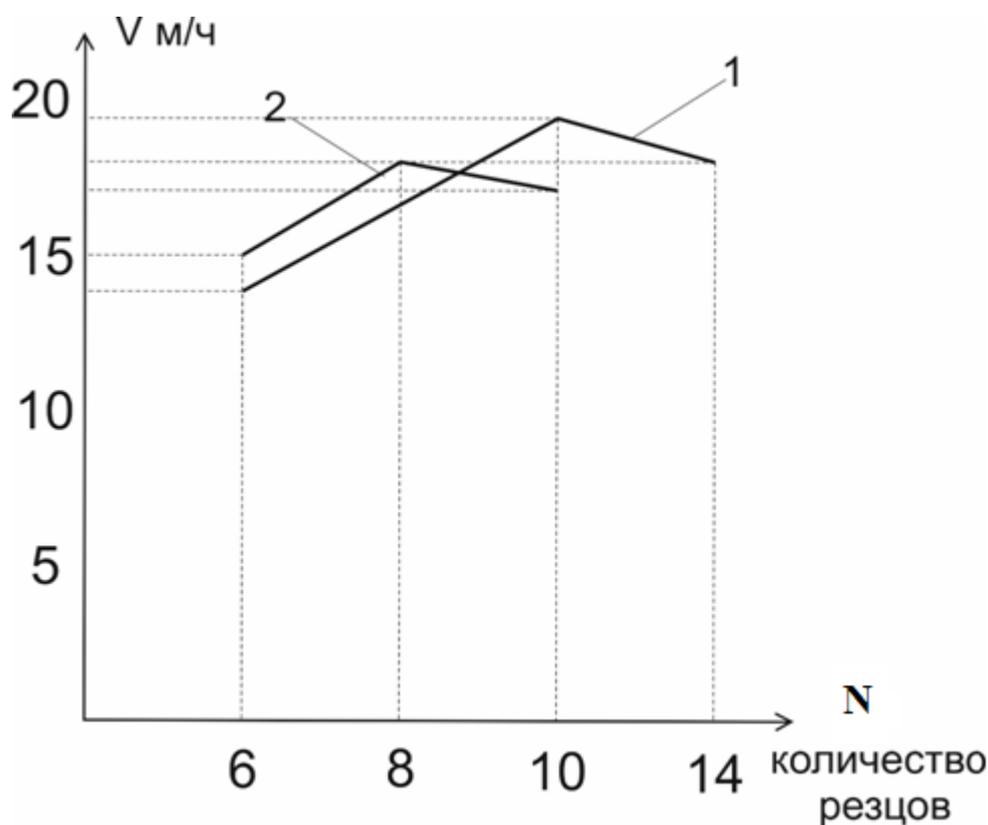
Тип коронок	Показатели	Режимные параметры											
		150				250				300			
225 АТП с 10-ю АТП	Кол-во промывочной жидкости, л/мин	150				250				300			
	Частота вращения, об/мин	200				250				330			
	Нагрузка, кН	22	30	36	39	22	30	36	39	22	30	36	39
	Механическая скорость бурения, м/ч	9,1	10,4	14,3	13,2	12,2	13,1	17,8	15,3	14,2	15,1	19,0	18,2
225 АТП 6-ю АТП	Механическая скорость бурения, м/ч	8,1	9,8	10,7	11,1	10,9	9,1	11,8	11,2	10,6	12,4	14,2	13,0
225 АТП 14-ю АТП	Механическая скорость бурения, м/ч	9,2	10,3	13,7	13,1	10,5	11,3	14,9	13,7	11,3	12,5	17,9	17,1

Таблица 5.7 Результаты лабораторных испытаний коронок диаметром 112 АТП

Тип коронок	Показатели	Режимные параметры											
		140				160				180			
	Кол-во промывочной жидкости, л/мин	140				160				180			
	Частота вращения, об/мин	200				250				330			
	Нагрузка, кН	10	12	14	16	10	12	14	16	10	12	14	16
112 АТП с 6-ю АТП	Механическая скорость бурения, м/ч	11,0	12,8	13,0	13,1	13,2	14,1	15,0	14,9	10,9	11,0	11,1	12,9
112 АТП с 8-ю АТП	Механическая скорость бурения, м/ч	14,1	16,0	16,7	17,0	15,4	17,9	18,7	18,0	15,1	16,9	17,9	17,8
112 АТП с 10-ю АТП	Механическая скорость бурения, м/ч	11,9	12,2	14,1	14,2	15,0	16,9	17,1	17,0	15,0	16,8	17,4	17,3

Выполненные лабораторно-испытательные работы позволили установить, что бурить эксплуатационные скважины диаметром 225 мм VII категории по буримости более эффективно, когда коронка имеет на воору-

жении 10 АТП. Наличие 6 и 14 штук АТП в конструкции коронки 225АТП нерационально, так как механическая скорость падает (таблица 5.5, рисунок 5.2). При бурении горных пород VII категории коронкой диаметром 112мм максимальная механическая скорость была получена, когда количество АТП составляло 8 (таблица 5.6, рисунок 5.2). В случае, когда коронки имели 6 и 10 пластин АТП механическая скорость уменьшалась. Таким образом подтверждается сказанное в главе 3 – АТП работает в связке по 3 АТП, и 10 АТП является как бы дублером. Полученные результаты подтверждают правильность выбранной методики по изготовлению оптимальной конструкции буровых коронок.



1-коронка 225 АТП, 2 – коронка 112АТП.
(при постоянном режиме Р и N).

Рисунок 5.2 Зависимость механической скорости бурения от количества АТП на коронке

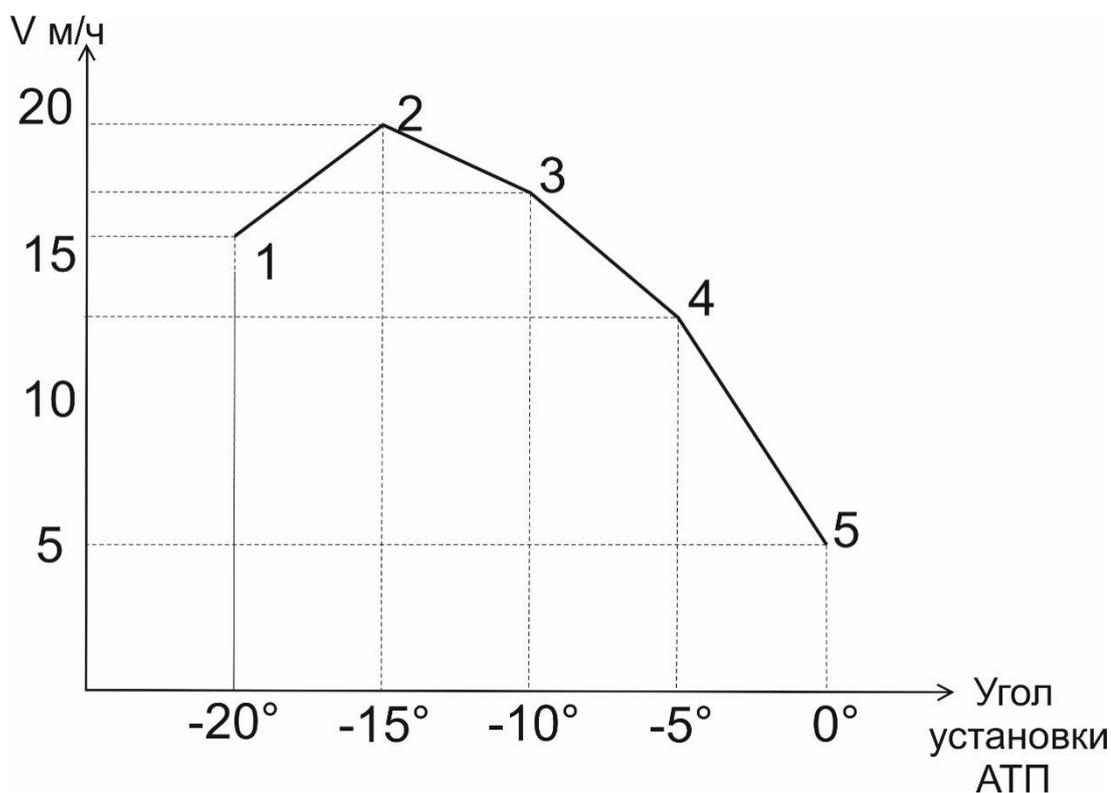


Рисунок 5.3 Зависимость механической скорости бурения от переднего угла установки АТП на корпус коронки диаметром 112. 1,2,3,4,5 - номер коронки (при постоянном режиме Р и n)

В соответствии с выполненными расчетами главы 3.2 были изготовлены пять экспериментальных буровых коронок диаметром 112 АТП. После выполнения полного цикла криогенно-магнитного упрочнения они прошли испытания в полевых условиях работы Ростовской буровой компании. Наилучшие результаты показала коронка под номером 2, где передний угол установки АТП $\phi 13,5$ мм составляет -15° , при этом механическая скорость бурения составляет 19,6 м/час. (Рисунок 5.3)

Известно, что верно подобранная конструкция буровой коронки и технология бурения скважин коронками, армированными АТП, влияет на основные показатели бурения – механическую скорость и проходку на коронку. Основными технологическими параметрами бурения является - количество и качество промывочной жидкости, осевая нагрузка и частота вращения коронки. Важнейшее условие повышения технико-экономических показателей бурения – совершенствование состава и пара-

метров растворов. Выбор рецептуры промывочной жидкости для бурения в конкретных геолого-технических условиях сопровождается проектированием системы бурового раствора и режима промывки, индивидуальных для каждого месторождения с учетом достижения максимальной механической скорости, максимальной устойчивости ствола скважины. Достижение требуемых технологических параметров для минимизации целевой функции гидравлической программы является недостаточным условием повышения эффективности технологии промывки. Такая задача может быть решена только при правильно выбранном типе (компонентном составе) раствора, который должен обеспечивать: соответствие свойств бурового раствора горно-техническим условиям, повышение эффективности использования сложных и дорогостоящих систем буровых растворов, унификацию растворов, применяемых в однотипных условиях. Только выбрав тип раствора, целесообразно устанавливать его рецептуру (долевой состав компонентов) в целях обеспечения требуемых программой промывки технологических свойств.

Существует определенная сложная связь между свойствами промывочной жидкости и эффективностью бурения [6]. Известно, что количество жидкости, подаваемой в скважину для промывки не имеет критического значения. Функция $V_m = f(Q)$ возрастает при всех значениях Q , которых можно достичь [1, 2, 3, 6], где V_m – механическая скорость бурения, м/час; Q – количество подаваемой жидкости в скважину л/мин. Однако тот же вид функции $V_m = f(Q)$ показывает, что имеется некоторый разумный предел, превышать который нецелесообразно, так как значительно возрастут гидравлические сопротивления в циркуляционной системе, снизится надежность работы гидравлической части буровых насосов. Количество жидкости, подаваемой в скважину, должно обеспечить немедленное удаление разрушенной породы с забоя скважины. Последнее обеспечивается, если поток жидкости, выходящий из промывочных каналов коронки, достигает забоя и оказывает на него определенное давление. Разрушенная

горная порода должна не только своевременно уноситься с забоя, но и подниматься за определенное время на такую высоту, чтобы породоразрушающие элементы последующего резца не могли ее захватить и повторно перемолоть. Чем выше значения скорости восходящего потока промывочной жидкости в кольцевом пространстве скважин, тем обломки большего размера и плотности могут быть вынесены на дневную поверхность. Степень выноса обломков разрушенной горной породы забоя зависит от многих факторов, основные из которых: скорость восходящего потока, структурно-механические свойства промывочной жидкости, размер, форма и плотность обломков твердых тел, соотношение между линейными размерами тел и поперечными размерами кольцевого пространства скважины, характеристика потока. Вся сумма факторов и определяет вынос породы на дневную поверхность. Количество промывочной жидкости должно быть таким, при котором не наблюдается чрезмерно обогащения раствора выбуренной породой.

Практически установлено, что бурение идет нормально, если скорость восходящего потока не менее 0,6 м/с [6]. Это связано с условиями нормального удаления продуктов разрушения породы с забоя. Скорость восходящего потока промывочной жидкости зависит от диаметра коронки, диаметра колонны бурильных труб и производительности промывочного насоса. Расчеты показывают что при применяемом оборудовании коронки диаметром 93-225 мм, бурильные трубы 50-73 мм и промывочных насосов НБ-32Б производительностью до 9,9 л/с. Скорость восходящего потока находится в пределах 0,6-0,8 м/с.

Из опытных данных видно, что увеличение производительности насоса НБ-32Б в диапазоне рабочих режимов (табл. 5.7) приводит к пропорциональному повышению механической скорости бурения при неизменных: категории пород VIII, нагрузке на коронку, плотность промывочной жидкости равной 1,2 г/см³.

Таблица 5.8. Изменение механической скорости бурения в зависимости от количества промывочной жидкости

Тип коронки	Категория по буримости	Количество промывочной жидкости, л/мин	Механическая скорость бурения, м/час
225АТП	VII	100	16,0
225АТП	VII	150	16,7
225АТП	VII	180	16,9
225АТП	VII	200	17,1
225АТП	VII	225	19,6
225АТП	VII	280	19,1
225АТП	VII	360	19,0

Анализ таблицы 5.8 показывает, что при бурении коронками Д225АТП по горным породам VII категории по буримости имеет место оптимум по расходу промывочной жидкости в количестве 225 л/мин. При таком расходе механическая скорость достигает своего максимума. Далее увеличивать подачу промывочной жидкости не имеет смысла.

Качество промывочной жидкости играет важную роль в процессе сооружения скважин с отбором керна. С учетом геологического разреза, где выполнялись полевые испытания коронок (Якутия, Архангельская и Ростовская области), и конструкции скважин был принят для промывки скважин высокоингибированный раствор с высокой смазывающей способностью. Патент RU №2582197. Состав раствора: мраморная крошка – 5-10%, КМЦ типа ПАЦ 85/70 – 210%, хлористый калий – 1,5-5%, ФХЛС – 1-5%, сульфенол – 2-5%, ГКЖ -11 – 2-5%, пеногаситель 0,5-1%, барит – 0,5-5%, бишофит – 2-5%, метилсиликонат калия – 1-4%, ацетат калия – 1,5-4%, жидкая фаза – остальное, причем жидкая фаза включает отходы растительного масла и воду в соотношении масс.% 55/45-80/20. Технический результат этого раствора – улучшение крепящих, смазочных и противоприхватных свойств бурового раствора при одновременном улучшении ингибирующей и гидрофобизирующей способности фильтрата раствора. Пара-

метры раствора: плотность $1,22 \text{ г/см}^3$, вязкость – 30с. , водоотдача $0-1 \text{ см}^3$ за 30 минут, коэффициент трения – $0,06$.

Геологический разрез представлен следующими горными породами: глины, не устойчивые глинистые сланцы, песчаник, известняк. Категория по буримости от II до IX. Скважины, в соответствии с ГТН, обсаживаются направляющей трубой до 10 м и кондуктором до 100 м, далее бурение ведется в открытом стволе. Отбор керна в разведочных и эксплуатационных скважинах осуществляется от 0 м до проектной глубины 300 метров. Раствор с такими параметрами позволил обеспечить достаточное крепящее и смазывающее действие по отношению к неустойчивым породам, слагающим разрез скважины и добиться установления осмотического равновесия.

В процессе бурения плотность раствора изменяется за счет выбуренных глинистых пород в пределах $1,02 - 1,30 \text{ г/см}^3$. С увеличением плотности раствора увеличивается и его вязкость. Эксплуатация буровых коронок позволила установить, что оптимальной является вязкость – 30с. , плотность $1,2 \text{ г/см}^3$. Основным моментом при установлении поведения жидкости в затрубном пространстве является определение режима потока. В результате проведенных экспериментов было установлено, что механическая скорость бурения изменяется в зависимости от режима потока промывочной жидкости. Как известно, процессы переноса потоком твердых частиц во взвешенном состоянии представляют собой прямое следствие турбулентности потока жидкости или газа. Уровень турбулентности характеризуется параметром Рейнольдса Re , определяемым в общем случае по известной формуле:

$$Re = \frac{vD_3\rho}{\mu} \quad (5.11)$$

где v — скорость потока, м/с; D_3 — эквивалентный диаметр канала потока, м; ρ — плотность потока, кг/м^3 ; μ — динамическая вязкость, Па с.

Определение необходимой скорости восходящего потока только из условия взвешивания и выноса частицы шлама в кольцевом пространстве скважины приводит к тому, что значение требуемой скорости уменьшается с увеличением плотности и вязкости промывочной жидкости. В этом случае уровень турбулентности потока промывочной жидкости на забое скважины определяется главным образом вязкостными свойствами промывочных растворов, поскольку инерционные силы потока при использовании различных буровых растворов поддерживаются на одном и том же уровне, исходя из условия равной транспортирующей способности потока в кольцевом пространстве. Учитывая вышеизложенное нами предложены для бурения горных пород коронки с встречным расположением промывочных каналов (гл. 2.2). При турбулентном потоке промывочной жидкости механическая скорость бурения выше, чем при ламинарном, так как частицы выбуренной породы своевременно удаляются с забоя скважины, не происходит оседание их на забой и повторное измельчение. Установлено также, что изменение свойств бурового раствора, в частности, вязкости, оказывает значительно большее влияние на механическую скорость бурения, чем изменение всех других параметров режима бурения, влияющих на число Рейнольдса.

В результате проведенных исследований установлено влияние количества и качества промывочной жидкости на механическую скорость бурения при проводке скважин для условий работы ОАО «Алроса». Для достижения максимальной механической скорости необходимо вести бурение при соблюдении оптимальных параметров. Наибольшая механическая скорость для коронок диаметром 225мм достигается если применяется промывочная жидкость, имеющая турбулентный режим, плотность равную 1,2 г/см³, вязкость – 30 с, подачу насоса 225 л/мин.

На показатели бурения существенное влияние оказывает осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент. По мере износа коронки режимные параметры должны изменяться. Указанные положения справедли-

вы при правильном выборе типа коронки, параметров промывочной жидкости и совершенной гидравлической очистке. Осевая нагрузка не должна превышать значений, при которых обеспечивается совершенство очистки забоя скважин. Зачастую в практике бурения применяются осевые нагрузки, близкие к предельным, обуславливаемым прочностью коронок и бурильных труб, причем в ряде случаев повышение нагрузки производится независимо от того, обеспечивается ли совершенство очистки забоя или нет. Вместе с тем правильный выбор осевой нагрузки имеет первостепенное значение для повышения эффективности работы коронок. Поэтому установление зависимости $V_m=f(P_{oc})$ с учетом многих одновременно действующих природных и технологических факторов представляет большой практический интерес. Кроме того, установление зависимости $V_m=f(P_{oc})$ необходимо для исследования целесообразности регулирования осевой нагрузки в процессе бурения, выбора параметров режима бурения при наличии ограничений.

Осевая нагрузка оказывает сложное влияние на механическую скорость бурения. Установлена зависимость между механической скоростью бурения и осевой нагрузкой, которая имеет вид параболы. Увеличение осевой нагрузки вызывает повышение механической скорости бурения, но только до критического значения нагрузки. Затем наблюдается снижение скорости бурения. Критическое значение осевой нагрузки определяется прочностными характеристиками горной породы и твердого сплава. Повышение осевой нагрузки вызывает упругие деформации в колонне бурильных труб, появление вибрации в буровом снаряде и сколов в резцах коронки, при этом износ коронки увеличивается. При практических расчетах осевой нагрузки пользуются удельным значением осевой нагрузки, приходящейся на один резец для коронок резцового типа или на одну вставку для самозатачивающихся коронок.

Осевую нагрузку на коронки необходимо проектировать из расчета обеспечения объемного режима разрушения горных пород. Поверхностное разрушение происходит при следующих случаях: недостаточное количество промывочной жидкости, что вызывает скопление шлама на забое, недостаточная осевая нагрузка, образование сальников на коронке вследствие неправильного подбора осевой нагрузки и количества промывочной жидкости. Поскольку подача промывочной жидкости ограничена техническими возможностями насоса, то при проведении опытных работ осевую нагрузку регулировали в соответствии с производительностью насоса, а остальные параметры поддерживали на одном уровне. Согласно опытным данным рациональными нагрузками для коронок, армированных АТП являются следующие (табл. 5.9)

Таблица 5.9 Рациональные нагрузки для коронок, армированных АТП

Тип коронки	Категория по буримости	Кол-во пром. жидкости Q, л/мин	Осевая нагрузка, кН	Частота вращения, об/мин	Механическая скорость бурения, м/час
225АТП	VII	225	8,0	280	1,7
225АТП	VII	225	14,0	280	5,0
225АТП	VII	225	18,0	280	7,5
225АТП	VII	225	22,0	280	10
225АТП	VII	225	26,0	280	12,5
225АТП	VII	225	30,0	280	15,5
225АТП	VII	225	32,0	280	16,5
225АТП	VII	225	36,0	280	18,5
225АТП	VII	225	39,0	280	18,9
225АТП	VII	225	42,0	280	18,6
225АТП	VII	225	46,0	280	16,9

В результате проведенных исследований установлено влияние осевой нагрузки на механическую скорость бурения. Для достижения максимальной механической скорости при бурении крепких пород осевую нагрузку необходимо поддерживать в интервале 36-39 кН для коронок

225АТП. Дальнейшее повышение не приводит к значительному повышению механической скорости бурения (рис.5.4).

Частота вращения бурового снаряда существенно влияет на показатели работы твердосплавных коронок. Эта зависимость имеет вид параболы. Рост частоты вращения повышает механическую скорость до определенного максимума, затем наблюдается снижение скорости бурения, которое, очевидно, связано с износом коронок. Выполненные экспериментальные исследования по горным породам VII категории по буримости показали, что максимум механической скорости бурения для каждого диаметра коронки соответствует различной частоте вращения. За критерий выбора оптимальной частоты вращения коронки принимается окружная скорость коронки, равная 1,4-1,5 м/с.

Из таблицы 5.10 видно, что оптимальной частотой вращения для коронок диаметром 225мм является 130 об/мин. Дальнейшее увеличение частоты вращения не приводит к интенсивному увеличению механической скорости бурения.

Таблица 5.10 Влияние частоты вращения коронки 225 АТП на механическую скорость бурения, категория буримости VIII

№ скважины	Количество промывочной жидкости, л/мин	Осевая нагрузка, кН	Частота вращения, об/мин	Механическая скорость бурения м/час
1.	225	39	90	14,0
2.	225	39	100	15,1
3.	225	39	110	16,2
4.	225	39	130	18,8
5.	225	39	200	18,6
6.	225	39	280	18,0

Производственными и экспериментальными исследованиями установлено, что во всем диапазоне рабочих частот (от 90 до 430 об/мин) для коронок, армированных АТП, скорость бурения зависит от соотношения

удельной нагрузки и контактной прочности горной породы, что позволяет сформировать принцип создания ПРИ нового типа.

Изготовление и испытание, в условиях Мирненской ГРЭ ОАО «Алроса», буровых коронок типа PQ для бурения снарядом с непрерывным подъемом керна показали достаточно высокие результаты (см. главу 2). Результаты испытаний коронок типа PQ приведены в таблице 5.11

Таблица 5.11 Результаты испытания коронок типа PQ

№ п/п / № типа коронки	Номер рисунка	Категории по буримости горных пород	Механическая скорость буре- ния, м/ч	Наработка на коронку, м
1/1	2,8	VIII	9,6	81,3
2/1	2,8	VIII	9,7	80,2
3/2	2,9	VIII	10,1	89,5
4/2	2,9	VIII	10,0	88,1
5/3	2,10	VIII	9,4	79,4
6/3	2,10	VIII	9,3	78,7
7/4	2,11	VIII	8,9	78,3
8/4	2,11	VIII	8,8	77,1
9/5	2,12	VIII	11,5	105,1
10/5	2,12	VII	11,3	103,2

Производственные испытания показали, что наилучшими оказались коронки пятого типа, показавшие механическую скорость бурения до 11,5 м/час и наработку на коронку - 105,1 метра по горным породам VIII категории по буримости. Таким образом, разработанные и опробованные коронки типа PQ, вполне могут заменить заводские коронки фирмы «Atlas Copco».

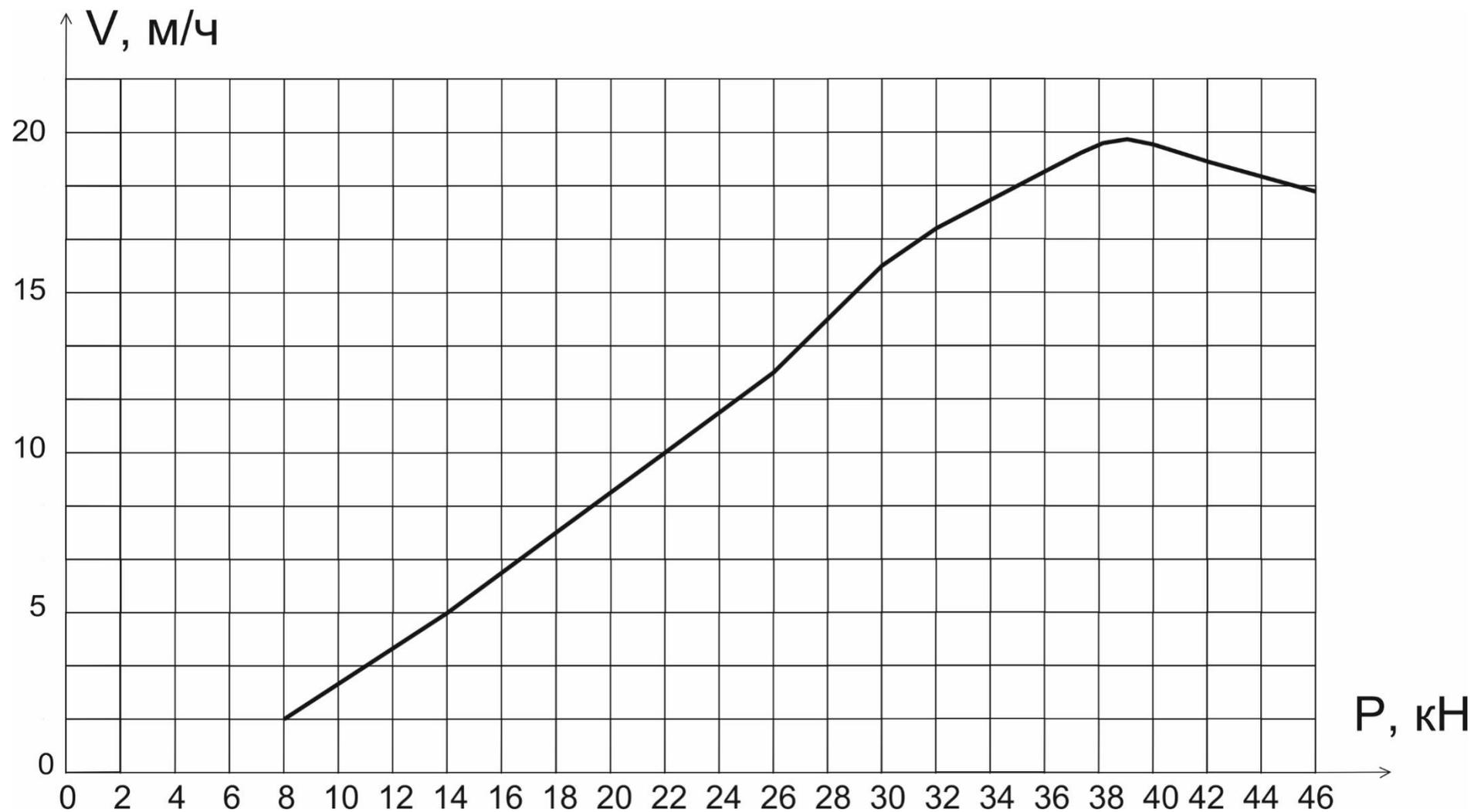


Рис. 5.4 Зависимость механической скорости бурения от осевой нагрузки

(Коронка 225АТП, категория буримости – VI)

Серия экспериментальных полевых исследований по выявлению зависимости проходки на коронку, армированную АТП от износа резцов по диаметру при бурении по горным породам VIII категории по буримости позволили получить следующие графики (рисунок 5.5). Замер диаметра коронок выполняли с помощью специальных тарированных металлических колец.

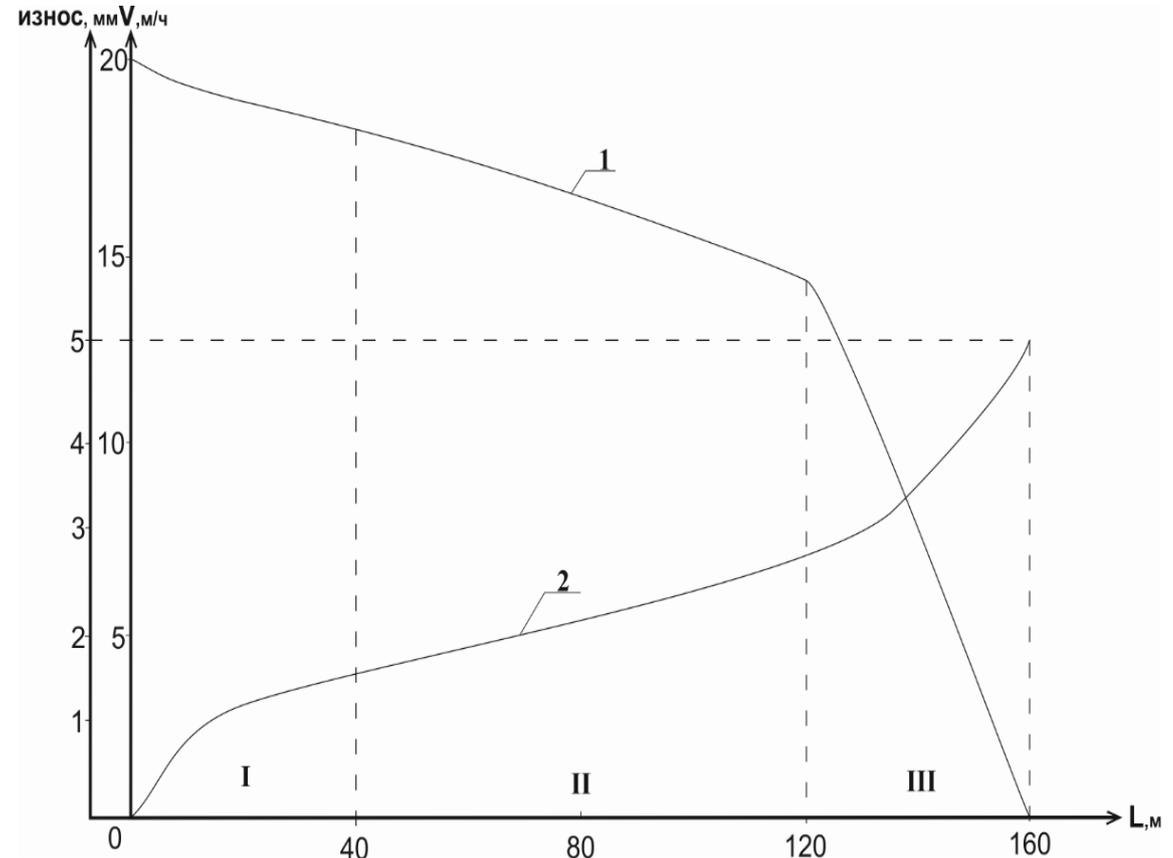


Рисунок 5.5 Изменение механической скорости в зависимости от затупления коронки 112 АТП при бурении песчаника VII категории по буримости (1); изменение износа АТП в зависимости от проходки (2)

Как видно из рисунка 5.5, затупление АТП оказывает существенное влияние на работоспособность коронок. Для повышения эффективности их обработки необходимо увеличивать осевую нагрузку. Следует отметить, что для коронок, оснащенных АТП, характерен период стабилизации работы за счет их самозатачивания. При этом выделяются три зоны работы коронок на забое. Наиболее эффективной является II зона, она является и наиболее продолжительной.

Таблица 5.12 Результаты отработки стабилизирующих, антивибрационных коронок

№ п/п	№ коронки	Категория по буримости	Технология бурения			Механическая скорость бурения, м/ч	Проходка на коронку, м
			Нагрузка, Р, кН	Частота вращения, об/мин	Кол-во промывочной жидкости, л/мин		
1	112 АТП	VIII	16,0	330	140	18,0	149,4
2	112 АТП	VII	13,0	250	160	19,1	159,0
3	112 АТП	VI	11,0	200	180	19,0	158,2
4	112 АТП	VIII	16,0	330	140	18,6	150,3
5	112 АТП	VII	13,0	250	160	19,3	159,8
6	112 АТП	VI	11,0	200	180	19,8	160,1

Полученные в полевых условиях данные отработки стабилизирующих, антивибрационных коронок дают основание считать, что конструкция и технология отработки коронок определены оптимально, так как проходка на коронку 112АТП составляет порядка 160м при скорости бурения более 19м/час, что конструкция её подобрана оптимально, а эффективность применения коронок, армированных АТП не вызывает сомнения.

Значения экспериментальных исследований буровых коронок, армированных АТП, по механической скорости и проходке подвергались обработке методами математической статистики [170]. Средние данные определялись, как средние арифметические по формуле:

$$X = \frac{\sum Xi}{n}, \quad (5.12)$$

где X – среднее арифметическое значение показателя;

X_i – значение показателя в определенном опыте;

n – количество опытов.

Согласно [170] количество опытов должно быть не менее 20. Степень разбросов индивидуальных значений показателей вокруг среднего определялась по среднеквадратическому отклонению или дисперсии:

$$S = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}, \quad (5.13)$$

Разброс значений признаков, связанный со случайными ошибками, характеризуется коэффициентом вариации, который изменяется от 8 до 10% и определялся по формуле:

$$v = \frac{\sigma_R}{X} \cdot 100\%, \quad (5.14)$$

где σ_R – среднее квадратичное отклонение признака:

$$\sigma_R = \frac{X_{max} - X_{min}}{d_n}, \quad (5.15)$$

где d_n – зависит от n .

Оценка достоверности для всех средних показателей производилась путем определения стандартной ошибки среднего $\overline{S_x}$, точности среднего ε и нахождения доверительных интервалов среднего по следующим формулам:

$$S_{\overline{x}} = \pm \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (5.16)$$

$$\varepsilon = \pm t_L \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (5.17)$$

$$L = X \pm \varepsilon, \quad (5.18)$$

где t_L – значение критерия Стьюдента для заданной надежности;

L – возможное значение среднего с принятой вероятностью.

При установлении показателей бурения в зависимости от изменения конструктивных параметров коронок и значений режимных параметров, а также при определении твердости коронок, армированных АТП при этом количество опытов в каждом случае составляло 20. Экспериментальные работы выполнялись при бурении отдельных блоков горных пород с контактной прочностью. Результаты бурения представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 Результаты выполнения экспериментальных работ

№ п/п	время T,с	нагрузка P _{ос} , кН	частота вращения n об/мин	глубина бурения мм
1	60	28	90	450
2	58	28	90	450
3	62	28	90	450
4	60	28	90	450
5	61	28	90	450
6	62	28	155	450
7	62	28	155	450
8	63	28	155	450
9	61	28	155	450
10	62	28	155	450
11	60	28	280	450
12	61	28	280	450
13	60	28	280	450
14	59	28	280	450
15	60	28	280	450
16	57	28	430	450
17	58	28	430	450
18	57	28	430	450
19	58	28	430	450
20	58	28	430	450
21	85	20	90	450
22	84	20	90	450
23	84	20	90	450
24	85	20	90	450
25	85	20	90	450
26	83	20	155	450
27	84	20	155	450
28	83	20	155	450
29	83	20	155	450
30	83	20	155	450
31	80	20	280	450
32	81	20	280	450
33	80	20	280	450
34	80	20	280	450
35	79	20	280	450
36	77	20	430	450
37	78	20	430	450
38	78	20	430	450

продолжение таблицы 5.13

39	78	20	430	450
40	77	20	430	450
41	166	12	90	450
42	167	12	90	450
43	166	12	90	450
44	166	12	90	450
45	167	12	90	450
46	158	12	155	450
47	158	12	155	450
48	159	12	155	450
49	160	12	155	450
50	159	12	155	450
51	160	12	280	450
52	161	12	280	450
53	159	12	280	450
54	160	12	280	450
55	160	12	280	450
56	157	12	430	450
57	158	12	430	450
58	157	12	430	450
59	157	12	430	450
60	158	12	430	450

В ходе эксперимента было произведено 12 опытов для значений осевой нагрузки $P_{oc} = 28, 20, 12$ кН и частоты $n = 90, 155, 280, 430$ об/мин. Каждый опыт был повторен 5 раз. Механическая скорость бурения определялась по формуле

$$V_{мб} = \frac{60H}{T}, \quad (5.19)$$

где H – глубина бурения в мм, T – время бурения в секундах, множитель 60 – для получения размерности результата мм/мин.

Для всех опытов, исходя из условий эксперимента, глубина бурения была принята равной

$$H = \bar{H} \pm \Delta\bar{H} = 450 \pm 10 \text{ мм.}$$

Результаты прямых измерений времени бурения T обрабатывались согласно алгоритму:

1) Выполнялась проверка выборки измеренных значений T на наличие грубых погрешностей по отклонению результатов наблюдения T_i ,

$i = \overline{1, N}$ от среднего значения $\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$ согласно критерию

$$\frac{|T_i - \bar{T}|}{S_T} > v_{P,N},$$

где P – доверительная вероятность, принятая равной 0,95,

$S_T = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2}$ – выборочное среднеквадратичное отклонение результата наблюдения от среднего.

2) После исключения из выборки результатов наблюдения T_i , содержащих грубую погрешность, было определено для оставшихся элементов выборочное среднее $\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$, и выборочное среднеквадратичное отклонение среднего $S_{\bar{T}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2}$.

$$S_{\bar{T}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2}. \quad (5.20)$$

3) Была определена случайная погрешность $\Delta T = v_{P,N} S_{\bar{T}}$, (5.21)

где $v_{P,N}$ – коэффициент Стьюдента.

4) Была рассчитана полная погрешность результата измерения

$$\Delta \bar{T} = \sqrt{\Delta T^2 + \theta_T^2}, \quad (5.22)$$

где $\theta_T = 1$ с – верхняя граница погрешности измерительного прибора (электронного секундомера).

Результаты косвенных измерений механической скорости бурения $V_{\text{мб}}$, рассчитываемой согласно выражению (5.22) были обработаны методом переноса погрешностей:

1) Для каждого опыта было определено среднее значение скорости

$$\overline{V_{\text{мб}}} = \frac{60\overline{H}}{\overline{T}}. \quad (5.23)$$

2) В силу того, что выражение (5.23) является легко логарифмируемым, полная погрешность косвенного измерения скорости была определена согласно формуле:

$$\Delta \overline{V_{\text{мб}}} = \overline{V_{\text{мб}}} \sqrt{(b_H \Delta \overline{H})^2 + (b_T \Delta \overline{T})^2} = \overline{V_{\text{мб}}} \sqrt{\left(\frac{\Delta \overline{H}}{\overline{H}}\right)^2 + \left(-\frac{\Delta \overline{T}}{\overline{T}}\right)^2},$$

где $b_H = \left. \frac{\partial(\ln V_{\text{мб}})}{\partial H} \right|_{H=\overline{H}} = \frac{1}{\overline{H}}$, $b_T = \left. \frac{\partial(\ln V_{\text{мб}})}{\partial T} \right|_{T=\overline{T}} = -\frac{1}{\overline{T}}$.

Результаты определения механической скорости бурения приведены в таблице 5.14

Таблица 5.14 Результаты определения механической скорости бурения

Частота вращения n , об/мин	Механическая скорость бурения $V_{\text{мб}} = \overline{V_{\text{мб}}} \pm \Delta \overline{V_{\text{мб}}}$, мм/мин (при доверительной вероятности $P = 0,95$)		
	Осевая нагрузка $P_{\text{ос}} = 28$ кН	Осевая нагрузка $P_{\text{ос}} = 20$ кН	Осевая нагрузка $P_{\text{ос}} = 12$ кН
90	449 ± 19	319 ± 8	162 ± 4
155	435 ± 13	325 ± 8	170 ± 4
280	450 ± 14	338 ± 9	169 ± 4
430	469 ± 14	348 ± 9	172 ± 4

Полученные и представленные в таблице 5.14 экспериментальные данные подтверждают установленную (глава 2) неизвестную ранее закономерность – механическая скорость бурения горных пород, коронками, армированными АТП, во всем диапазоне рабочих частот практически не зависит от частоты вращения, а зависит только от осевой нагрузки, при постоянном количестве промывочной жидкости.

На протяжении десятков лет при выполнении колонкового бурения используются коронки, армированные твердым сплавом ВК-8 или ВК-6. Этот сплав неплохо справляется с породами I-VII категории по бурения, но как только в разрезе появляются пропластки пород VIII категории эти резцы выходят из строя. Опыт бурения горных пород в различных условиях Мирнинской ГРЭ показывает, что использовать коронки армированные вольфрамо-

кобальтовым сплавом не всегда оправдано, так как в разрезе часто встречаются породы VIII категории по бурению. При бурении этих пород происходит износ твердого сплава и выход из строя коронки в целом, следовательно необходима коронка такой конструкции, которая позволяла бы бурить горные породы от I до VII категории по бурению.

Эту задача была решена путем замены резцов со сплавом ВК-8 и ВК-6 на сплав АТП. Коронки армированы сплавом АТП эффективно бурят горные породы от I до IX категории. Этот нюанс имеет принципиально важное значение особенно для условий работы Мирнинской ГРЭ, где пропластки пород VII-VII категорий встречаются довольно часто.

Сравнительные испытания в полевых условиях твердосплавных коронок и коронок, армированных АТП показывает высокую эффективность последних (таблица 5.15)

Таблица 5.15. Сравнительные испытания коронок

Тип коронки	Режимы бурения			Категория по бурению	Скорость бурения, м/час	Проходка, м
	P, кН	n, об/мин	Q, л/мин			
93 СА-4	11,0	300	80	VII	9,8	35,6
93 СА-1	14,0	230	70	VIII	9,0	31,7
93 СМ-6	12,0	310	80	VII	7,8	23,3
93 СТ-2	15,0	230	70	VIII	7,1	22,4
112 СА-4	17,0	250	120	VII	10,1	40,5
112 СА-1	19,0	200	110	VIII	10,0	39,5
112 СМ-6	17,0	250	120	VII	7,2	28,0
112 СТ-2	19,0	200	110	VIII	7,8	25,4
93 АТП	13,0	300	80	VII	19,0	160,2
93 АТП	15,0	230	70	VIII	18,4	151,3
93 АТП	13,0	310	80	VII	18,9	160,0
93 АТП	15,0	240	70	VIII	18,0	150,1
112 АТП	17,0	250	120	VII	19,3	159,6
112 АТП	18,0	200	110	VIII	18,0	148,3
112 АТП	17,0	250	120	VII	19,7	160,1
112АТП	18,0	200	110	VIII	18,7	150,1

Проведенные исследования позволяют выявить следующие зависимости: влияние количества и качества промывочной жидкости, влияние осевой

нагрузки, влияние частоты вращения коронки, влияние количества АТП, углов установки пластин на корпусе коронки, а также уровня износа коронки. Все эти параметры непосредственно оказывают влияние на величину проходки. Определив основные технологические параметры бурения горных пород коронками, армированными АТП, с учетом разработанной технологии упрочнения, был разработан технологический регламент отработки буровых коронок. Акты внедрения разработанных буровых коронок в производство представлены в приложении Б.

5.4 Разработка технологического регламента отработки буровых коронок

Основным экономическим показателем при бурении горных пород VI-VIII категории по буримости коронками, армированными АТП, является механическая скорость и проходка на коронку. Получить высокие экономические показатели возможно за счет оптимального регулирования технологических параметров режима бурения. Технологические параметры режима твердосплавного бурения, как и любой другой его разновидности – это те факторы процесса бурения, которые могут быть в любой момент произвольно изменены для получения оптимального их сочетания, обеспечивающего максимальную производительность. При механическом вращательном бурении с промывкой к ним относятся – осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент, частота вращения снаряда и объемный расход очистного агента в единицу времени, а также качество промывочной жидкости. Главная задача при сооружении скважины – добиваться оптимального сочетания параметров бурения обеспечивающего возможно более высокие в данных конкретных геолого-технических условиях технико-экономические показатели при высоком качестве работ.

При вращательном бурении внедрение АТП в породу происходит под действием осевого усилия. Скорость вращательного бурения зависит от глубины внедрения АТП коронки в породу и частоты ее вращения. Глубина вне-

дрения АТП зависит от: а) осевого усилия, передаваемого на породоразрушающий инструмент; б) механических свойств породы; в) геометрической формы АТП и расположения их по рабочему торцу коронки; г) частоты вращения коронки; д) быстроты удаления продуктов разрушения с забоя; е) степени приотупления АТП коронки.

При бурении не только разрушается порода, но и изнашиваются АТП, что приводит к снижению скорости бурения. Скорость износа АТП зависит, прежде всего, от соотношения между твердостью резцов и разрушаемой горной породы, а также от ее абразивных свойств, вязкости, трещиноватости и т. п. Потеря АТП зависит также от схемы расположения их по торцу коронки, геометрии, а также от параметров режима бурения.

При разработке режима бурения необходимо учитывать следующие факторы: для каждого типоразмера породоразрушающего инструмента характерны оптимальные параметры режима бурения; основное влияние на рациональное сочетание параметров режима оказывают твердость и трещиноватость горных пород; при выборе параметров режима бурения необходимо учитывать состояние скважины; существенное влияние на выбор режима бурения имеют такие свойства пород, как анизотропия, сланцеватость, перемежаемость по твердости, способствующие искривлению скважины. Исследованиями и практикой установлено, что во всех группах пород по буримости механическая скорость бурения растет с увеличением частоты вращения. Механическая скорость бурения возрастает и с увеличением осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент, но только до определенных пределов. Если она выше оптимальной, как правило, происходит резкое увеличение расхода истирающих материалов и даже разрушение коронок. Осевые нагрузки ниже оптимальных, наоборот, приводят к зашлифовыванию резцов, что проявляется в быстром снижении механической скорости и прекращении проходки. При традиционной методике разработки режима оптимальное значение осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент выбирают из нескольких последовательно увеличиваемых нагрузок. На каждой ступени нагрузка должна увеличиваться на одина-

ковую величину, при этом пропорциональное увеличение механической скорости бурения показывает, что оптимальная нагрузка на коронку еще не достигнута. Снижение механической скорости при переходе на следующую ступень показывает, что коронка начала работать в условиях чрезмерного шламообразования. В этом случае необходимо уменьшить осевую нагрузку на 1 ступень и перейти на предыдущую нагрузку, которая в данных условиях будет оптимальной. При бурении пород пластичного и хрупкопластичного типа по достижении ступени нагрузки, при которой механическая скорость уменьшается, необходимо увеличить расход промывочной жидкости и подбирать оптимальные технологические параметры.

Количество промывочной жидкости, подаваемой на забой скважины, должно в первую очередь обеспечивать очистку забоя от разрушенной породы. Недостаток очистного агента приводит к скоплению на забое скважины шлама, который препятствует нормальному процессу разрушения горной породы и приводит к неоправданному росту мощности, затрачиваемой на бурение. Чрезвычайно большой расход промывочной жидкости вызывает наоборот быстрый вынос частиц разрушенной породы с забоя, что приводит к нежелательным явлениям размыва керна, эффекту гидравлического подпора и другим. Во всех случаях, с повышением механической скорости бурения должен увеличиваться расход жидкости, подаваемой на забой скважины. С увеличением категории по буримости горных пород объем промывочной жидкости уменьшается.

В породах хрупких и упруго-хрупких (кристаллические, изверженные, метаморфические) бурение ведется на максимальной частоте вращения. В породах пластичного и хрупко-пластичного разрушения (глинистые, песчано-глинистые сланцы, аргиллиты и другие породы), шлам которых обладает способностью налипать на коронку и спрессовываться, бурение необходимо вести на более низких частотах вращения в зависимости от диаметра коронки.

Частота вращения снижается при увеличении трещиноватости горных пород на 20-50% по сравнению с бурением в монолитных породах. Осевую нагрузку при бурении трещиноватых горных пород необходимо снижать до

40–50% от номинальной во избежание преждевременного выхода коронки из строя.

Вся отделяемая от массива порода скапливается перед передней гранью резца. Если она своевременно не удаляется, то переизмельчается, что приводит к интенсивному износу резцов, уменьшению глубины их внедрения, излишнему расходу энергии и снижению эффективности работы породоразрушающего инструмента. В относительно не твердых породах будет происходить объемное разрушение, а по мере затупления резцов – поверхностное и усталостное, при этом скорость бурения снижается. Устранить это можно, повышением осевой нагрузки, увеличением числа резцов, уменьшением их размера, обеспечением постоянного угла заточки или постоянной площади контакта с породой. К такому типу породоразрушающих инструментов относятся самозатачивающиеся коронки типа СА и разработанные нами коронками, армированные АТП. В соответствии с этим и подбираются оптимальные условия работы породоразрушающего инструмента.

Осевая нагрузка определяет глубину внедрения резцов коронки в породу забоя. Под действием осевой нагрузки при вращении коронки породы разрушаются (резание, скалывание, смятие или истирание). Величина осевой нагрузки зависит от физико-механических свойств породы; качества и геометрических размеров резцов.

Резцы, имеющие значительные поперечные сечения, в процессе бурения затупляются, при этом увеличиваются площади износа. Следовательно, при постоянной осевой нагрузке, скорость углубки начинает уменьшаться. Для поддержания постоянной скорости бурения необходимо увеличивать осевую нагрузку. Однако нагрузку можно увеличивать до определенного предела, выше которого происходят поломки резцов, чрезмерный изгиб буровой колонны и искривления скважины. При больших осевых нагрузках необходимо применять УБТ. Резцы самозатачивающихся коронок разрушают породы с постоянной скоростью до полного затупления. Бурение новой ко-

ронкой необходимо начинать при пониженной осевой нагрузке, а затем доводить до требуемой (расчетной).

Известно, что скорость бурения увеличивается до определенной величины с ростом частоты вращения. Практикой установлено, что максимальные значения механической скорости бурения для большинства коронок достигнуты при окружной ее скорости $v = 1,4-1,5$ м/с. Частота вращения коронки зависит от ее диаметра и физико-механических свойств пород и устанавливается с учетом глубины скважины, технических возможностей станка и привода, прочности бурильной колонны. При бурении в трещиноватых и абразивных породах частоту вращения необходимо уменьшать и принимать при расчете нижний предел окружной скорости. Для поддержания одинаковой окружной скорости при уменьшении диаметров коронок необходимо увеличивать частоту вращения. С увеличением глубины скважины частота вращения должна уменьшаться, так как увеличиваются затраты мощности на холостое вращение колонны и напряжения кручения и изгиба.

С увеличением скорости углубки возрастает и количество шлама, следовательно, необходимо увеличивать скорость восходящего потока промывочной жидкости. Но, при этом может возрасти размыв стенок скважины и керна в мягких породах. Особенно интенсивный размыв стенок происходит в интервале колонкового набора. Во избежание этого расход жидкости уменьшают.

Заклинивание керна проводится в конце рейса. Затирание керна выполняется всухую, т. е. углубка происходит без промывки на величину 5-10 сантиметров. При этом в состав снаряда необходимо включать специальный переходник (лучше сливной) с отверстием, перекрываемым шаровым клапаном. Перед затиранием керна бурение прекращается и через вертлюг-сальник бросается внутрь колонны шарик для предупреждения выдавливания керна столбом жидкости при подъеме. Затирание всухую должно проводиться быстро с повышенной осевой нагрузкой на коронку, но с обязательным отры-

вом снаряда от забоя через каждые 2–5 см углубки. Подъем снаряда необходимо проводить плавно, без рывков и плавно ставить на подкладную вилку, чтобы предупредить выпадение керна.

В средней твердости и твердых породах осевая нагрузка и частота вращения играют главную роль, а промывочная жидкость имеет подчиненное значение. Новую коронку необходимо приработать в течение 15–20 мин при пониженных режимах. Затем устанавливается необходимая частота вращения и постепенно наращивается осевая нагрузка до требуемой величины. Плавная постановка снаряда на забой и приработка коронок способствуют повышению их работоспособности и скорости бурения. Это особенно важно при комбинированном бурении твердосплавными и алмазными коронками малых диаметров в твердых породах.

Чаще всего заклинивание керна в колонковой трубе проводится с помощью кернорвателей. При отсутствии кернорвателей керн можно заклинивать заклиночным материалом. Для этого применяют битые кусочки фарфора, кварцевой породы, толстого стекла, нарезанные кусочки алюминиевой проволоки и свитые из двух-трех алюминиевых проволок штыри длиной 100–150 мм. Перед заклинкой скважину промывают, затем через вертлюг-сальник засыпают сначала мелкую, а затем крупную фракции заклиночного материала. С помощью насоса прокачивают заклинку, до ее запрессовки между керном и коронкой. Время прокачивания зависит от глубины скважины. Кратковременным вращением срывают керн и поднимают снаряд из скважины. При глубинах свыше 300 м применение заклиночного материала нецелесообразно. В процессе бурения необходимо следить за износом коронок, особенно по наружному диаметру. В противном случае происходит зауживание скважины и последующая новая коронка должна разбуривать зауженный интервал. При этом часто происходят сколы резцов, и работоспособность коронок резко снижается, забой засоряется обломками твердых сплавов. Коронки отбраковывают по следующим признакам: наружный и внутренний диаметры

при четырех измерениях отличаются от номинальных размеров более чем на 1 мм; износ резцов более 80 %; выпадение более 20 % резцов; скол более 50 % резцов; отсутствие или качание одного резцедержателя; трещины на корпусе или его смятие; прослабленная резьба.

В породах средней твердости и твердых бурят с промывкой водой или глинистым раствором. Рост осевой нагрузки и частоты вращения снаряда требуют увеличения количества подаваемой в скважину промывочной жидкости. В процессе бурения очень важно соблюдать правильное чередование по диаметру коронок, применяемых при бурении скважин на всю глубину. Разница по наружному диаметру между предыдущей и последующей коронками не должна превышать 0,1 мм, а по внутреннему диаметру – 0,15 мм. Отступление от этого условия приводит к тому, что очередная коронка не доходит до забоя и скважину приходится разбуривать.

Оценивая расчетные величины трех основных технологических параметров для отработки экспериментальных коронок типа, 93 АТП, 112 АТП 151 АТП и 225 АТП необходимо отметить, что они вполне выполнимы за счет использования имеющихся в геологоразведочных организациях парка буровых станков и промывочных насосов.

На основании испытания более 300 экспериментальных коронок в Мирнинской и Поморской ГРЭ ОАО «Алроса», а также в Ростовской буровой компании разработан технологический регламент их отработки. По результатам проведенных работ установлены диапазоны изменения значения количества и качества промывочной жидкости, нагрузки и скорости вращения коронок, армированных АТП, соблюдение которых позволило обеспечить увеличение механической скорости бурения более чем в 1,7 раза.

Оценивая все три типа коронок, необходимо отметить, что они показали себя хорошо в абразивных горных породах с категориями VII-VIII, в условиях работы ОАО «Алроса» г. Мирный (Мирнинская ГРЭ). Коронки 112 АТП и 225 АТП лучшие результаты показали в условиях работ Поморской ГРЭ, ОАО «Алроса» г. Архангельск, где породы менее абразивны и катего-

рия по буримости составляет VI-VIII (песчаники, кварциты) Коронки со съемными АТП и встречным расположением каналов показали себя хорошо при бурении горных пород от VI до VIII категории по буримости в условиях работ ОАО «Алроса» на алмазной трубке имени М.В.Ломоносова (г. Архангельск) Наилучшие результаты показали коронки типа 151 АТП при бурении скважин VI-VIII категории по буримости в условиях работы Ростовской буровой компании (таблица 5.16). Бурение выполнялось с применением колонковой трубы диаметром 146 мм. при соблюдении следующих технологических параметров: плотность раствора - 1,2 г/см³, вязкость -28-30 с., водоотдача - 1-2 см³ за 30 минут, нагрузка на коронку - от 22 до 30 кН, частота вращения -130-300 об/мин, количество промывочной жидкости 140-180 л/мин.

Таблица 5.16 Результаты отработки буровых коронок 151 АТП

№ скважины	Категории по буримости	Количество промывочной жидкости л/мин	Осевая нагрузка кН	Частота вращения, об/мин	Механическая скорость бурения, м/час
14	VII	180-140	22,0-26,0	150-180	19,1
15	VIII	160-140	24,0-26,0	150-180	14,5
16	VII-VIII	160-140	22,0-26,0	150-180	18,3
17	VII-VIII	160-140	22,0-26,0	150-180	17,9
18	VII-VIII	160-140	22,0-26,0	150-180	18,4
19	VII-VIII	160-140	22,0-26,0	150-180	18,0

С целью определения оптимального количества АТП для коронок 112АТП и 225АТП были выполнены лабораторные испытания на буровом стенде СКБ-4 на породе с $R_k=960$ МПа, $d=15$ мм.) Результаты представлены в таблице 5.17

Таблица 5.17 Зависимость механической скорости бурения от типа коронки и режимных параметров

Тип коронок	Категория по буримости	Режимные параметры бурения			Скорость бурения, V_m , м/ч
		Нагрузки, Р, кН	Число оборотов, 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 семью 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 семью 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 семью 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 десятью 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

Значения удельных показателей для коронок, армированных АТП, приведено в таблице 5.18

Таблица 5.18. 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

Выполнение исследования позволили установить оптимальные технологические параметры для бурения коронками, армированными АТП (таблица 5.19)

Таблица 5.19 Оптимальные 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 , количество АТП - N для коронок, армированных АТП, и прошедших криогенно-магнитную обработку, будет иметь вид (рисунок 5.6)

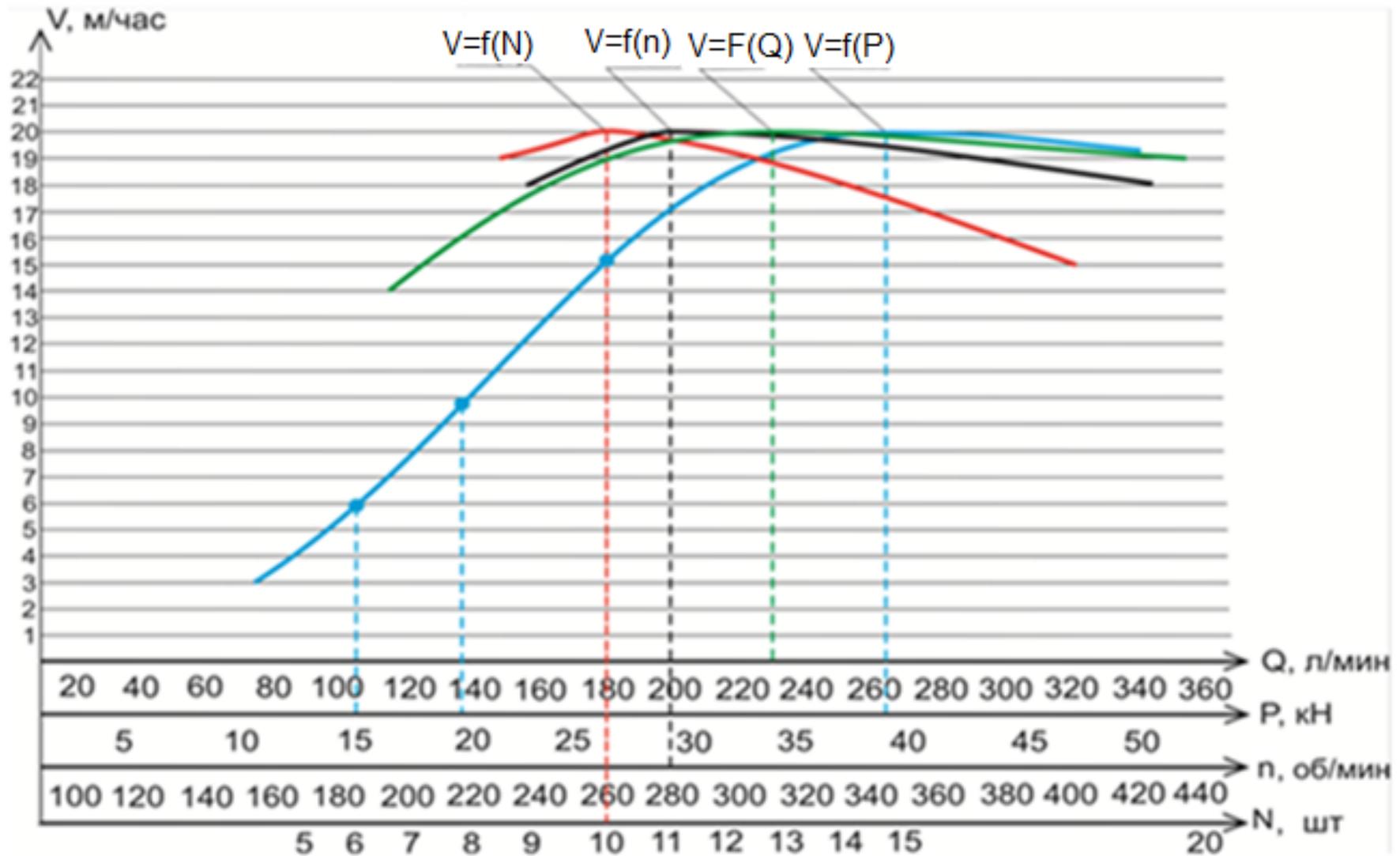


Рисунок 5.6. Зависимость механической скорости бурения V_m от количества промывочной жидкости - Q , нагрузки на коронку - P , частоты вращения - n , количества АТП - N (для коронок диаметром 225мм.)

Выполненные экспериментальные и полевые исследования позволили:

1. Выявить зависимость механической скорости бурения от переднего угла установки АТП и от количества АТП на коронке.
2. Установить, что во всем диапазоне рабочих частот (от 90 до 430 об/мин) для коронок, армированных АТП, скорость бурения зависит от соотношения удельной нагрузки и контактной прочности горной породы (категории по буримости)
3. Установить оптимальные режимы бурения по критерию механической скорости бурения в зависимости от основных технологических параметров технологии бурения: количества и качества промывочной жидкости, нагрузки на коронку и частоты вращения.
4. Установить оптимальную технологию бурения скважин коронками, армированными АТП, с учетом удельных режимных показателей.
5. Разработать технологический регламент отработки буровых коронок, армированных АТП.
6. Установить, что буровые, армированные АТП, обладают большой работоспособностью в различных геологических условиях и могут с успехом заменить твердосплавные буровые коронки при бурении скважин по горным породам средней и выше средней крепости.

6. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАБОТКИ БУРОВЫХ КОРОНОК, АРМИРОВАННЫХ АТП

Расчет экономической эффективности применения новых конструкций породоразрушающего инструмента является очень сложным. Относительную же оценку эффективности применения коронок можно получить используя методику ВНИИБТ [187], которая учитывает проходку на коронку и рейсовую скорость. Для расчета приняты самозатачивающиеся коронки диаметром 112 СА-4 и 112 АТП (данные таблицы 6.1), которые обрабатывались в Мирнинской ГРЭ ОАО “Алроса”. Отработка выполнялась при одинаковых геолого-технических и режимных параметрах, соответствующим технологическому регламенту.

В таблице 6.1 приведены основные сравнительные данные на отработке коронки СА-4 диаметром 112 мм, армированной твердым сплавом ВК-6 и коронки 112 АТП, армированной АТП.

Таблица 6.1 Основные сравнительные данные коронок

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерений	Коронка СА-4	Коронка Д-112АТП
1	2	3	4	5
1	Диаметр коронки	мм	112	112
2	Категория по буримости		VII	VII
3	Кол-во твердосплавных резцов	шт	25	8
4	Масса	кг	1,2	2,1
5	Средняя глубина скважины	м	200	200,0
6	Механическая скорость	м/час	10,1	19,8
7	Проходка на коронку	м	40,5	160
8	Время нахождения в работе коронки до полного износа	час	1,0	13,4
9	Время чистого бурения 50 м горных пород VII категории	час	8,2	4,46
10	Стоимость коронки	руб	800	1600
11	Объем бурения	м	40,5	150
12	Стоимость 1 часа работы буровой установки	руб/ч	5100	5100

Согласно принятой методике, прогнозируемый эффект определяется по формуле, руб.,

$$\Xi = \left[\left(\frac{C_{\text{саб}}}{h_{\text{саб}}} + \frac{C}{V_{\text{саб}}} \right) - \left(\frac{C_{\text{атп}}}{h_{\text{атп}}} + \frac{C}{V_{\text{атп}}} \right) \right] \cdot H_{\text{атп}} \quad (6.1)$$

$$\Xi = \left[\left(\frac{800}{40,5} + \frac{5100}{10,1} \right) - \left(\frac{1600}{160} + \frac{5100}{19,8} \right) \right] \cdot 150 = 38,4 \text{ т.руб.}$$

где $C_{\text{саб}}$ и $C_{\text{атп}}$ - стоимость коронок СА4: и Д112 АТП соответственно, руб ;

C - стоимость 1ч. работы буровой установки по затратам, зависящий от времени, руб/ч;

$h_{\text{саб}}$ и $h_{\text{атп}}$ - проходка на коронку СА:4 и 112 АТП соответственно, м;

$V_{\text{саб}}$ и $V_{\text{атп}}$ - рейсовая скорость бурения коронками СА: и 112 АТП соответственно, м/ч;

$H_{\text{атп}}$ - объем бурения одной коронкой 112 АТП, м

При расчете приняты следующие допущения :

1 Рейсовая скорость бурения равна механической.

2 Объем бурения равен проходке на коронку. Таким образом прогнозируемый экономический эффект при бурении пород VII категории по буримости от применения одной коронки 112 АТП для условий работы ОАО “Алроса”, рассчитанный по методике ВНИИБТ, составляет 38,4 тыс.руб

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

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

1. Обобщен опыт и систематизированы результаты исследований по конструкции и технологии применения кольцевых коронок, армированных твердосплавными резцами.

2. Разработаны конструкции коронок нового поколения армированных АТП, для бурения разведочных, и эксплуатационных скважин в породах VI-VIII категории по буримости.

3. 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° ; кернаобразующий и скважинообразующий АТП необходимо устанавливать с передним отрицательным углом 15° и углом поворота в плоскости торца равным $10-15^\circ$

4. Разработана в формате 3D стабилизирующая антивибрационная модель буровых коронок, армированных АТП, позволившая оптимизировать конструкцию буровых коронок.

5. Разработана гидравлически сбалансированная конструкция антивибрационных буровых коронок, что позволяет добиться максимальной очистки забоя скважины от шлама и повышения производительности бурения.

6. Расположение калибрующих АТП на коронках в дополнительных промывочных каналах по спиральной схеме обеспечивает большую стабильность ствола скважины по вертикали во время бурения переслаивающихся по твердости горных пород.

7. Разработанная серия буровых коронок, армированных АТП, вобрала в себя значительные достижения во многих областях, включая оптимизацию

профиля торца коронки, гидродинамику промывочных каналов, технологию пайки резцов и способ упрочнения буровых коронок.

8. В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи, заключающиеся в разработке конструкций буровых коронок нового поколения, армированных АТП, а также технологии их упрочнения и обработки, позволяющей повысить экономическую эффективность сооружения геологоразведочных скважин.

9. Выполненные экспериментально-лабораторные и полевые исследования, позволили создать, на основе 6 изобретений, оптимальные конструкции коронок с учетом количества АТП в каждой коронке, возможности их замены, расположения АТП, конфигурации промывочных каналов и технологии бурения.

10. 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.

11. Получены зависимости эффективности процесса разрушения горных пород от параметров буровых коронок и интенсивности изнашивания АТП по высоте во времени от задаваемых параметров режимов бурения.

12. Установлена ранее неизвестная 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.

13. Разработана технология уменьшения вибраций буровых коронок, армированных АТП, с использованием двух патентов на изобретение.

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

15. В результате выполнения большого объема экспериментальных работ предложена криогенно-магнитная гипотеза механизма упрочнения буровых коронок, армированных АТП, объясняющая происходящие при этом явления.

16. Разработанные оптимальные технологические параметры криогенно-магнитного способа упрочнения: время выдержки в жидком азоте - 15 минут при температуре -196°C , нагревание до температуры 20°C с последующим омагничиванием в постоянном вращающемся магнитном поле напряженностью 320 кА/м в течении 15 минут.

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

18. 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.

19. Разработанная оптимальная технология бурения скважин внедрена на буровых предприятиях ОАО “Алроса” и “Ростовской буровой компании”, при этом удалось достичь увеличения твердости коронки до 30% механической скорости бурения в 1,7 раза, проходки на коронку в более чем три раза.

20. Экономический эффект от внедрения одной коронки, армированной АТП, составляет 38,4 тыс. рублей.

21. 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 требует продолжения работ по данной проблеме.

Список литературы

1. Соловьев Н.В., Кривошеев В.В., Башкатов Д.И. и др. Бурение разведочных скважин. – М.: «Высшая школа», 2007. – 904 с.
2. Калинин А.Г., Ошкордин О.В., Питерский В.М., Соловьев Н.В. Разведочное бурение. – М.: «Недра», 2000.- 748 с.
3. Сулакшин С.С. Бурение геологоразведочных скважин. – М.; «Недра», 1994.- 432 с.
4. Соловьев Н.В. Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях./ Н.В. Соловьев, В.Ф. Чихоткин, Р.К. Богданов. А.П. Загора.- М.: ВНИИОЭНГ, 1997.- 330 с, ил.
5. Калинин А.Г. Технология бурения разведочных скважин./ А.Г. Калинин, В.И. Власюк, О.В. Ошкордин, Р.М. Скрыбин.- М: Издательство «Техника», ТУМАГРУПП, 2004.- 528 с.
6. Сулакшин С.С. Практическое руководство по геологоразведочному бурению/ М: “Недра” 1978.- 331 с.
7. Горшков Л.К. Температурные режимы алмазного бурения./ Л.К. Горшков, В.Г. Гореликов.-М.: Недра, 1992.-193 с, ил.
8. Асеева А.Н. Совершенствование технологии бурения скважин долотами режущего типа за счет применения их двухъярусной конструкции. Диссертация кандидата техн. наук. Новочеркасск 2009, 146 с.
9. Горшков Л.К., Осецкий А.И. Исследования влияния конструктивных параметров коронки на механическую скорость бурения и интенсивность ее износа/ методика и техника разведки, 1999, №9-10 (147148)
10. Балаба В.И., Бикбулатов И.К., Вышегородцева Г.И., Гинзбург Э.С., Оганов А.С. Буровой породоразрушающий инструмент. Учебное пособие. РГУ им. Губкина И.М. 2013, 246 с.
11. Азбука Компас - 3D V14 [электронный ресурс]. - ЗАО “АСКОН”, 2013 - режим доступа:http://edu/ascon.ru/source/info-materials/kompas_14.

12. Власюк В.И. Технические средства и технологии для повышения качества бурения./ В.И. Власюк, Ю.Е. Будюков, В.И. Спирин. Тула: ИПП «Гриф и К», 2013 176 с., ил.
13. Третьяк А.А., Савенок О.В., Швец В.В. Буровые коронки, армированные алмазно-твердосплавными пластинами./ Монография. ИД «Политехник», г.Новочеркасск, 2015 г, 186 с.
14. Третьяк А.А., Гроссу А.Н., Борисов К.А. Конструкция буровых коронок, армированных АТП, с учетом схемы разрушения забоя скважины./ Строительство нефтяных и газовых скважин на море и на суше. ВНИИО-ЭНГ-06.2015, №6-стр. 9-12
15. Третьяк А.А., Сысоев Н.И., Буренков Н.Н. Расчет конструктивных параметров буровых коронок, армированных PDC./ Oil and Gas Journal. Penn Well 05.2012 №5- стр. 66-69
16. Калинин А.Г., Левицкий А.З., Никитин Б.Л. Технология бурения разведочных скважин на нефть и газ.- М.: Недра, 1998.
17. Соловьев Н.В., Башкатов Д.Н., Горшков Л.К., Третьяк А.Я., Власюк В.И., Богданов Р.К., Загора А.П., Будюков Ю.Е., Спирин В.И., Осецкий А.И, Исонкин А.М. Геологоразведочный породоразрушающий инструмент на основе алмазов и сверхтвердых материалов. Новочеркасск, ЮР-ГТУ(НПИ), 2009. 333с
18. Башкатов Д.Н. Вопросы выбора критерия оптимизации процесса бурения. НТЖ. Инженер-нефтяник 1, 2009 с. 17-19.
19. Повышение эффективности колонкового алмазного бурения/ Б.И. Воздвиженский. Г.А. Воробьев. Л.К. Горшков и др. – М.: Недра, 1990.
20. Башкатов Д.Н. Обоснование угла установки резцов в долотах лопастного типа. НТЖ Инженер-нефтяник, 2010. №3, с. 21-24.
21. Горшков Л.К., Мендебаев Т.Н., Прокопенко В.С. Буровая коронка. Пат. РФ №2120021.- Б.И., 1998, №28.
22. Спирин В.И., Левин д.М. Новые направления создания алмазного породоразрушающего инструмента. Тула. 2000.

23. Богданов Р.К., Загора А.П., Исонкин А.М. и др. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном инструменте.- Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003.- 138 с.
24. Осецкий А.И. Разработка методов и средств регенерации алмазов и компонентов матриц алмазных коронок с целью их повторного использования: Автореф. дис. докт. техн. наук / Московская государственная геологоразведочная академия - М., 2000-42 с.
25. Крапивин М.Г., Раков И.Я., Сысоев Н.И. Горные инструменты. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990.- 256 с.
26. Сысоев Н.И., Буренков Н.Н., Раков И.Я., Мирный С.Г. Научные основы выбора параметров высокоэффективных режущих инструментов горных машин. – ж. «Горное оборудование и электромеханика», 2007 г., №10, с. 13-20.
27. Буренков Н.Н. Вероятностный метод расчета износостойкости инструментов горных машин при резании пород. Горный информационно-аналитический бюллетень, №2, 2004 г., с. 254-256.
28. Сысоев Н.И., Буренков Н.Н., Морозов И.С. Метод расчета конструктивных параметров дифференциального долота режущего типа / Известия высших учебных заведений. Сев.-Кав. регион. Технические науки. 2009, №3 с. 71-75.
29. Соловьев Н.В., Чихоткин В.Ф., Власюк В.И., Ганджумян Р.А., Хромин Е.Д. Основы конструирования алмазного породоразрушающего инструмента. Учеб.-метод.пособ. – М.: МГГА, 2000.- 256 с.
30. Афанасьев И.С., Блинов Г.А. и др. «Справочник по бурению геологоразведочных скважин». – Спб.: ООО «Недра», 2000.- 712 с.
31. Нескоромных В.В., Борисов К.И. Аналитическое исследование процесса резания-скалывания горной породы долотом с резцами PDC./Известия Томского политехнического университета.2013, Т323, № 1 с.191-195.
32. Нескоромных В.В., Пушмин П.С. Методика анализа ситуаций на забое скважины по углубке за один оборот алмазного породоразрушающего ин-

- струмента. Известия Сибирского отделения секций наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений.- 2012.-Т.40. - №1 с. 96-104
33. Нескоромных В.В., Петенев П.Г., Неверов А.Л., Пушмин П.С., Романов Г.Р. Разработка и экспериментальные исследования особенностей работы алмазной коронки для бурения в твердых анизотропных горных пород ./ Известия томского политехнического университета, 2015, т326, №4, с 30-39.
34. Калинин А.Г., Ошкордин О.В., Питерский В.М., Соловьев Н.В. Разведочное бурение.- М.: Недра, 2000.
35. Козловский Е.А. Стратегия оптимизации процесса разведочного бурения.- М.: Н. Техническое геологическое общество, 1991.
36. Рабиа Х. Технология бурения нефтяных скважин: Пер. с англ.- М.: Недра. 1989.- 413 с.
37. Ребрик Б.М., Козловский А.Е. Механические критерии оптимизации разведочного бурения// межвузовский научный тематический сборник. Екатеринбург, 19996 г.
38. Кошелев Ю.Ф. Влияние параметров режима резания на износ коронок// Изв. ВУЗов.- Геология и разведка.- 1973 - №5. – с. 141-145.
39. Нескромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геолого-разведочных работ. –М.Инфа - М.,2016.
40. Третьяк А.А., Гроссу А.Н., Борисов К.А. Конструкция буровых коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами, с учетом схемы разрушения забоя скважины./ «Строительство нефтяных и газовых скважин на море и на суше». ВНИИОЭНГ- 06.2015, №6- с. 9-12
41. Третьяк А.А.,. Разработка современных конструкций коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами и технология их использования/Кандидатская диссертация/ Новочеркасск. - 2012., - 210 с.
42. Соловьев Н.В., Исонкин А.М., Богданов Р.К., Шестаков С.И. Механизм разрушения горной породы и определение составляющих сил её резания

- буровым инструментом, оснащенным алмазно-твердосплавными пластинами. /Инженер-нефтяник №1, 2010, с. 32-36.
43. Буренков Н.Н. Вероятностный метод расчета износостойкости инструментов горных машин при резании пород. Горный информационно-аналитический бюллетень, №2. 2004г., с. 254-256.
44. Буренков Н.Н. Метод расчета геометрических параметров буровых резцов со сложной формой режущей части// Известия высших учебных заведений. Сев.-Кав. регион. Технические науки. 1995. №1-2. с. 86-89.
45. Сысоев Н.И., Буренков Н.Н., Морозов Н.С. Метод расчета конструктивных параметров дифференциального долота режущего типа/ Известия высших учебных заведений. Сев.Кав. регион. Технические науки. 2009, №3 с. 71-75.
46. Сысоев Н.И., Буренков Н.Н., Раков И.Я., Мирный С.Г. Научные основы выбора параметров высокоэффективных режущих инструментов горных машин.- ж. «Горное оборудование и электромеханика», 2007г., №10, с. 13-20.
47. А.с. № 1686114 (СССР). Резец для вращательного бурения/ Павленко В.И., Литкевич Ю.Ф., Олейников Б.А., Свешников И.А., Красник В.Г., Вировец Л.Н., Анохин В.И., опубл. 23.10.1991; Бюл. №39.
48. Сысоев Н.И. Методы повышения прочности и долговечности режущих инструментов очистных и проходческих машин: Дис. Д-ра техн. наук. Новочеркасск: НПИ, 1992, - 464 с.
49. Коронка для бурения горных пород/ Третьяк А.Я., Литкевич Ю.Ф., Онофриенко С.А. и др.// Проблемы добычи газа, газового конденсата, нефти: тез. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф., г. Кисловодск, 22-27 сент. 2008 г./ ОАО СевКавНИПИГаз.- Ставрополь: РИО СевКавНИПИГаз, 2008.- с. 78-84.
50. Третьяк А.А., Буренков Н.Н., Чихоткин А.В. Режущая часть долота PDC: оптимизация геометрических параметров./ Oil and Gas Journal. Penn Well, 05.2013 №5 –56-58.

51. Эпштейн Е.Ф., Вареник А.В. Разрушение горных пород при твердосплавном алмазном бурении разведочных скважин./Технология и техника геологоразведочных. МГРИ. Москва. 1980, с.5-23.
52. Третьяк А.А., Савенок О.В., Гроссу А.Н., Борисов К.А. Новое двухъярусное долото режущего типа./ Oil and Gas Journal. Penn Well, 05.2015 №5 с. 50-53.
53. Третьяк А.А., Гроссу А.Н., Борисов К.А. Конструкция буровых коронок, армированы АТП, с учетом схемы разрушения забоя скважины./ Строительство нефтяных и газовых скважин на море и на суше. ВНИИО-ЭНГ-06.2015, №6.- с. 9-12
54. Третьяк А.А., Сысоев Н.И., Буренков Н.Н. Расчет конструктивных параметров буровых коронок, армированных PDC./ Oil and Gas Journal. Penn Well 05.2012 №5 с. 66-69.
55. Нескоромных В.В. Теоретические и экспериментальные исследования основ механики разрушения горных пород в процессе формирования стволов скважин заданного направления и кривизны. Автореф. дис. доктора технических наук, Томск 1998, 38с.
56. Литкевич Ю.Ф., Асеева А.Е., Третьяк А.А. Разработка методики расчета наработки породоразрушающего инструмента с алмазносплавным вооружением// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море.- 2010.- №12.- с. 2-5.
57. Горшков Л.К., Мендебаев Т.Н. Разведочное бурение с гидроизвлечением керноприемника.- СПб.: Недра, 1994.
58. Пушмин П.С. Обоснование модели алмазной коронки на основе исследования механики разрушения твердых анизотропных пород/ Диссерт. Уч. ст. канд. техн. наук.- Томск: ТПУ, 2006.
59. Будюков Ю.Е. Разработка научных основ проектирования специального алмазного породоразрушающего инструмента и технологии его применения/ Диссерт. уч. ст. докт. техн. наук. – М.: МГГУ, 2003.

60. Нескромных В.В., Пушмин П.С., Пуревсурэн Р. Алмазная буровая коронка. Пат. РФ № 49085. Б.И., 2005, №31.
61. Чихоткин В.Ф., Богданов Р.К., Загора А.П. Влияние конструктивных особенностей промывочного канала импрегнированной коронки на разрушение горных пород. Межвуз. науч. сборник. Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. Екатеринбург - 1996.
62. Larsen-Bass J., Perrott C.M., Robinson P.M. Abrasive wear of tungsten composites. Rotary drilling tests. «Mater. Sci. and Eng», №2, 1976. – p. 13-17.
63. Kennedy J.L. Drilling passes satellite test, gears for expansion.- Oil a. Gas J., 2002, №35. – p. 79-94
64. Lummus I.L. Drilling optimization.- J. of Petr. Techn., November, 1990. – p. 128-145
65. Борисов К.И. динамика работы резцов в процессе разрушения горных пород инструментами режуще-скалывающего действия типа PDC/ Известия Томского политехнического университета. 2010, т.317, №1.- с. 161-164.
66. Литкевич Ю.Ф., Мирный С.Г. Исследование контактной температуры на режущих кромках и определение максимальной частоты вращения резцов, армированных АТП/ Механизация и автоматизация горных работ: Сб. науч. тр./ Юж.-Рос. гос. техн. ун-т.- Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 1999.- с. 48-51.
67. Богатырева Г.П., Богданов Р.К., Исонкин А.М., Илиницкая Г.Д., Соловьев Н.В Влияние добавок наноалмазов на физико-механические свойства и износостойкость матрицы импрегнированных буровых коронок/Разведка и охрана недр, №3, 2011., с.56-58.
68. Осецкий А.И. Разработка методов и средств регенерации алмазов и компонентов матриц алмазных коронок с целью их повторного использования: Автореф. дис. докт. техн. наук/ Московская государственная геологоразведочная академия – М., 2000- 42 с.

69. Спирин В.И., Будюков Ю.Е., Нескромных В.В., Петенев П.Г., Пушмин П.С., Колбасов В.В. Патент RU № 148333 БИ № 34, 2014 г. на полезную модель «Алмазная коронка для бурения».
70. Спирин В.И. Способ изготовления алмазного породоразрушающего инструмента./ Спирин В.И., Власюк В.И., Левин Д.М., Будюков Ю.Е. и др. Патент на изобретение № 2202440/ Бюл. Изобр.
71. Спирин В.И. Алмазный инструмент для бурения скважин предельно малого диаметра на нефть и газ./ Спирин В.И., Будюков Ю.Е., Кубасов В.В. Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник», №4, 2013.
72. Спирин В.И. Особенности технологии бурения глубоких разведочных скважин в Норильском рудном районе./ Спирин В.И., Будюков Ю.Е., Кубасов В.В. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов – Вып. 17- Киев: ИСМ, НАН Украины, 2014, 32-36.
73. Кубасов В.В. Новый способ изготовления породоразрушающего инструмента./ Кубасов В.В., Спирин В.И., Будюков Ю.Е. Приоритетные направления науки и технологий: тезисы докладов XVI международной науч.-техн. конф.; под общ. ред. Панарина В.М. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2014, с. 76-81.
74. Спирин В.И. Влияние смачиваемости алмаза металлом на работоспособность породоразрушающего инструмента./ В.И. Спирин, Ю.Е. Будюков, В.В. Кубасов. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов - Вып.17 – Киев: ИСМ, НАН Украины, 2014, 15-18.
75. Спирин В.И. Интенсификация технологических процессов в аппарате с вихревым слоем при производстве алмазного породоразрушающего инструмента./ Спирин В.И., Будюков Ю.Е., Кубасов В.В. XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» в период с 08 по 10 апреля 2015 г., Москва, МГРИ РГГРУ.

76. Спирин В.И. Остаточные напряжения в матрицах алмазных коронок./ Спирин В.И., Кубасов В.В., Будюков Ю.Е. Приоритетные направления науки и технологий: тезисы докладов XVI международной науч.-техн. конф.; под общ. ред. Панарина В.М. – Тула Изд-во «Инновационные технологии», 2015 г., с. 87-89.
77. Повышение эффективности колонкового алмазного бурения/ Б.И. Воздвиженский, Г.А. Воробьев, Л.К. Горшков и др. – М.: Недра, 1990.
78. Чихоткин В.Ф. Разработка основных положений процесса, алмазного породоразрушающего инструмента/ Диссерт. уч. Ст.докт. техн. наук.- М.: МГГА, 1978.
79. Будюков Ю.Е. Повышение прочностных свойств природных алмазов в аппарате вихревого слоя»/ Будюков Ю.Е., Спирин В.И., Кубасов В.В. Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов XVII международной науч.-техн. конф.; под общ. ред. В.М. Панарина.- Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2015, с. 93-98.
80. Будюков Ю.Е. Характер износа алмазной коронки./ Ю.Е. Будюков, В.В. Кубасов, В.И. Спирин, А.Ю. Алексеев, А.В. Якушин. Приоритетные направления науки и технологий: тезисы докладов XVII международной науч.-техн. конф.; под общ. ред. В.М. Панарина.- Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2015, с. 89-92.
81. Борисов К.И. Разработка научного метода объективной оценки процессов динамического разрушения горных пород инструментами режуще-скалывающего действия класса PDC (часть I)// Инженер-нефтяник.- 2010.- №4.- с.23-26.
82. Литкевич Ю.Ф., Асеева А.Н., Третьяк А.А. Разработка методики расчета наработки породоразрушающего инструмента с алмазно-твердосплавным вооружением./Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море . № 12, 2010, с.2-4.

83. Борисов К.И. Научная база нового метода оценки эффективности процессов разрушения горных пород современными инструментами режуще-скалывающего действия// Вестник ЦКР Роснедра.- 2011.- №4.- с. 51-58.
84. Kis, P.Jiles-Atherton Model Implementation to Edge Finite Element Method: Doctoral Dissertation/Peer Kis. - Budapest University of Technology and Economics. - 2006. - 131.
85. Будюков Ю.Е. Создание и производство специального алмазного бурового инструмента. Обзор.- М.: МГП «Геоинформмарк», 1993.- 40 с.
86. Спирин В.И. Алмазный инструмент для бурения скважин предельно малого диаметра на нефть и газ./ В.И. Спирин, Ю.Е. Будюков, В.В. Кубасов. Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник», №4, 2013.
87. Спирин В.И. Особенности технологии бурения глубоких разведочных скважин в Норильском рудном районе./ В.И. Спирин, Ю.Е. Будюков, В.В. Кубасов. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения: Сборник Научных трудов – Вып. 17- Киев: ИСМ, НАН Украины, 2014, 32-36.
88. Кубасов В.В. Новый способ изготовления породоразрушающего инструмента./ В.В. Кубасов. В.И. Спирин, Ю.Е. Будюков. Приоритетные направления науки и технологий: тезисы докладов XVI международной науч.-техн. конф.; под общ. ред. В.М. Панарина.- Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2014, с. 76-81.
89. Кубасов В.В. Исследования по повышению прочностных свойств природных алмазов пониженного качества./ В.В. Кубасов, В.И. Спирин, Ю.Е. Будюков. Приоритетные направления науки и технологий: тезисы докладов XVI международной науч.-техн. конф.; под общ. ред. В.М. Панарина .- Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2014,с. 81-84.
90. Спирин В.И. Влияние смачиваемости алмаза металлом на работоспособность породоразрушающего инструмента./ В.И. Спирин, Ю.Е. Будюков, В.В. Кубасов. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инстру-

- мент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов – Вып.17 – Киев: ИСМ, Нан Украины, 2014, 15-18.
91. Борисов К.И. Методика оценки эффективности процесса динамического резания горных пород инструментами режуще-скалывающего действия.- Нефтяное хозяйство.- №8.- 2008.- с. 112-113.
92. Борисов К.И. Методика оценки динамических прочностных свойств горных пород и эффективности процесса разрушения горных пород инструментами режуще-скалывающего действия.- Бурение и нефть.- 2008.- №1. – с.24-27.
93. Борисов К.И. Экспериментальная количественная оценка силовых характеристик резания горных пород// Известия ВУЗов ТПУ.- Т 305.- Вып.8.- 2—2.- с. 216-219.
94. Борисов К.И. Прикладные аспекты нового научного метода оценки свойств и эффективности процесса разрушения горных пород.- Бурение и нефть.- 2010.- №3. С. 24-27.
95. Богданов Р.К., Загора А.П., Исонкин А.М. и др. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном инструменте. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003.- 138 с.
96. Будюков Ю.Е. Алмазный породоразрушающий инструмент. Ю.Е. Будюков, В.И. Власюк, В.И. Спириин.- Тула: ИПП «Гриф и К⁰», 2005.- 288 с, ил.
97. Власюк В.И. Новые технологии в создании и использовании алмазного породоразрушающего инструмента/ В.И. Власюк, Ю.Е. Бдюков, л.К, Горшков, И. Осецкий, С.Я. Рябчиков, В.И. Спириин.- М.: ЗАО «Геоинформ-марк», 2002.- 140 с., ил.
98. Борисов К.И. Динамика работы резцов в процессе разрушения горных пород инструментами режуще-скалывающего действия типа PDC// Известия томского политехнического университета.- 2010.- Т.317.- №1.- с.161-164.

99. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геолого-разведочных работ: учебное пособие - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. - 396.
100. Осецкий А.И. Новые направления в создании алмазного инструмента. Сб. ВИТР, вып. 6./ А.И. Осецкий, Н.И. Корнилов, В.А. Каулин.- СПб.: 1995.
101. Спиринов В.И., Левин Д.М. Новые направления создания алмазного породоразрушающего инструмента. Тула. 2000.
102. Технические средства и технологии для повышения качества бурения. Власюк В.И., Будюков Ю.Е., Спиринов В.И. Тула: ИПП «Гриф и К», 2013, 176 с.
103. Третьяк А.А., Савенок О.В., Швецов В.В. Буровые коронки, армированные алмазно-твердосплавными пластинами./ Монография. ИД «Политехник», г. Новочеркасск, 2015 г., с. 186.
104. Будюков Ю.Е. Алмазное бурение направленных и многоствольных скважин. / Ю.Е. Будюков, В.И. Спиринов.- Тула: ИПП «Гриф и К⁰», 2007.- 180 с, ил.
105. Нескоромных В.В. Оптимизация при геологоразведочном производстве. М. Инфа - М, 2015, 199с.
106. Борисов К.И. Научный метод оценки эффективности динамических процессов разрушения горных пород при бурении скважин современными инструментами режуще-скалывающего действия. Автореф. диссер. доктора технических наук. Томск 2012, 36 с.
107. Денисов П.А. Аналитическое решение дифференциального уравнения упрощенной модели Джилса-Аттерсона/ П.А. Денисов, Н.Ю. Лукьянова, А.Л. Арбамян// Сборник статей Международной научно-практической конференции “Современные концепции развития науки” (Казань, 20.08.2016 г.) - Уфа: Аэтерна. - 2016. - Т.1. - с.21-23.
108. Денисов П.А. Явные выражения для описания петли гистерезиса, полученные на основе упрощенной модели Джилса-Аттертона / П.А.Денисов,

- Н.Ю. Лукьянова, А.Л. Абрамян// Международное научное периодическое издание “Новая наука: от идеи к результату” по итогам международной научно-практической конференции (Стерлитамак, 22.08.2016 г.). - Стерлитамак: АМИ. - 2016. - Т.1. - с. 18-21.
109. Кубасов В.В. Зависимость работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента от смачиваемости алмаза металлом. / В.В. Кубасов, Ю.Е. Будюков, В.И. Спирин. Инновационные наукоемкие технологии: тезисы докладов междунар. научн. – техн. конф.; под общ.ред. В.М. Панарина. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2014 г. с. 6-11.
110. Кубасов В.В., Спирин В.И., Будюков Ю.Е. Алмазная импрегнированная буровая коронка. Патент РФ на полезную модель №138678 БИ. № 8, 2014г.
111. Спирин В.И., Будюков Ю.Е. Нескромных В.В., Петенев П.Г., Пушмин П.С., Кубасов В.В. Патент Ru № 148333 БИ № 34, 2014. на полезную модель «Алмазная коронка для бурения».
112. Спирин В.И. Способ изготовления алмазного породоразрушающего инструмента. / В.И. Спирин, В.И. Власюк, Д.М. Левин, Ю.Е. Будюков и др. Патент РФ на изобретение №2202440. Бюл. изобр., 2003, №11.
113. Кубасов В.В. Исследование износа алмазных коронок. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – 2015. - № 4 (специальный выпуск 12). – 12с. – М.: Издательство «Горная книга», с. 6-11.
114. Осецкий А.И. Новые направления в создании алмазного инструмента. Сб. ВИТР, вып. 6./ А.И. Осецкий, Н.И. Корнилов, В.А. Каулин. – СПб.:1995.
115. Денисов П.А. О проблеме неустойчивости численно-аналитического решения дифференциального управления упрощенной модели Джилса-Аттертона/ П.А. Денисов, Н.Ю. Лукьянова, А.Л. Абрамян//Международное научное переодическое издание “Новая наука: теоретический и практический взгляд” по итогам международной научно-

- практической конференции (Ижевск, 04.09.2016 г.). - Стерлитамак: АМИ.- 2016. - с 105-107.
116. Bentsen R.G., Wilson D.C. Optimization techniques for weight on and rotary speed.- The J. of Canad. Petr., 2000, №4.
117. Bentsen R.G., Wilson D.C. Optimization techniques for weight on and rotary speed.- The J. of Canad. Petr., 2001, №1.
118. Куликов В.В. Рациональная конструкция промывочной системы буровых коронок при бурении эжекторными снарядами в сложных геологических условиях. //Горный информационно-аналитический бюл. Деп. Изд-ва МГГУ. Спр. №656/11-08 от 04.08.2008.- 6с.
119. Рожков В.П. Разработка теоретических основ и совершенствование бурения геологоразведочных скважин алмазным породоразрушающим инструментом. Автореф. дис. докт. техн. наук /Томский политехнический университет. - Томск, 1999.-32с.
120. Куликов В.В. Научные основы промывки разведочных скважин в сложных геологических условиях: Автореф. Дисс. Докт. Техн. наук/ Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе. М.:2008.-45с.
121. Симонов В.В., Юнин Е.К. Влияние колебательных процессов на работу бурильного инструмента – М.: «Недра», 1977.-216с.
122. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н., Шмидт Р.Г. Вибрация и надежность работы станков шарошечного бурения –М.: «Недра» 1969.-127с.125.
123. Дороднов И.П. Формирование ствола скважины в процессе бурения. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2002. - 279 с.
124. Юдин Е.К. Низкочастотные колебания бурильного инструмента – М.:«Недра» , 1983.-132с.
125. Конесев Г.В., Мавлютов М.Р., Сптвак А.И. и др. Смазочное действие сред в буровой технологии М., - «Недра», 1993.-271с.

126. Блинов Г.А., Курочкин П.Н., Суманеев Н. Н. Антивибрационные средства для алмазного геологоразведочного бурения – Л., - «Недра», 1974.-120с.
127. Копылов В.Е., Чистяков Ю.А., Мухин Э.М. Вибрации при алмазном бурении М., -«Недра», 1967.-128с.
128. Копылов В.Е., Чистяков Ю.А. Применение смазки бурильных труб при алмазном бурении структурно-поисковых скважин. Нефтегаз, № 9, 1964.
129. А.с. 485161 ССР, МКИ с 21 9/22. Способ термической обработки инструмента. / Е.С. Жмудь (ССР); - № 1839057/22 – 1; Заявлено 7.10.72; Опубл. 25.0975, Бюл. 35 – 3с.
130. Рябчиков С.Я. Объемное упрочнение твердосплавного породоразрушающего инструмента с целью повышения его эксплуатационных показателей. Докторская диссертация. Томск 2002.-309с.
131. Канарев В.Н., Плетнев М.В., Тугай В.В., Канарев Д.В. Обработка инструмента глубоким холодом Луганск, - 2013.-168с.
132. Рябчиков С.Я. Исследование влияния криогенной обработки на ресурс твердосплавных коронок// Тез.докл. Межотр. сем. « Современные методы и средства управления процессом бурения», Челябинск: ЧПИ, 1981.-18с.
133. Кубасов В.В. Повышение эффективности бурения геологоразведочных скважин в твердых породах путем модернизации матриц алмазного породоразрушающего инструмента. Кандидатская диссертация. Москва 2015.-116с.
134. Канарев В.Н., Плетнев М.В., Тугай В.В., Канарев Д.В. Обработка инструмента магнитным полем. Луганск, - 2014.-239с.
135. Литкевич Ю.Ф., Третьяк А.А. Криогенная обработка алмазно-твердосплавных пластин для коронок. /Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки, - 2014.№4.-82-84с.
136. Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Савенок О.В., Туровский И.Г. Патент № 2566523. Способ упрочнения буровых коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинками. //БИ.-2015. - № 30.

137. Рябчиков С.Я., Власюк В.И., Спирин В.И. Объёмное упрочнение породоразрушающего и металлорежущего инструмента. - М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001.-52 с.
- 139.Рябчиков С.Я., Мамонтов А.П., Власюк В.И. Повышение работоспособности породоразрушающего инструмента методами криогенной обработки и радиационного облучения. - М.: «Геоинформмарк», 2001. - 92 с.
140. Рябчиков С.Я. Повышение износостойкости породоразрушающего инструмента. — М.: ВИНТИ, 1998. — 70 с.
141. Осецкий А.И, Рябчиков С.Я., Сулакшин С.С., и др. Методические рекомендации по криогенной обработке алмазных буровых коронок. -Л.: ВИТР, 1987. – 12 с.
142. Гаврилов Г.М. Изменение свойств закаленной стали в магнитном поле// Металловедение и термическая обработка металлов, 1977, №6 с.18-22.
143. Способ обработки твёрдосплавного породоразрушающего инструмента: А.С. № 1751931 /Рябчиков С.Я., Мамонтов А.П., Чернов И.П. и др. //1990-ДСП.
144. Способ упрочнения твёрдосплавного инструмента: Патент РФ, № 2092282 / Мамонтов А.П., Рябчиков С.Я., Чернов И.П. // БИ. - 1997. - № 28.
145. Способ упрочнения твёрдосплавного и алмазного инструмента для бурения горных пород: Патент РФ, № 2101456 /Рябчиков С.Я., Мамонтов А.П. /БИ. - 1998.-№ 1.
146. Способ контроля качества твёрдосплавного и алмазного породоразрушающего инструмента: Патент РФ № 2146815 / Мамонтов А.П., Рябчиков С.Я., Чахлов Б.В., Чернов И.П. /БИ. - 2000. - № 8.
147. Способ повышения износостойкости металлорежущего инструмента: Патент РФ №2168393 /Мамонтов А.П., Рябчиков С.Я //БИ.-2001. - № 16.
148. Патент №20933335 с1 на изобретение «Устройство для магнитной обработки буровых шарошечных долот». Российская Федерация / В.Н. Канарев, В.П. Иванченко, В.Г. Мажура, С.М. Саламатов/ Зарегистрирован А.С. 20.10.20.10.1997 г. кл. В23Р15/28

149. А.С. СССР 1815106 А «Устройство для магнитной обработки режущего инструмента» / В.Н. Канарев, В.П. Иванченко / Зарегистрировано 11.10.1992 г. кл. В23Р15/28.
150. Закалка стали в магнитном поле /М.А. Кривоглаз, В.Д. Садовский, Л.В. Смирнов, Е.А. Фокина. М.: Наука, 1997.119с.
151. Пустовойт В.Н. Физические и технологические основы термической обработки в магнитном поле. Автореф. Дис. Д-ра техн. наук. Минск: ФТИ АН БССР, 1980.40с.
152. Бернштейн М.Л., Пустовойт В.Н. Термическая обработка стальных изделий в магнитном поле. – Машиностроение, 1987.-256с.
153. Малыгин Б.В., Семерникова ИМ.А. Магнитоимпульсное упрочнение деталей машин и инструмента. Станки и инструмент.-1989. №4 – С.23-26.
154. Третьяков А.А. Магнитное упрочнение режущего инструмента /Металлорежущие станки. – 1989.-№17.- С.21.
155. Peters С.Т., Bolton Р., Miodownik А.Р. The effect of magnetic fields on isothermal martensitic transformations//ActaMetallurgika, 1972. V.20.№7.
156. Тареева Е.А., Ланков В.Д., Капитонов А.А. и др. Об одной математической модели интегрального магнитного поля намагниченных штанг горизонтальной базовой скважины. Нефть. Газ. Новации. № 8, 2016, с 36-39.
157. Мамонтов А.П., Рябчиков С.Я., Чахлов Б.В. Современное состояние и перспективы развития криогенно-радиационных способов упрочнения породоразрушающего инструмента /Матер. III Международной конференции «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах», Томск, 2002. - С. 124-125
158. Рябчиков С.Я. Современное состояние и перспективы развития криогенно-радиационных способов упрочнения породоразрушающего инструмента //Сб. матер. Междунар. научно-техн. конф. «Горногеологическое образование в Сибири» - Томск: ТПУ, 2001 - С. 237-239.
159. Мамонтов А.П., Рябчиков С.Я., Чахлов Б.В. Рентгено-акустический метода контроля структуры металлов и сплавов //Тез.докл. VIII Региональной

- научно-технич. конф. «Неразрушающий контроль и техническая диагностика оборудования в процессе эксплуатации». - Иркутск, - 2001. - С.25-26.
160. Мамонтов.А.П., Рябчиков С.Я., Чахлов Б.В. Физические основы рентгено-акустического метода контроля и диагностики металлов и сплавов //Известия ТПУ, том 303, Вып. 3, Томск: 2000. - С.72-74.
161. Рябчиков С.Я., Мамонтов А.П., Печугин А.В. О влиянии комплексной криогенно-радиационной обработки на износостойкость алмазных коронок // Известия ВУЗов, сер. «Геология и разведка», М.: 2000. - С. 89 - 94.
162. Рябчиков С.Я. Исследование влияния криогенно-радиационной обработки на износостойкость алмазных и твёрдосплавных коронок //Сб. матер. Регион, на научно-техн. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России.- Томск, - 2000. - С. 487-489.
163. Рябчиков С.Я., Мамонтов А.П. Исследование механизма модификации свойств композиционных алмазосодержащих материалов при облучении малыми дозами гамма-квантов //Тез.докл. научно-техн. конф. «Проблемы научно- технического прогресса в бурении скважин», Томск: ТПУ, 1999. - С. 53-54.
164. Мамонтов А.П., Рябчиков С.Я., Упрочнение изделий из композиционных материалов и радиационно-акустический контроль их качества //Тез.докл. Научно-техн. конф. «Перспективные материалы, технологии, конструкции».- Красноярск: Сибирская аэрокосмическая академия, - 1998 - С. 22.
165. Рябчиков С.Я., Мамонтов А.П. Исследование механизма упрочнения твёрдосплавного инструмента при криогенной обработке //Межвуз. научн. Темат. Сборник «Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твёрдые полезные ископаемые»- Екатеринбург, - 1997.-С. 74-81.
166. Мамонтов А.П., Рябчиков С.Я., Чахлов Б.В. Технологии упрочнения твёрдосплавного и алмазного породоразрушающего инструмента //Сб. матер. V Международной научно-технической конференции «Материалы и упрочняющие технологии - 97». - Курск, - 1997. - С. 48-50.

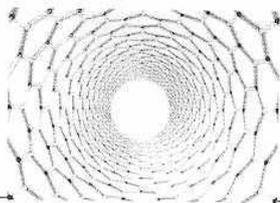
167. Рябчиков С.Я., Мамонтов А.П., Нейштетер И.А. Влияние криогенной обработки и радиационного облучения на прочностные характеристики твердых сплавов //Межвуз. научн. тематич. сборник «Совершенствование техники и технол. бурения скважин на твёрдые полезные ископаемые»- Екатеринбург,-1996.-С. 78-84.
168. Рябчиков С.Я. Классификация способов упрочнения породоразрушающего инструмента //Сб. докл. научно-техн. конф. «Проблемы научно-технического прогресса в бурении скважин». - Томск, 1994,- С.47-51.
169. Рябчиков С.Я. Механизм упрочнения породоразрушающего инструмента при криогенной обработке //Сб. докл. научно-техн. конф. «Проблемы научно-технического прогресса в бурении скважин». - Томск,-1994. - С.51-53.
170. Башкатов Д.Н. Коломиец А.М. Оптимизация процессов разведочного бурения. М. 1997, с 259.
171. Кубасов В.В. Релаксация остаточных напряжений в матрице алмазной коронки. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)- 2015.- № 4 (специальный выпуск 12).- 12 с. – М.: Издательство «Горная книга», с. 3-6.
172. Кубасов В.В., Спирин В.И., Будюков Ю.Е. Новые технологии повышения работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента./ Научно-практический журнал «Экономика XXI века, инновации, инвестиции, образование».- Тула №2, 2013.
173. Кубасов В.В. «Повышение износостойкости алмазного породоразрушающего инструмента за счет его термической обработки» XI Международная конференция «Новые идеи в науках о земле» РГГРУ, 09-12 апреля 2013 г. Доклады: в 3 т.т.2 МГРИ МГГРУ, - М: Ваш полиграфический партнер, 2013.
174. Рябчиков С.Я., Борисов К.И., Письмеров А.С. Исследования и реализация путей снижения абразивного износа породоразрушающего инструмен-

- та// Сб. матер. 3-ей Всесоюзной научно-технич. конф. «разрушение горных пород при бурении скважин».- Уфа, 1989.- с. 17-19.
- 175.Рябчиков С.Я. Влияние режимных параметров криогенной обработки на износостойкость твердосплавного породоразрушающего инструмента// Материалы Всесоюзной научно-практич. конференции «Проблемы технокриологии в различных отраслях промышленности». – Пенза, 1987.- с. 18-21.
176. Филиппов В.Н., Рябчиков С.Я. Повышение износостойкости шарошечных долот путем термической обработки глубоким холодом// Материалы Всесоюзной научно-практической конференции «Проблемы технокриологии в различных отраслях промышленности».- Пенза, 1987.- с. 15-18.
177. Рябчиков С.Я., Борисов К.И.. Повышение износостойкости твердосплавных и алмазных коронок при криогенной обработке// Тез. докл. научн.-техн. конф. «Технол. и техника геологоразвед. Работ в Сибири». – Томск, ТПУ, 1987.- с. 35-38.
178. Щукин А.А., Рябчиков С.Я., Чернов И.П. Пути повышения износостойкости породоразрушающего инструмента для бурения скважин и шпуров// Сб. статей, - Магадан: ПГО «Севвостокгеология», 1986.- с. 17-21.
179. Рябчиков С.Я., Сулакшин С.С., Борисов К.И. Повышение износостойкости породоразрушающего инструмента при обработке его жидким азотом// Техн. и технол. геол.-развед. работ.- М.6 (ВИЭМС), 1981.- Вып. 11 – с.1-6.
180. Аракчеев С.Н., Первов К.М., Коровин С.К., Сафронов Д.В. Способы и средства упрочнения породоразрушающих инструментов горных машин. – М.: МГГУ// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003, №10.- с. 168-172.
181. Аракчеев С.Н. Определение зависимостей стойкости буровых коронок от режимных параметров магнитно-импульсной обработки. – М.: МГГУ\\ Горный информационно-аналитический бюллетень, 2006, №10.- с. 318.

182. Аракчеев С.Н. Анализ изменения стойкости от ширины притупления режущей кромки твердого сплава буровой коронки.- М.: МГГУ// Горный информационно-аналитический бюллетень, 2006, « 10.- с. 318.
183. Рябчиков С.Я. Объемное упрочнение твердосплавного породоразрушающего инструмента с целью повышения его эксплуатационных показателей. Докторская диссертация. Томск 2001.- с. 309.
184. Рябчиков С.Я. Объемное упрочнение твердосплавного и алмазного породоразрушающего инструмента с целью повышения его эксплуатационных показателей: Томский политехнический университет им. С.М. Кирова. Томск – 2002-41с.
185. Рябчиков С.Я. Повышение износостойкости породоразрушающего инструмента различными физическими способами. Обзор МГП «Геоинформ-марк», М.: 1993.- 36 с.: ил.
186. Сухорукова С.Е. Изменение структуры и свойств вольфрамкобальтовых твердосплавных зубков буровых коронок высокоэнергетическими воздействиями// Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2013.- №9. Отдельные статьи – с.7-10.
187. Методика определения экономической эффективности внедрения новой буровой техники.- М.: ВНИИБТ, 1993.- 319 с.
188. Лозовский В.Н., Константинова Г.С., Лозовский С.В., Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность. Учебное пособие. Новочеркасск: УПЦ “Набла” ЮРГПУ (НПИ), 2006.
189. Пул. 4., Ю Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М; Техносфера, 2006г.
190. Третьяк А.А. Основы бурения нефтяных и газовых скважин. Учебное пособие. И.Д. “Колорит” Новочеркасск, 2016 г., 405 с.
191. Третьяк А.А. Технология бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными алмазно-твердосплавными пластинами. Монография, И.Д. “Политехник”, Новочеркасск, 2016 г., 300с.

192. Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Борисов К.А. Определение скорости бурения и наработки коронок нового поколения, армированных алмазно-твердосплавными пластинами. *Neftegaz*, 2016, №10, с. 29-33.
193. Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Борисов К.А. Определение рациональных значений рабочих углов армирующих элементов буровых коронок режущего типа, *Neftegaz*, 2017, №2,с.
194. Ansoft Maxwell 3D [Электронный ресурс]/Электрон. дан. - Москва: 2010. - режим доступа: http://narod.ru/disk/9840402000/Maxwell_3D_v11_full_book.pdf.html.
195. Арнольд Р.Р. Расчет и проектирование магнитных систем с постоянными магнитами. - М.: Энергия, 1969. - 184 с.

Приложение А
Результаты рентгеноструктурного
исследования буровых коронок,
армированных АТШ



ЦКП «Нанотехнологии»

НИИ Нанотехнологий и новых материалов
ФГБОУ ВПО Южно-Российского государственного
политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова
г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132. Тел 8(86352)55105,
e-mail: niintnm@gmail.com

ПРОТОКОЛ

№ 001 от 25.02.2015

«Проведение качественного элементного анализа пластин АТП, коронки, пластинки методом EDXRF»

Заказчик	
Организация	ФГБОУ ВПО Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова
Подразделение	Кафедра «Нефтегазовая техника и технологии»
Контактное лицо, должность	Третьяк АА, к.т.н, доцент
Телефон, e-mail	8(8635) 2 55 05 7
Условия предоставления услуг (номер договора, совместные исследования, др.)	Диссертационные исследования

Задание на исследование			
Задачи исследования:	Качественный элементный анализ пластин АТП, коронки, пластинки методом EDXRF		
Ожидаемый результат	Качественный состав		
Объект исследований	пластины АТП, коронка, пластинка		
Количество образцов	6 (шесть)		
Агрегатное состояние: твердое, порошок	Размеры	Фото прилагается	<input type="checkbox"/>
Дата поступления	12.02.2015г.	Дата испытания (исследования)	17-19 февраля 2015 г.

Методы выполнения исследований, операции, приборы

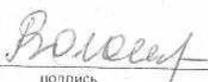
Определение элементного состава в исследуемом образце проводили методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной (XRF) спектromетрии на рентгеновском энергодисперсионном спектрометре ARL Quant'X компании Thermo Scientific. Этот метод основан на измерении интенсивности рентгеновского флуоресцентного излучения анализируемых элементов (от магния (Mg) до урана (U)). Качественный элементный анализ заключается в анализе XRF-спектров флуоресцентного излучения и идентификации элементов по их энергии излучения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ (ИССЛЕДОВАНИЙ)

Из анализа XRF-спектров (приложение 1) установлено наличие в испытуемых образцах: пластины АТП (d=0,8; 1,2; 1,5 1,9), пластина, коронка, следующих элементов:

- 1) пластина АТП d=0,8: следы железа (Fe), кобальт (Co) (основное вещество), хром (Cr), марганец (Mn), кремний (Si), кальций (Ca), титан (Ti), цирконий (Zr), вольфрам (W)
- 2) пластина АТП d=1,2: железо (Fe), кобальт (Co) (основное вещество), кремний (Si), сера (S), калий (K), фосфор (P), цирконий (Zr), вольфрам (W).
- 3) пластина АТП d=1,5: железо (Fe), кобальт (Co) (основное вещество), кремний (Si), сера (S), кальций (Ca), калий (K), цирконий (Zr), вольфрам (W)
- 4) пластина АТП d=1,9: кобальт (Co) (основное вещество), кремний (Si), цирконий (Zr), вольфрам (W)
- 5) пластинка: марганец (Mn), кальций (Ca), медь (Cu), цинк (Zn), олово (Sn), сурьма (Sb), никель (Ni)
- 6) коронка: железо (Fe), медь (Cu), серебро (Ag), цирконий (Zr), следы кремния (Si),

Исполнитель


подпись

/ Е.Н. Волошина /

и.о. Директора НИИ НТНМ ФГБОУ
ВПО ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова


подпись

/ В.М. Чернышев /

МП

Таблица 1. Наименование оборудования, применяемого для исследования буровых коронок

№ п/п	Наименование комплекса, стенда, установки, системы	Страна производитель	Характеристики средства измерения	Назначение
1	Сканирующий электронный микроскоп Quanta 200	Голландия	-Разрешающая способность, 3,5 нм; -Ускоряющее напряжение, 0,2-30кВ; -Увеличение (кратность), 50-100000 крат; -Диапазон измерений, 0,01-1000 мкм; -Предел допускаемой погрешности позиционирования объекта, $\pm 0,1$ мкм	Растровый электронный микроскоп используется для исследования морфологии поверхности полупроводниковых, металлических и неметаллических материалов.
2	Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр ARL QUANTX	США	-Анод трубки Rh/ Дополнительно Ag; -Мощность излучения - максимум – 50 Вт; -Напряженность 4-50 кВ с шагом 1 кВ; -Тип детектора – Si(Li); -Избирательность 7 фильтров + прямое возбуждение; -Максимальная скорость счета, 100000имп/с; -Оптимальная скорость счета, 100000имп/с; -чувствительность в диапазоне от 0,0001 до 100%; -стабильность излучения – 0,25% в течении 8 часов.	Качественный и количественный элементный анализ от натрия (Na) до урана (U) в твердых и жидких пробах любой формы, размера или состава.
3	Порошковый рентгеновский дифрактометр APL XTRA	США	-Источник излучения - рентгеновская трубка с медным анодом (CuK α_1 /K α_2 $\mu = 1,541/1,544$ А); - Мощность трубки 2200Вт; -Детектор энергодисперсионный Si\$ -Шаг сканирования – 0,04° -Время интеграции – 1,0 с.	Многофункциональный рентгеновский дифрактометр для решения задач рентгенофазового и рентгенострукторного анализа.

Для анализа представлено 5 металлических образцов различной конфигурации. Над образцами произведены измерения дифрактограмм со следующими параметрами. Прибор - рентгеновский порошковый дифрактометр ARLX'TRA производства фирмы ThermoScientific. Использовалась рентгеновская трубка с медным анодом (линии $K\alpha_1$ и $K\alpha_2$ $\lambda_1=1.540562 \text{ \AA}$ $\lambda_2=1.544390 \text{ \AA}$). Детектор - полупроводниковый энергодисперсионный с охладителем Пельтье. Угловой диапазон регистрации - 10^0 - 100^0 2θ , режим сканирования - шаговый, величина шага - 0.02^0 , время интеграции - 1 с. Образец №1 (металлическая пластина) имеет следующий состав: $Ag_{0.3}Fe_{0.7}$ (карточка № 010-71-9212), Cu_2MnSn (карточка № 010-74-6883). Образцы №2 и №3 (малая таблетка 10 мм и средняя таблетка 13,5 мм) имеют идентичный состав без отличий по положениям пиков. В состав этих образцов входят следующие фазы: C (карточка № 000-06-0675), Co (карточка № 010-77-7452). Образцы №4 и №5 (таблетка 16 мм и таблетка 18 мм) имеют идентичный состав с небольшими различиями по положениям пиков, эти различия могут говорить о различном механическом состоянии образцов (изотропная деформация кристаллической решётки). Образцы №4 и №5 содержат следующие фазы: $CrNi_3$ (карточка № 010-71-7595) и $Mo(C_{0.5}N_{0.5})$ (карточка № 010-71-6030). Определение качественного фазового состава образцов проводилось методом сравнения штрих-диаграммы измеренного дифракционного спектра с эталонами из базы данных PDF - 2[1] в программном комплексе Crystallographica.

Каждое из найденных дифракционных отражений соответствуют одному из выше перечисленных стандартов. Порошковый дифрактометр измеряет зависимость интенсивности рассеянного образцом рентгеновского излучения от угла установки рентгеновской трубки и детектора над плоскостью образца. Каждый пик на этой зависимости возникает в результате дифракции рентгеновских лучей на системе кристаллографических плоскостей с определённым межплоскостным расстоянием и индексами Миллера и характеризует в общем случае степень и параметры упорядоченности атомов в кристаллической решётке. Каждый из дифракционных пиков, представленных в верхней части рисунка 1, соответствует системе кристаллографических плоскостей с определённым межплоскостным расстоянием и индексами Миллера, одинаковыми для каждой плоскости системы. Отмеченное выше сравнение с карточками стандартов, отображающими такую же информацию для конкретного вещества, заключается в определении степени совпадения положения пиков дифрактограммы с положением пиков из карточки конкретного вещества и относительных интенсивностей набора пиков конкретной фазы с одним из подмножеств пиков измеренной дифрактограммы (если образец многофазный).

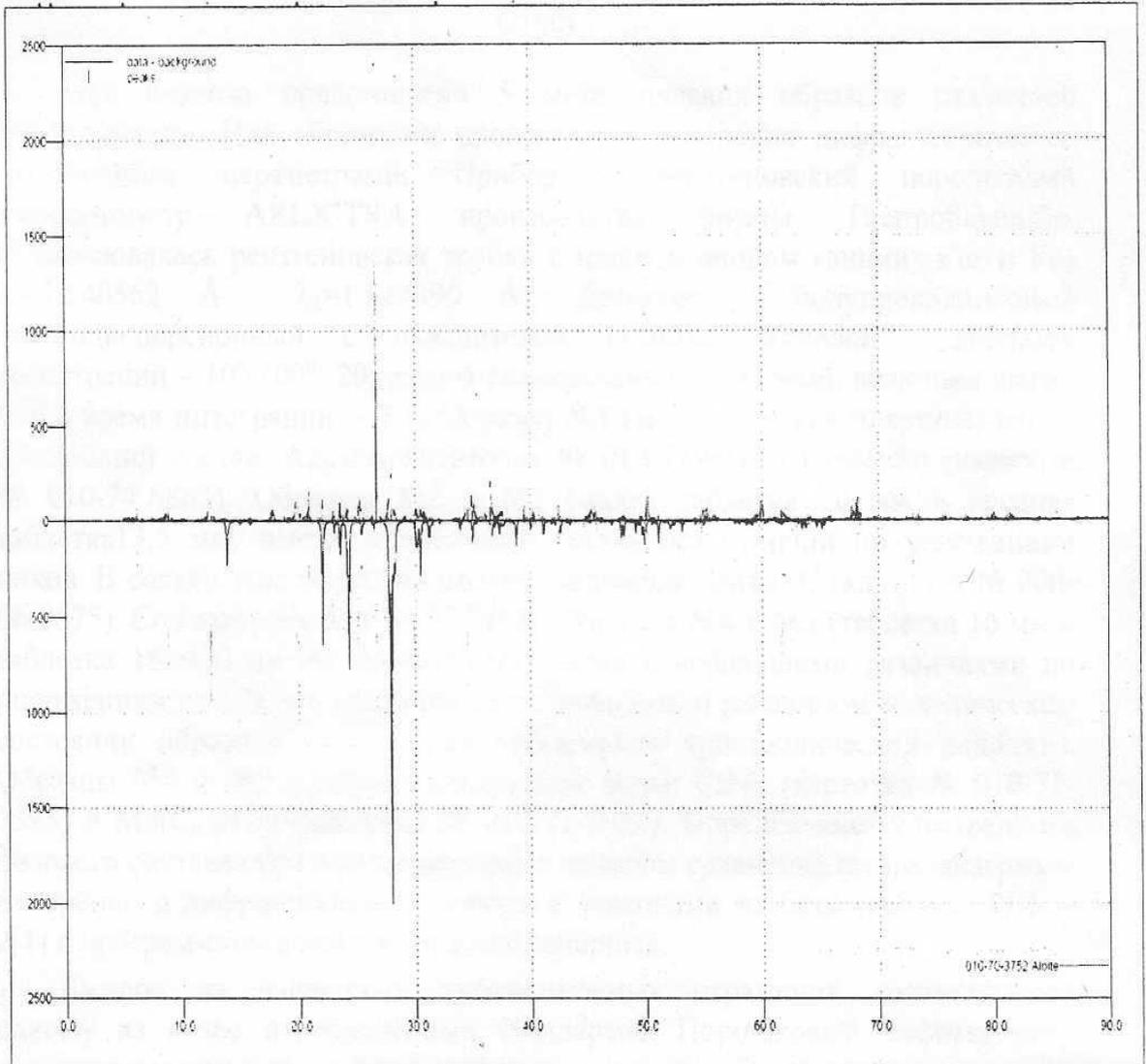


Рис. 1. Измеренная дифрактограмма (верхняя часть) и дифрактограммы стандартов (нижняя часть).

Исполнитель

А.А. Постников

/ А.А. Постников /

И.о. директор НИИ НТНМ ФГБОУ ВПО
ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова

В.М. Чернышев

/ В.М. Чернышев /

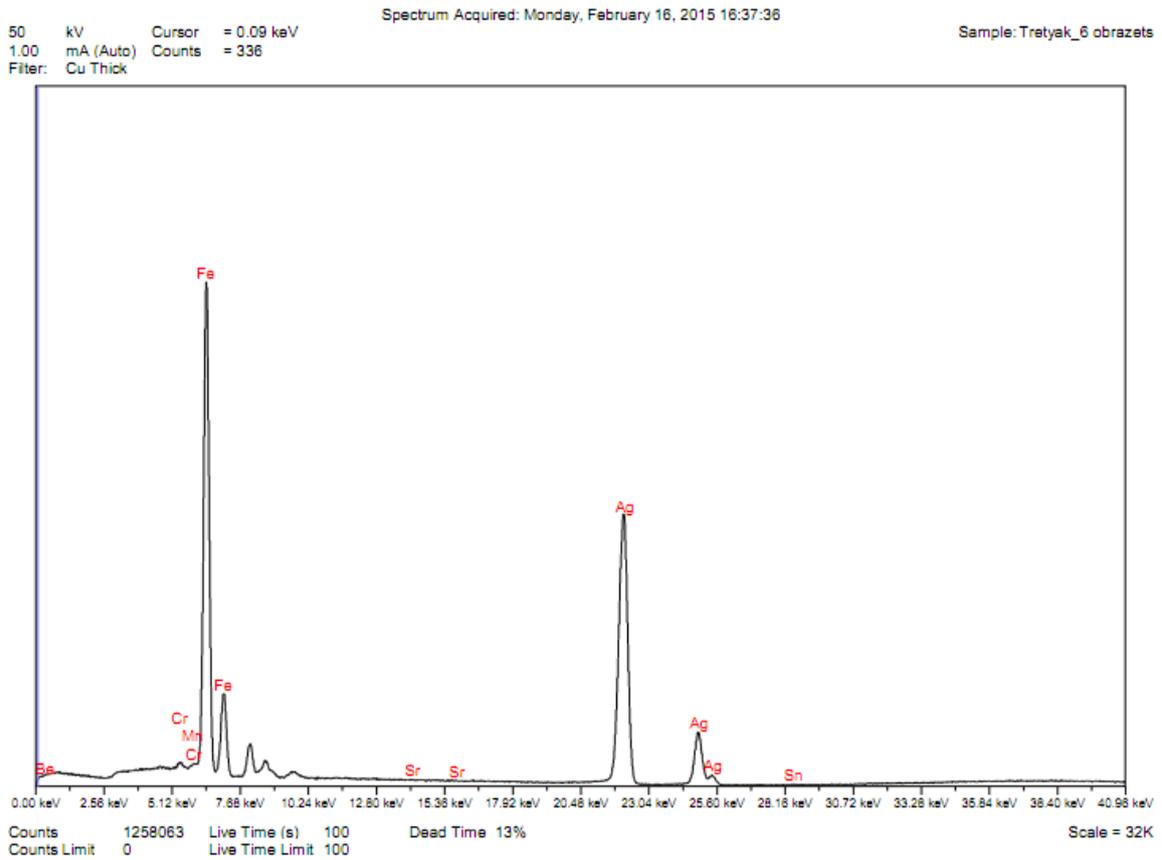


Рисунок 1. Дифрактограмма образца №1

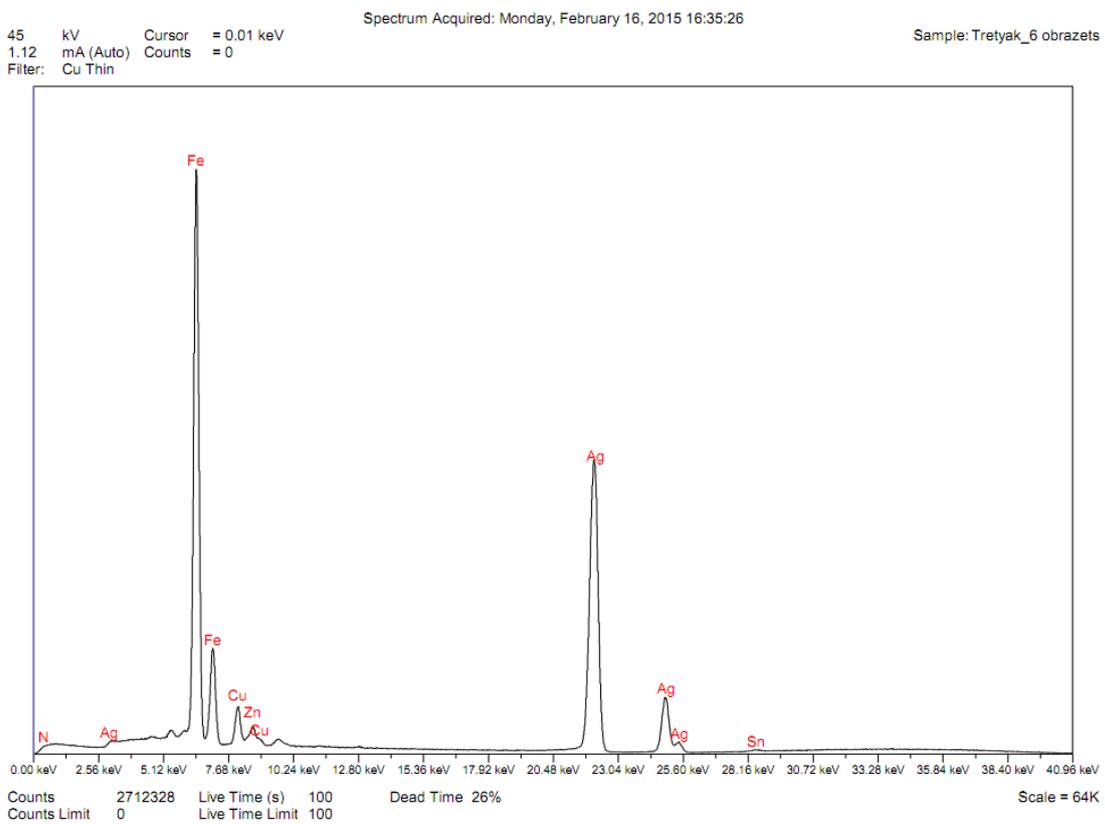


Рисунок 2. Дифрактограмма образца №2

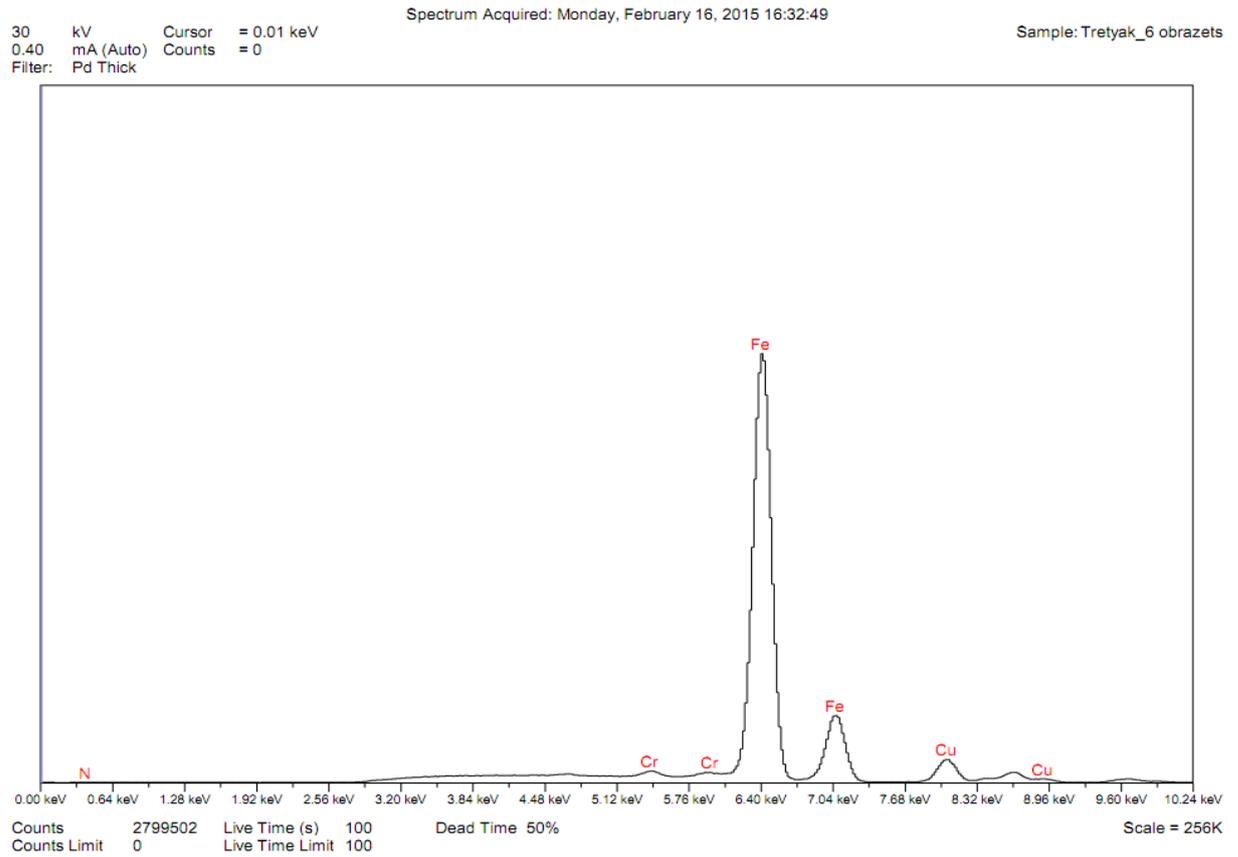


Рисунок 3. Дифрактограмма образца №3

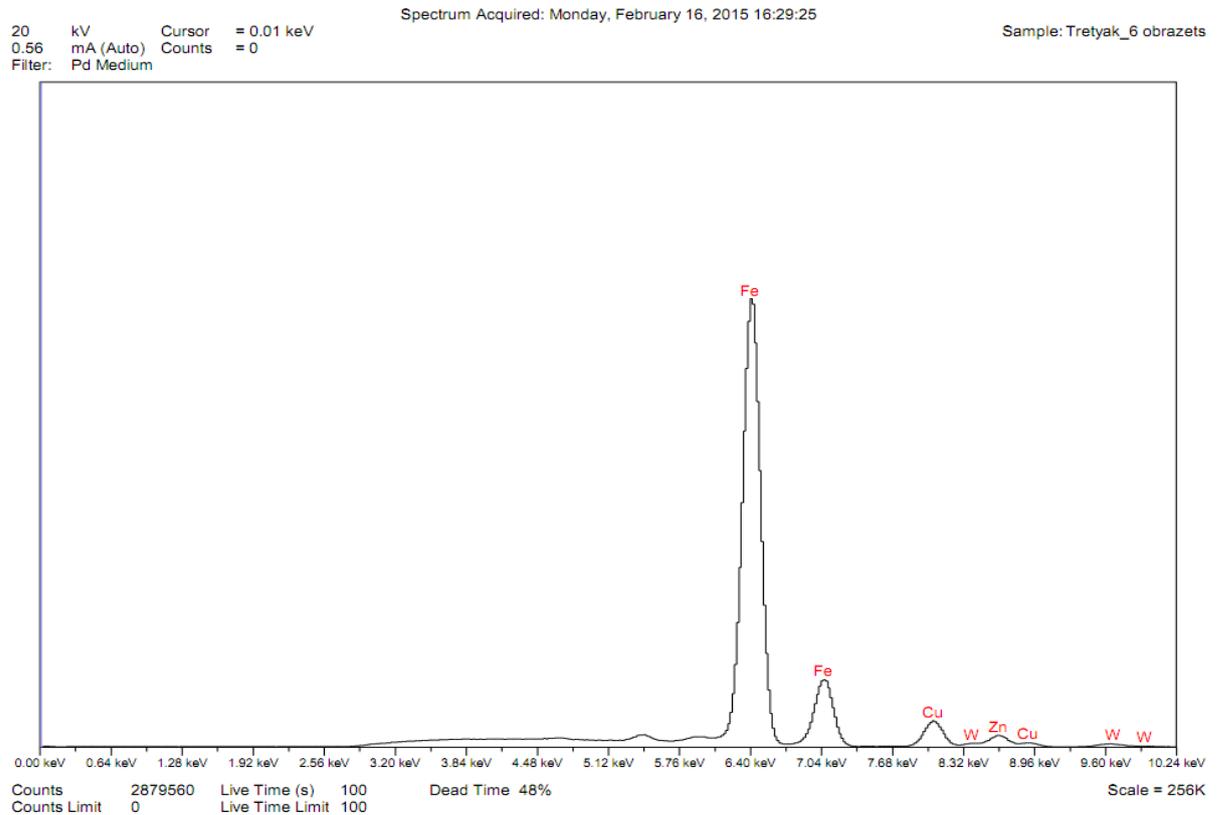


Рисунок 4. Дифрактограмма образца №4

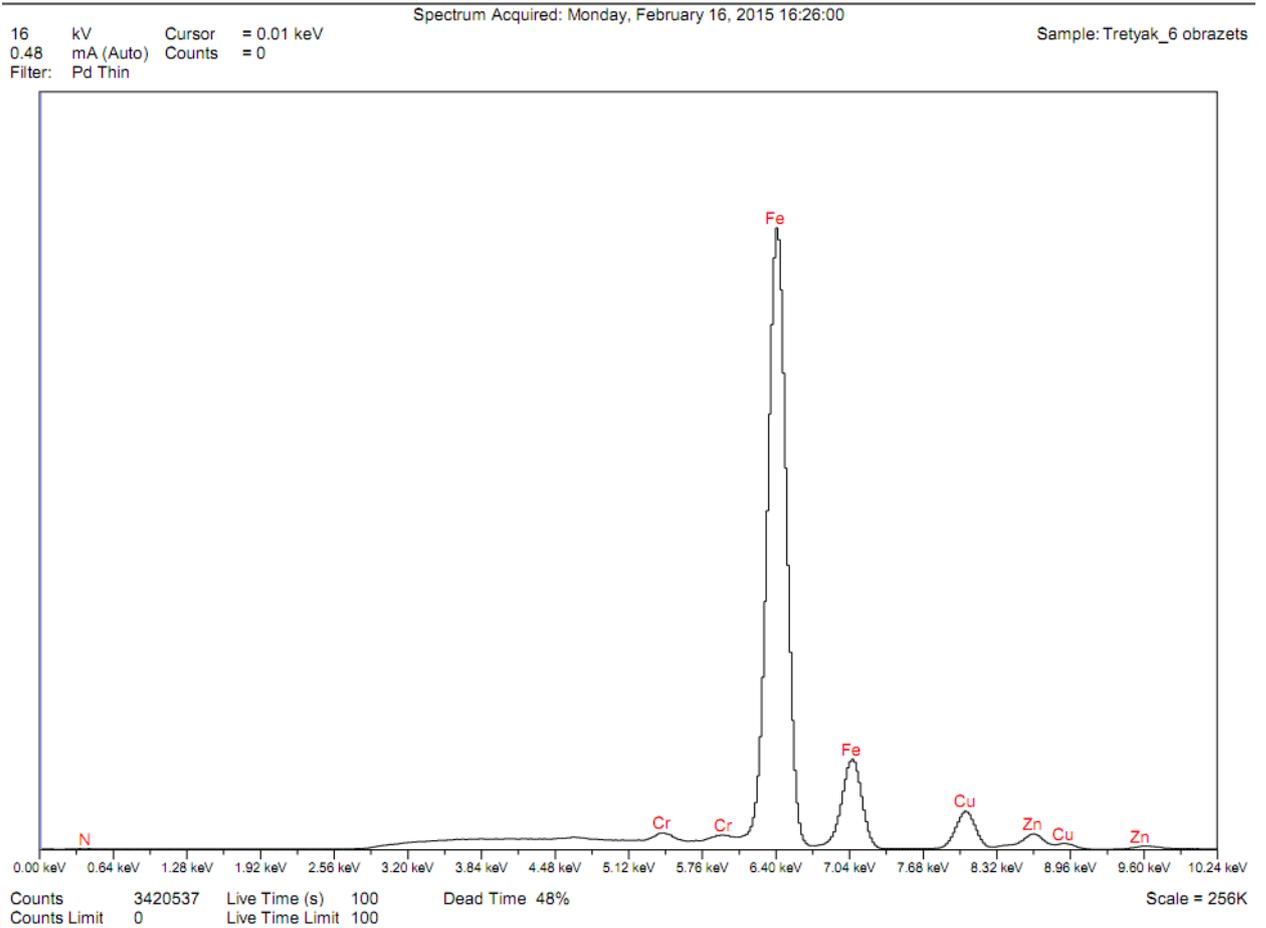


Рисунок 5. Дифрактограмма образца №5

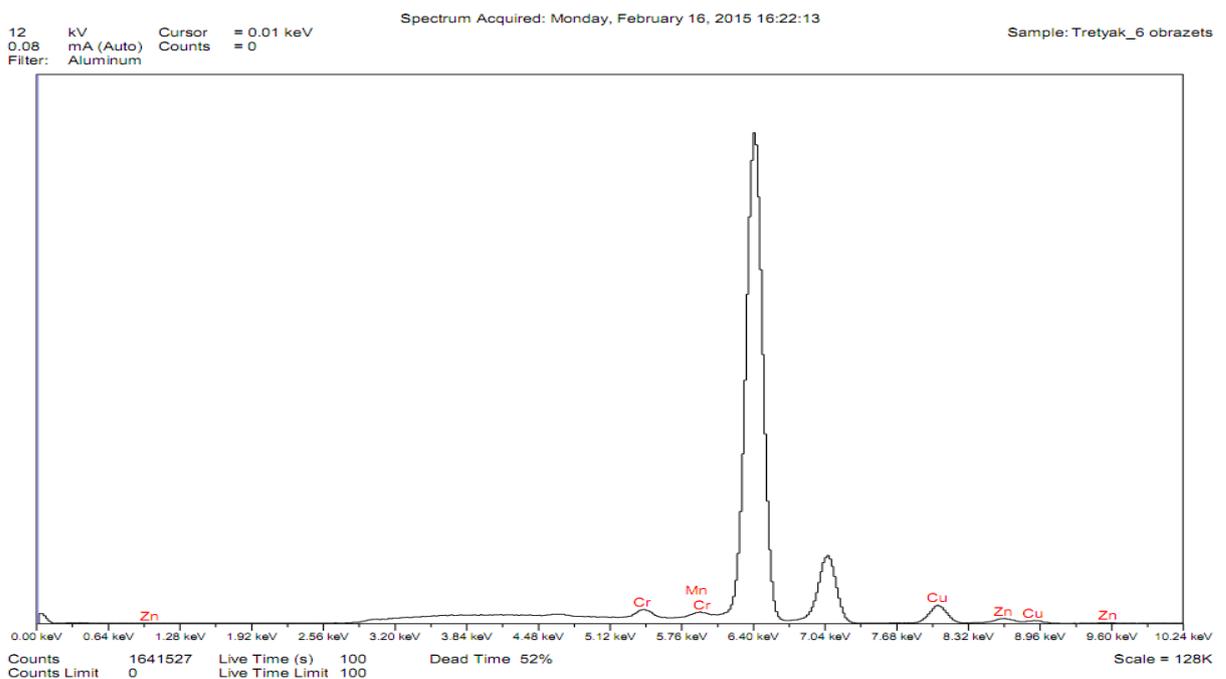


Рисунок 6. Дифрактограмма образца №6

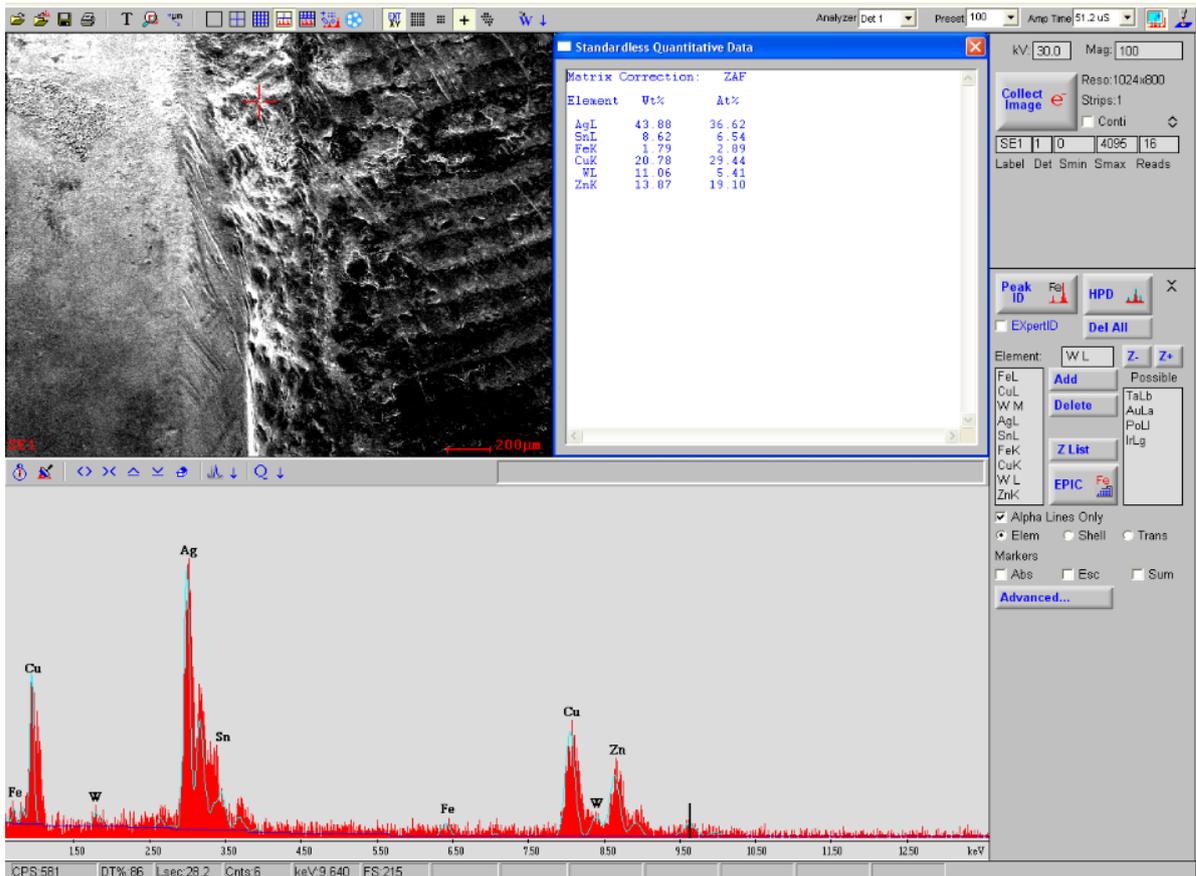


Рисунок 7. образец АТП (участок вольфрам-кобальтовой подложки, паяного слоя и алмазного слоя)

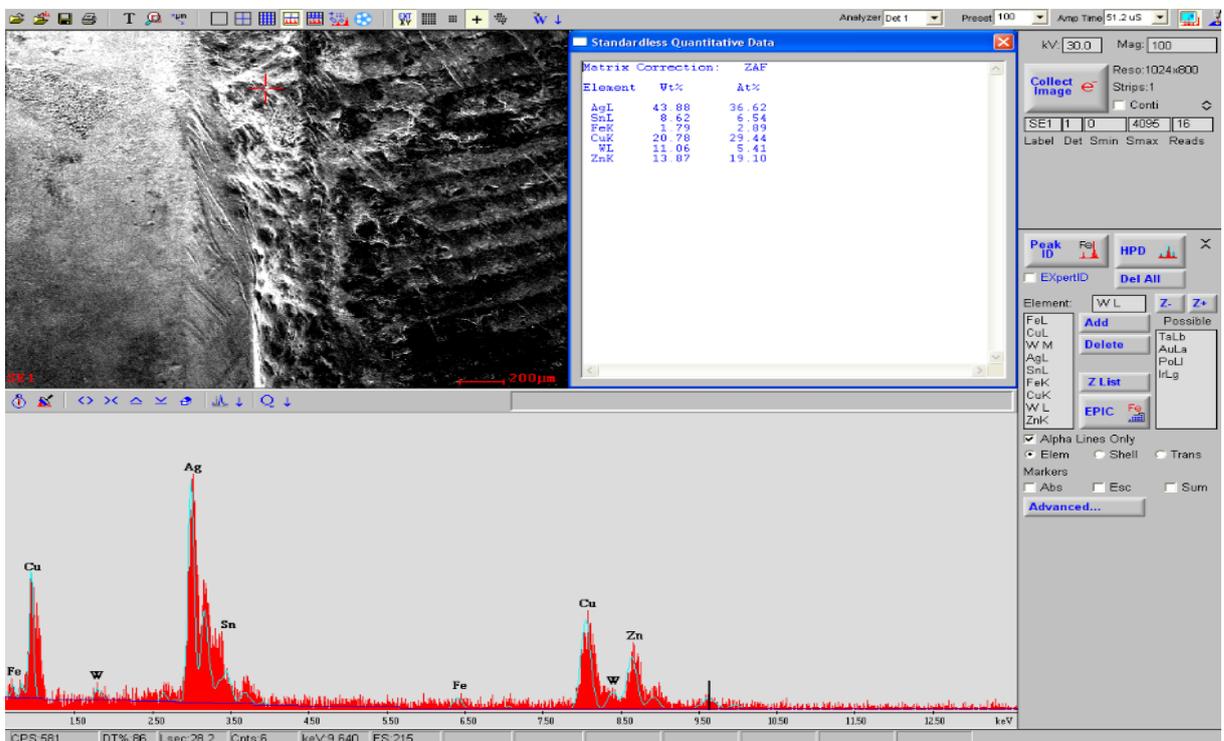


Рисунок 8. образец АТП (участок вольфрам-кобальтовой подложки, паяного слоя и алмазного слоя)

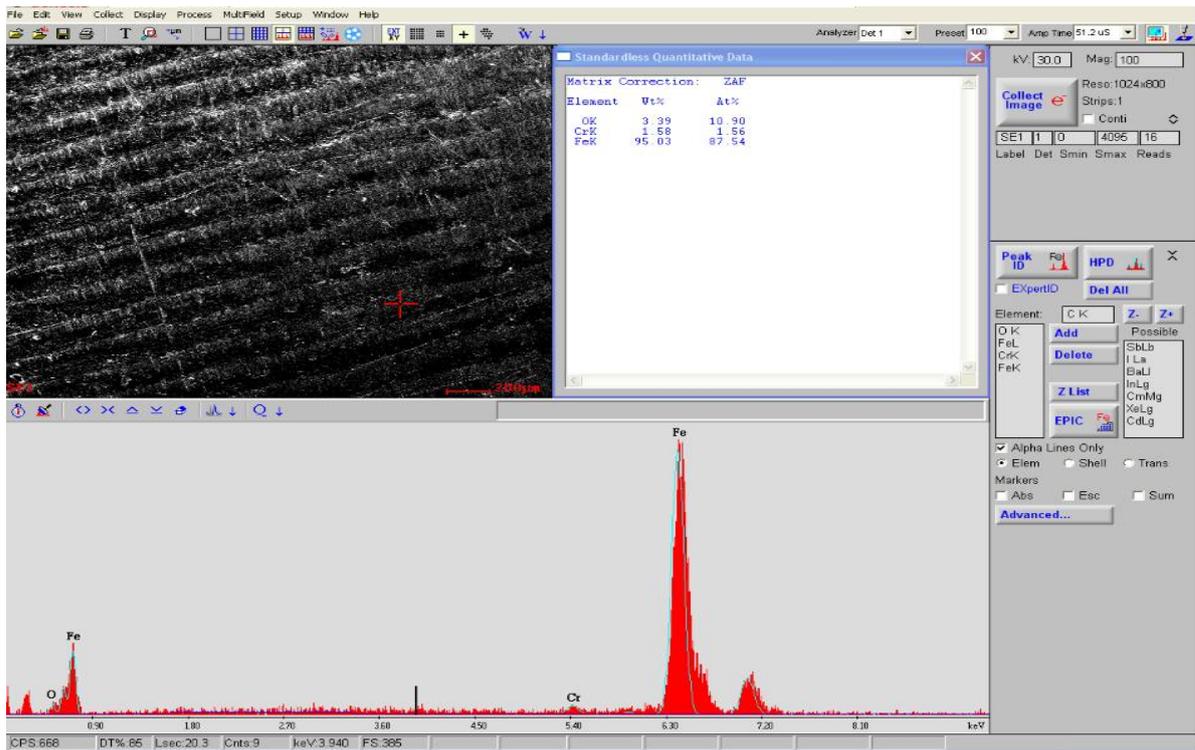


Рисунок 9. образец АТП (участок вольфрамо-кобальтовой подложки)

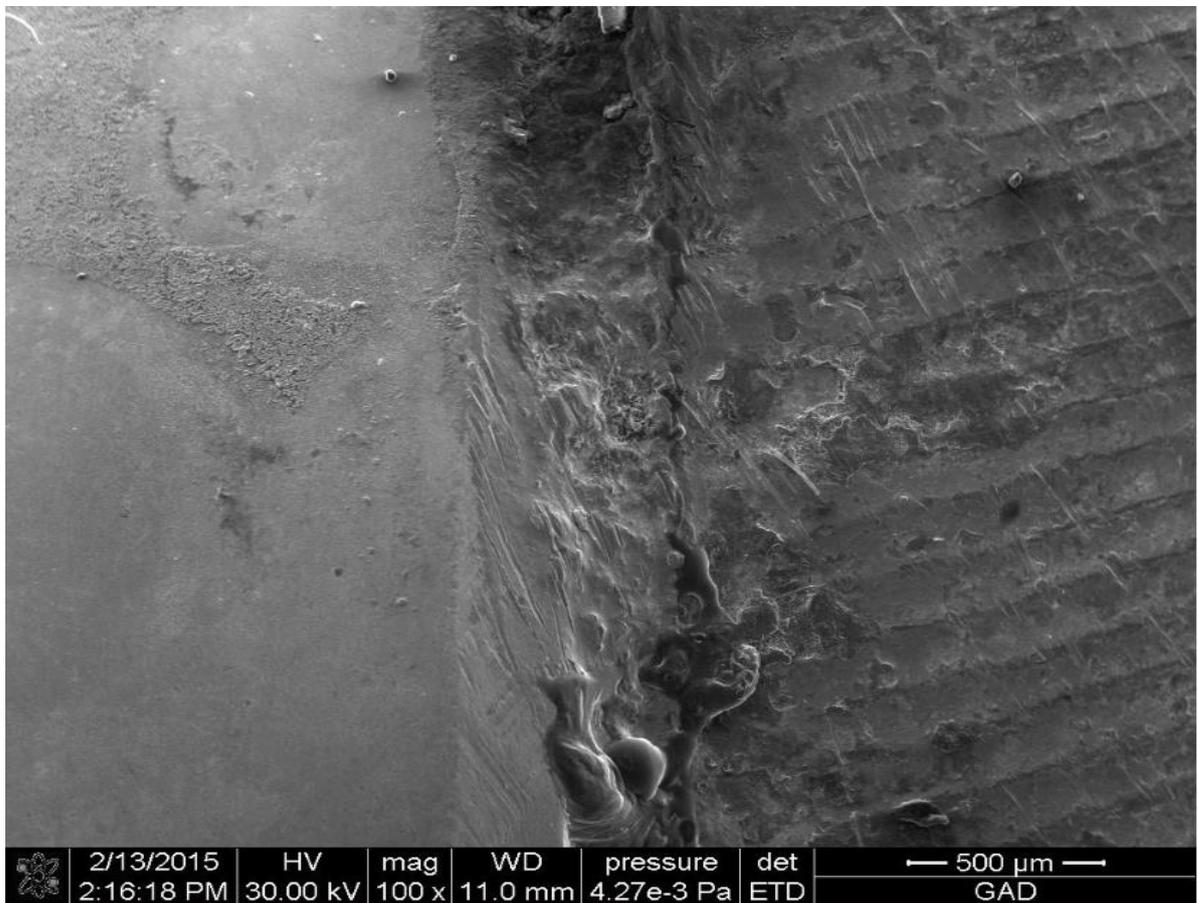


Рисунок 10. образец АТП (до обработки в жидком азоте)

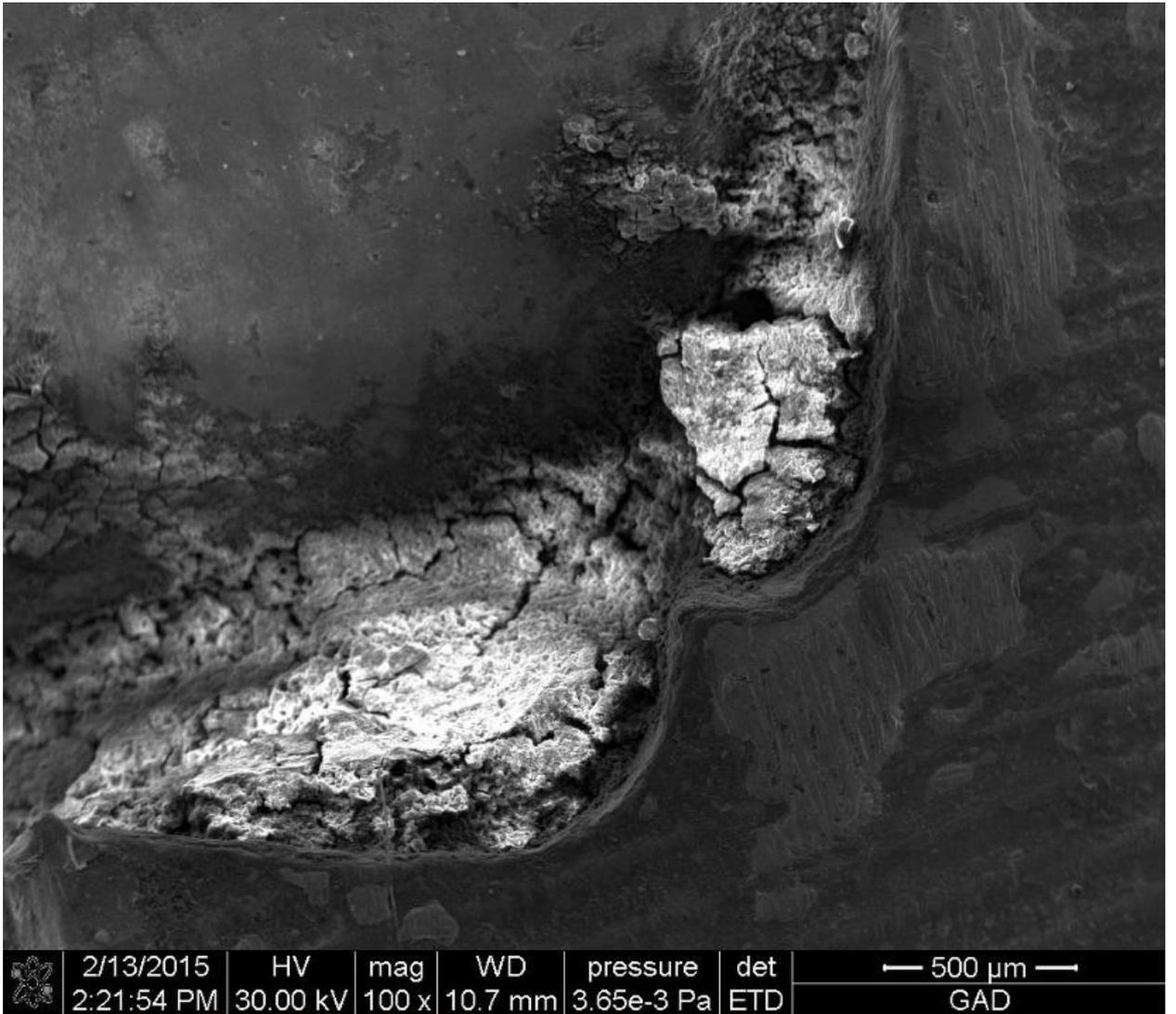


Рисунок 11. образец АТП (после обработки в жидком азоте)

Приложение Б

АКТЫ

**внедрения буровых коронок,
армированных АТП**

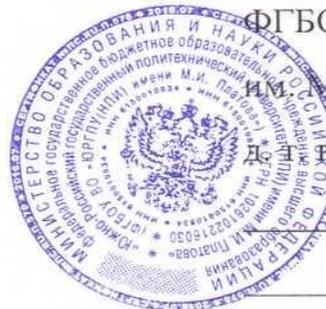
Утверждаю

Проректор по научной работе и
инновационной деятельности

ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ)

М. И. Платова

проф. Кравченко О. А.



8 февраля 2016 г.

Акт

внедрения результатов научных разработок

« 8 » февраля 2016 г.

г. Новочеркасск

Комиссия в составе начальника управления по научной работе и инновационной деятельности, к.т.н., доцента Сухенко Н.А., декана факультета «Геологии, горного и нефтегазового дела», к.т.н., доцента Белодедова А.А., и. о. зав. каф. «Нефтегазовая техника и технологии» (НТиТ), к.т.н., доцента Рыбальченко Ю.М., д.т.н., профессора кафедры НТиТ, Попова В. В., к. т. н., доцента кафедры НТиТ Литкевича Ю. Ф., к.т.н., доцента кафедры НТиТ Третьяка А.А. составили настоящий акт о том, что результаты научных исследований, полученные в ходе выполнения диссертационной работы к. т. н., доцента Третьяка А.А. на тему: «Развитие теоретических основ, совершенствование конструкций и технологии бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными пластинами» внедрены при выполнении научно-исследовательских работ по двум грантам с Министерством образования и науки РФ: Госконтракт № 2645 от 2.12.2009 г., Госконтракт №П 458 от 13.05.2010 г.

Начальник управления по научной работе и
инновационной деятельности, к.т.н., доцент

Н.А. Сухенко

Декан ФГГиНГД, к.т.н., доцент

А.А. Белодедов

И. о. зав. кафедрой НТиТ, к.т.н., доцент

Ю.М. Рыбальченко

Д.т.н., профессор кафедры НТиТ

В.В. Попов

К.т.н., профессор кафедры НТиТ

Ю. Ф. Литкевич

К.т.н., доцент кафедры НТиТ

А.А. Третьяк

Общество с ограниченной ответственностью
научно-производственное предприятие «ВНИКО»

ООО НПП «ВНИКО»



знательность
346410, Россия, Ростовская область,
г. Новочеркасск, ул. Атаманская, 49
тел./факс +7(863-5) 22-44-02
ИНН 6150009518 / КПП 615001001
ОКПО 27154435, ОГРН 1026102223069
Web: www.vniko.ru e-mail: info@vniko.ru

№ 843/10 от «23» 08 2000 г.
На № _____ от «__» _____ 200__ г.
«.....»
«.....»

АК «Алроса»

Наименование предприятия

Вице-президенту

Должность

Ткаченко В.П.

И.О.Фамилия

Саха(Якутия)

республика

Мирный

город

Уважаемый Владимир Павлович!

В течении 2007-2008 гг. научно-производственное предприятие «ВНИКО» выполняло НИР по проблеме: 1.Разработка технологии сооружения геологоразведочных скважин для условий работ Мирнинской ГРЭ(2007 г.). 2.Разработка породоразрушающего инструмента и технологии сооружения геологоразведочных скважин для условий Мирнинской ГРЭ (2008 г.). 3. Разработка и внедрение породоразрушающего инструмента, армированного алмазотвердосплавными пластинами, для условий работ филиала «Алроса-Поморье» (2008 г.). В 2009 г. ООО НПП «ВНИКО» выполняло доработку технологии изготовления коронок армированных АТП, в 2010 г. начато изготовление опытной партии. Настоящим гарантируем, что все разработки по данной проблеме не будут передаваться сторонним организациям, размещение заказа на изготовление коронок будет осуществляться только по согласованию с АК «Алроса».

Генеральный директор

В.И.Надтока

Утверждаю
 Директор ООО НПП
 «Ростовская буровая
 компания»



Швец В.В.

«9» июня 2016 г.

Акт

Мы, нижеподписавшиеся, главный инженер ООО НПП «Ростовская буровая компания» Васильев А.В. и буровой мастер ООО НПП «Ростовская буровая компания» Олейник Г.П. составили настоящий акт о том, что экспериментальные буровые коронки типа 112 АТП и 151 АТП прошли испытания, внедрены в производственных условиях при бурении скважин на территории Ростовской области и показали следующие результаты: механическая скорость бурения по горным породам VII – VIII категории по буримости составила от 14,5 м/час до 19,1 м/час, проходка на коронку – 150 - 160 метров.

Главный инженер ООО НПП «Ростовская буровая компания»

Васильев А.В.

Буровой мастер ООО НПП «Ростовская буровая компания»

Олейник Г.П.