

Министерство образования и науки Российской Федерации
Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе

На правах рукописи

КУБАСОВ Владимир Викторович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН В ТВЕРДЫХ ПОРОДАХ
ПУТЁМ МОДЕРНИЗАЦИИ МАТРИЦ АЛМАЗНОГО
ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Специальность 25.00.14 –

Технология и техника геологоразведочных работ

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
профессор
Куликов Владимир
Владиславович

Москва – 2015г

СОДЕРЖАНИЕ	Стр.
Введение.....	3
ГЛАВА 1. Современное состояние и практика алмазного бурения снарядами со съёмными керноприёмниками и одинарными снарядами.....	10
1.1. Анализ отечественного опыта алмазного бурения снарядами со съёмными керноприёмниками и одинарными снарядами.....	10
1.2. Опыт бурения ССК разведочных скважин за рубежом.....	23
1.3. Анализ результатов отработки алмазных коронок, подвергнутых криогенной обработке.....	26
1.4. Обзор технологий повышения качества природных алмазов....	34
1.5. Выводы по главе 1.....	46
1.6. Постановка задач исследований.....	48
ГЛАВА 2. Методика проведения комплексных исследований.....	49
2.1. Теоретические исследования.....	49
2.2. Экспериментальные исследования.....	49
2.3. Стендовые испытания алмазных коронок.....	53
2.4. Криогенная обработка инструмента.....	56
2.5. Исследования по упрочнению алмазных зёрен.....	58
2.6. Обработка экспериментальных данных.....	61
ГЛАВА 3. Исследования по модернизации алмазного породоразрушающего инструмента для снарядов со съёмными керноприёмниками и одинарных снарядов.....	63
3.1. Некоторые аспекты модернизации алмазных коронок при бурении горных пород различной степени твёрдости.....	63
3.2. Исследования по упрочнению низкосортного алмазного сырья на основе обработке в аппаратах с вихревым слоем.....	64
3.3. Исследования по термической обработке алмазосодержащих матриц коронок.	76
3.4. Исследования по уточнению отдельных конструктивных параметров модернизированных алмазных коронок.....	82
3.5. Выводы по главе 3.....	94
ГЛАВА 4. Стендовые и производственные испытания алмазного породоразрушающего инструмента.....	97
4.1. Стендовые испытания алмазных модернизированных коронок	97
4.2. Производственные испытания алмазных коронок.....	99
4.4. Выводы по главе 4.....	102

ГЛАВА 5. Расчёт экономического эффекта применения алмазных модернизированных коронок.....	103
5.1.Вывод по главе 5.....	104
Основные выводы и рекомендации.....	105
Список использованной литературы.....	107
Приложение А	117
Приложение Б	136

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Бурение скважин является основным способом разведки полезных ископаемых. При этом наиболее эффективным в настоящее время и обозримом будущем способом сооружения скважин в твердых горных породах является алмазное колонковое бурение с применением одинарных и двойных снарядов, в том числе наиболее прогрессивными техническими средствами – снарядами со съёмными керноприёмниками (ССК, КССК) отечественного и зарубежного производства.

Расширение области применения алмазного бурения охватывает широкий диапазон горных пород и обуславливает применение соответствующего типа и качества алмазного породоразрушающего инструмента. При бурении ССК в породах средней твёрдости в ФГУП «Запсибгеолсъёмка» станками Diames-282 максимальная проходка, достигнутая алмазной коронкой конструкции АО «Тульское НИГП» типа К-75-3СВМ составила 1046,8 м. При бурении в этих же геолого-технических условиях проходка на коронку фирмы Борт-Лонгир типа NQ достигла 477,2 м. Это высокие показатели по ресурсу как отечественных так и зарубежных алмазных коронок

Однако при бурении в твёрдых и очень твёрдых горных породах, которые составляют около 70% объёма алмазного бурения в РФ, ресурс алмазных коронок значительно снижается, как при использовании отечественного, так и зарубежного породоразрушающего инструмента и не всегда превышает трёх-пяти десятков метров. Поэтому необходимо провести исследования по совершенствованию алмазных коронок с целью повышения их эксплуатационных показателей при бурении в твёрдых и очень твёрдых породах, прежде всего снарядами ССК и КССК, которыми выполняется около 60% объёма алмазного бурения, а также одинарными колонковыми снарядами (ОС). Эти исследования по

модернизации алмазных коронок необходимо провести по следующим направлениям: улучшение прочностных свойств низкосортных природных алмазов на основе обработки в аппаратах с вихревым слоем; выбор матричных композиций с заданными свойствами, термическая обработка алмазосодержащих матриц и уточнение отдельных конструктивных параметров инструмента. Повышение эффективности бурения разведочных скважин ССК (КССК) и одинарными снарядами в твердых и очень твердых горных породах за счёт модернизации алмазных коронок является актуальной задачей.

Цель работы – улучшение качества алмазов, повышение геологической и технико-экономической эффективности бурения разведочных скважин путём применения модернизированного отечественного алмазного породоразрушающего инструмента, успешно конкурирующего с зарубежным.

Идея работы - повышение эксплуатационных показателей алмазного породоразрушающего инструмента путём его модернизации за счёт улучшения качества применяемых низкосортных алмазов, подбора матриц с заданными свойствами, термообработки инструмента с учётом релаксации напряжений в материале матрицы и выбора рациональных отдельных параметров коронок и режимов бурения ими.

Задачи исследований.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие основные задачи:

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта алмазного бурения геологоразведочных скважин ССК (КССК) и ОС.
2. Исследования и моделирование износа алмазных буровых коронок.
3. Исследование движения ферромагнитных элементов и частиц дробимого материала в вихревом слое аппарата АВСП-100
4. Выбор состава матриц алмазных коронок.

5. Исследование остаточных напряжений композиционных матриц коронок с учетом релаксации после термообработки.

6. Модернизация конструкций алмазных коронок и их опробование в стендовых и производственных условиях.

Методика исследований. Для решения поставленных задач применялся комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение опубликованных работ по выбранной теме, а также теоретические, стендовые и экспериментально-производственные исследования с использованием современных установок, приборов и вычислительной техники.

Научная новизна проведенных исследований заключается в получении следующих результатов:

1. Получена зависимость для определения скорости частицы необходимой для её разрушения при столкновении с преградой.

2. Установлено влияние коэффициента загрузки ферромагнитных частиц на интенсивность диспергирования кварцевого песка.

3. Уточнены зависимости распределения нормального давления и работы трения за один оборот алмазной коронки от осевой нагрузки и конструктивных параметров инструмента с учётом влияния продольных вибраций на износ коронки.

4. Получена зависимость диаметра алмазного зерна в объемном слое матрицы коронки от действующего усилия и параметров физико-механических свойств горных пород.

5. Уточнена зависимость для определения остаточных напряжений в матрице коронки с учетом развития процессов релаксации.

6. Установлены закономерности взаимосвязи конструктивных параметров модернизированных алмазных коронок, параметров технологического режима, механической скорости бурения от физико-механических свойств горных пород.

Практическая ценность работы. Практическая ценность полученных приоритетных результатов:

1. Разработана расчетная методика и составлена компьютерная программа GrownBit.exe., функционирующая в среде операционной системы Windows, для определения максимальных значений работы трения и распределения нормального давления вдоль радиуса алмазной коронки.

2. Разработан способ избирательного дробления дефектных и трещиноватых низкосортных природных алмазов в вихревом слое аппарата АВСП-100.

3. Выполнена модернизация конструкции алмазных коронок и проведены их испытания в стендовых условиях АО «Тулское НИГП» и на объектах геологоразведочных работ ООО «Норильскгеология».

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций автора диссертации обоснована необходимым объемом теоретических и экспериментальных исследований, а также проверкой положений выводов и рекомендаций в условиях производственных и максимально приближенным к производственным, и достаточной сходимостью опытных данных с результатами ранее проведенных теоретических исследований.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на ежегодных международных научных конференциях профессорско-преподавательского состава научных сотрудников, аспирантов и студентов МГРИ- РГГРУ имени Серго Орджоникидзе «Новые идеи в науке о земле», а также на ежегодных международных научных конференциях Тульского государственного университета: «Приоритетные направления развития науки и технологий», и «Инновационные наукоемкие технологии».

Публикации. Результаты исследований по теме освещены в 22 опубликованных работах, поданы три заявки на предполагаемые

изобретения и полезные модели в институт ФИПС Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, по двум из которых уже получены патенты.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 82 наименований. Диссертация содержит 24 таблицы и 28 рисунков. Во введении обоснованы актуальность и научно-техническое значение повышения эффективности бурения разведочных скважин ССК (КССК) для выявления промышленных запасов твердых полезных ископаемых. Определены цель и задачи диссертационной работы, представлены основные защищаемые положения и результаты реализации работы.

В главе 1 рассмотрено современное состояние проблемы повышения износостойкости и прочности алмазного породоразрушающего инструмента для ССК (КССК), проведен анализ факторов, определяющих его эксплуатационные показатели, произведен выбор и обоснование перспективных направлений исследований по повышению работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента. Показано, что наиболее перспективными являются: повышение прочностных свойств природных алмазов пониженного качества, подбор композиционного состава матриц с заданными свойствами и объемное упрочнение матриц, а также уточнение отдельных конструктивных параметров инструмента.

В главе 2 изложена методика комплексных исследований.

В главе 3 приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по упрочнению алмазов в вихревом слое, подбору рациональных составов матриц, исследованию остаточных напряжений и структурных характеристик композиционных матриц после термообработки. Выбору отдельных конструктивных параметров коронок.

В главе 4 изложены результаты стендовых и производственных испытаний алмазного породоразрушающего инструмента.

В главе 5 дана технико-экономическая оценка применения алмазных модернизированных коронок.

Работа выполнена в Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе с использованием лабораторных стендов АО «Тульское НИГП». Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю д.т.н. профессору Куликову В.В. за постоянную методическую помощь поддержку в работе. Автор искренне признателен преподавателям и сотрудникам кафедры разведочного бурения РГГРУ, сотрудникам отдела геологоразведочных технологий АО «Тульское НИГП», а также научному консультанту д.т.н. Будюкову Ю.Е.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Решению отдельных вопросов повышения стойкости алмазного породоразрушающего инструмента посвящены работы многочисленных ученых и крупных специалистов: Воздвиженского Б.И., Шамшева Ф.А., Уткина И.А., Остроушко А.И., Кардыша В.Г., Башкатова Д.Н., Кудряшова Б.Б., Сулакшина С.С. Козловского Е.А., Калинина А.Г., Власюка В.И., Соловьева Н.В., Горшкова Л.К., Онищина В.П., Морозова Ю.Т., Корнилова Н.И., Будюкова Ю.Е., Спирина В.И., Пономарева П.П., Осецкого А.И., Куликова В.В., Бронникова И.Д., Ганджумяна Р.А., Рябчикова С.Я., Володченко В.К., Богданова Р.К., Чихоткина В.Ф., Каминга Дж., Сасаки.

Проведенный анализ работ, опубликованных упомянутыми и другими исследователями, а также собственные экспериментальные исследования автора по алмазному бурению показали, что для повышения работоспособности инструмента не полностью раскрыты закономерности износа алмазного инструмента при бурении ССК (КССК) в твердых и очень твердых горных породах, армирования алмазного вооружения матриц коронок в части повышения прочности алмазов пониженного качества и выбора их оптимальной зернистости и

технологического процесса прессования и термообработки матриц. Исследования остаточных напряжений и структурных характеристик композиционных матриц после термообработки и особенности релаксации материала матриц проведены не достаточно полно, что не позволяет оптимизировать процесс криогенной обработки коронок. Важным остается вопрос выбора и совершенствования режимов бурения на базе проведения стендовых и производственных испытаний алмазного породоразрушающего инструмента. Выполненные по вышеуказанным вопросам исследования позволили сформулировать следующие основные защищаемые положения.

Первое защищаемое научное положение. Применение аппаратов вихревого слоя ферромагнитных частиц обеспечивает дробление, овализацию и упрочнение всей обрабатываемой массы алмазов вследствие создания большой частоты удара при малой величине силы удара.

Второе защищаемое научное положение. Учёт развития релаксации напряжений в матрице алмазного породоразрушающего инструмента после термического удара позволяет повысить эффективность его термообработки, что выражается в увеличении износостойкости алмазных коронок.

Третье защищаемое научное положение. Применение алмазных коронок, модернизированных на основе анализа распределения работы трения с учётом динамической составляющей нагрузки вдоль радиуса коронки, выбора состава матрицы и повышения её прочности при криогенной обработке и установления рационального диаметра алмазного зерна в объёмном слое, обеспечивает при бурении формирование и поддержание высокого уровня механической скорости бурения и повышение эксплуатационной стойкости инструмента.

Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРАКТИКА АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ СНАРЯДАМИ СО СЪЁМНЫМИ КЕРНОПРИЁМНИКАМИ И ОДИНАРНЫМИ СНАРЯДАМИ

1.1. Анализ отечественного опыта алмазного бурения снарядами со съёмными керноприёмниками и одинарными снарядами.

Бурение комплексами со съёмными керноприёмниками.

Известно [1,3], что применение съёмных керноприёмников позволяет увеличить производительность бурения в 1,5-2 раза по сравнению с обычным алмазным бурением за счёт сокращения времени спуско-подъёмных операций и возможности вести бурение на большую глубину при высокой частоте вращения инструмента (более 1000 мин^{-1}), а также повысить геологическое качество бурения. При этом снижается расход алмазов и увеличивается выход керна благодаря лучшей центрации бурильной колонны и колонкового набора в скважине, а также наличия сигнализатора самозаклинивания керна, высокие технико-экономические показатели бурения достигаются при использовании алмазных коронок улучшенного качества, обеспечивающих проходку за рейс не менее 30 м[33].

Комплексы технических средств со съёмными керноприёмниками ССК (конструкции ВИТР) применяются при бурении скважин на твердые полезные ископаемые диаметром 46, 59 и 76 мм, глубиной 1000—1200 м в монолитных, слаботрещиноватых и трещиноватых породах VII—X категорий по буримости [68]. Комплексы КССК-76 (конструкции СКБ «Геотехника») используются в менее твердых породах V—IX категорий по буримости и рассчитаны на бурение до 1200, 2000 и 3000 м. Технические характеристики комплексов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1.Техническая характеристика комплексов для бурения со съёмными керноприёмниками[68].

Параметры	Типоразмер комплекса			
	ССК-46	ССК-59	ССК-76	КССК-76
Размер алмазной коронки, мм				
наружный диаметр	46	59	76	76
внутренний диаметр	24	35,4	48	40
ширина торца матрицы	11	11,8	14	18
Наружный диаметр алмазного расширителя, мм	46,4	59,4	76,4	76,4
Режим бурения:				
максимальная частота вращения, мин ⁻¹	1500	1500	1000	1000
предельная осевая нагрузка, даН	1200	1700	1800	2000
промывочная жидкость	вода, эмульсионные жидкости	Вода, эмульсионные, слабые глинистые растворы		вода, эмульсионные жидкости, глинистые растворы
расход промывочной жидкости, л/мин	7-20	15-30	25-70	30-100
Средний ресурс комплекса при усреднённых условиях бурения, тыс. м.	10,0	8,0	7,5	6,0

К настоящему времени основными разработчиками и поставщиками алмазного бурового инструмента являются ОАО «Терекалмаз»,

«ЭЗТАБ» и АО «Гульское НИГП», в котором наиболее широко и последовательно ведутся работы по модернизации, указанного породоразрушающего инструмента.

Поэтому в обзоре в основном приводятся результаты исследований по модернизации алмазного породоразрушающего инструмента проведённые этим предприятием.

Выбор породоразрушающего инструмента как для алмазного бурения в целом, так и для бурения со съёмными кернаприёмниками и одинарными снарядами ОС никак не зависит от физико-механических свойств буримых пород.

Важнейшими физико-механическими свойствами горных пород, слагающих месторождение, по ОСТ 41-89-74 являются [70,79]: динамическая прочность F_d ; абразивность $K_{абр}$; объединённый показатель ρ_M , связывающий твёрдость и абразивность; по этому показателю устанавливается категория пород по буримости.

По буримости горные породы разделяются на следующие группы [51], указанные в табл. 1.2

Таблица 1.2. Типизация пород по буримости

Группа пород по буримости	Характеристика групп пород	Показатель ρ_M	Категория по буримости
I	В высшей степени твёрдые	51,0-115,0	XI-XII
II	Очень твёрдые и твёрдые	15,0-51,0	VIII-X
III	Средней твёрдости	6,8-15,0	VI-VII
IV	Малой твёрдости	3,0-6,8	IV-V
V	Мягкие (рыхлые, сыпучие, размываемые, плавучие)	1,0-3,0	I-III

Распределение объёма алмазного бурения по степени трещиноватости пород и категориям пород по буримости приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Распределение объёма алмазного бурения по степени трещиноватости пород и категориям пород по буримости

Степень трещиноватости пород	Удельная кусковатость керна $K_{уд}$, шт./м	Объём алмазного бурения, %	В том числе по категориям пород по буримости		
			VII-VIII	IX-X	XI-XII
Монолитные	1-5	36	6,6	24,7	4,7
Слаботрещиноватые	6-10	34	6,2	23,5	4,3
Трещиноватые	11-30	19	3,5	13,1	2,4
Сильнотрещиноватые	31-50	8	1,5	5,5	1,0
Весьма и исключительно сильнотрещиноватые	51 и более	3	0,6	2,0	0,4
Всего:	-	100	18,4	68,8	12,8

Как видно из данных таблиц 1.2, 1.3 породы очень твёрдые и твёрдые составляют около 70% объёма алмазного бурения в РФ.

Важными конструктивными параметрами алмазных коронок, определяющим в первую очередь их область применения, являются [49] твёрдость матрицы коронки, качество заложенных в матрицу алмазов, насыщенность матрицы алмазами, зернистость алмазов, выпуск алмазов из матрицы, толщина матрицы коронки, а также геометрия промывочной системы [1,3,7].

Было установлено [7], что в основе конструирования алмазного породоразрушающего инструмента лежит работа единичного алмаза. В АО «Тульское НИГП» рассмотрены [7,9] современные взгляды исследователей на процесс разрушения горной породы единичным алмазом и группой алмазов, проанализированы работы ряда крупных отечественных и зарубежных исследователей.

В АО «Тулское НИГП» впервые (Будюков Ю.Е., Власюк В.И., Спирин В.И.) выполнен [7] анализ напряжённого состояния системы алмазная коронка – забой с применением метода конечных элементов, который является новейшим современным методом решения инженерных и математических задач. С применением этого метода исследовано распределение интенсивности касательных напряжений в горной породе

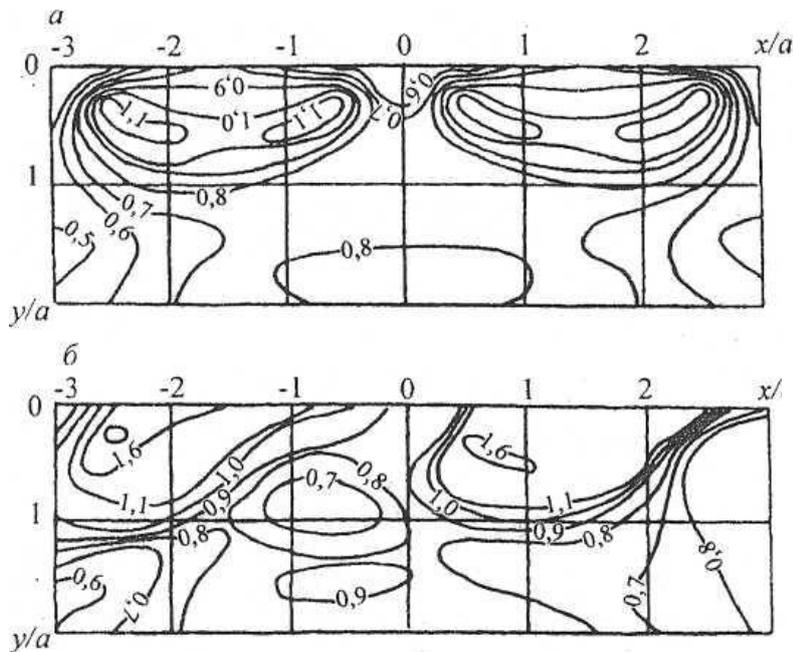


Рис. 1.1. Распределение σ / P_n при одновременном воздействии на породу двух инденторов

a – $P_m / P_n = 0$; *б* – $P_m / P_n = 0,5$

Результаты проведенных исследований послужили обоснованием схемы раскладки алмазов в коронках. Насыщенность матрицы алмазами и величину их выпуска из тела матрицы можно определить по зависимостям, описанным в работе [7]. При использовании алмазного инструмента кроме выбора алмазов с необходимым качеством, зернистостью и концентрацией, закреплением их в матрице и сохранением адгезивно-активных свойств матрицы большое значение имеет придание матрице свойств необходимых для эффективной работы алмазов при разрушении горных пород. Имея данные о горных породах можно задать необходимые состав и параметры изготовления матрицы для получения высоких эксплуатационных характеристик алмазной коронки.

С применением современных методов исследования системы алмазная коронка – забой скважины, расчётов отдельных конструктивных параметров коронок и расширителей на ЭВМ и с использованием широкого ассортимента по качеству алмазного сырья и прогрессивных

матричных материалов в ОАО «Тульское НИГП» были созданы комплексы алмазного породоразрушающего инструмента для бурения КССК-76 как скважин средней глубины, так и глубоких (рис. 1.2) [7,61], а также для бурения одинарными снарядами.

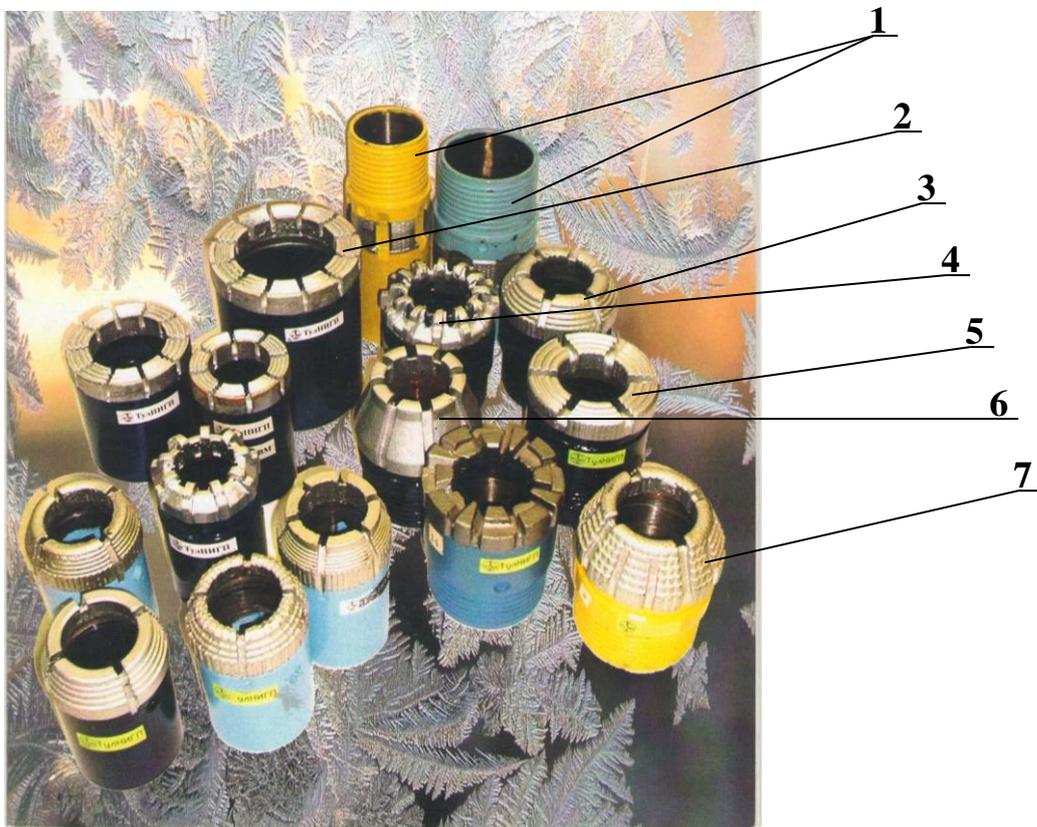


Рис. 1.2. Алмазные коронки и расширители конструкции АО «Тульское НИГП» для бурения снарядами со съёмными керноприёмниками [7].

1- расширители РЦК; 2- коронка HQ для снарядов BOART –LONAYEAR;

3- коронка К-16; 4- коронка К-31; 5- коронка К-41;

6- коронка К-27, 7- коронка 17А4.

Таблица 1.4. Техничко-экономические показатели применения специального алмазного инструмента

Типоразмер инструмента	Категория пород по буримости	Проходка на коронку, м	Механическая скорость бурения, м/ч	Расход алмазов, кар/м	Линейный выход керна, %
1	3	4	5	6	7
Инструмент для бурения КССК-76					
17А4	VI-VIII	95	1,9/1,4*	0,17/0,25*	90/85*
К-16	VII-IX	71	1,7/1,2	0,33/0,46	92/81
К-18	VI-VIII	82	1,8/1,1	0,18/0,26	93/84
К-30	V-VII	215	2,4/1,8	0,09/0,16	91/87
К-31	V-VI	304	2,2/1,7	0,08/0,15	91/82
К-70	VIII-X	60	1,4/1,1	0,32/0,48	96/87
К-41	IX-XI	50	1,2/0,9	0,41/0,61	94/85
К-45	IX-XI	58	1,3/0,9	0,43/0,65	93/84
РКЦ-1	VI-XI	810	-	0,010/0,015	-
РКЦ-3	V-IX	600	-	0,012/0,018	-

* в числителе приведены показатели работы созданного в АО «Тульское НИГП» инструмента, в знаменателе – базового.

Как видно из данных табл. 1.4 при бурении снарядами со съёмными керноприёмниками проходка на коронку достигает 304 м, а при отработке коронок в твёрдых и очень твёрдых породах проходка на коронку снижается до 50 и 60 м.

Это инструмент для бурения мягких пород, пород средней твёрдости, твёрдых и очень твёрдых и высокой степени твёрдости. Техническая характеристика и области применения всего алмазного инструмента АО «Тульское НИГП» для ССК (КССК) и ОС приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5. Техническая характеристика алмазного инструмента АО «Тульское НИГП» [15]

Тип инструмента и вид алмазного сырья	Диаметр, мм		Масса заплавленных алмазов, карат	Категория пород по буримости
	наружный	внутренний		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>1. Коронки для бурения зарубежными комплексами</i>				
К-2СВМ, К-3СВМ, К-4СВМ	59,6	36,4	20,8-37,2	VIII- XII
К-5СВМ типа ВQ, NQ,	75,5	47,6	25,1-42,7	
HQ, PQ(природа, синтетика)	95,6	63,5	30,4-47,6	
	122			
<i>Башиачные коронки</i>				
<i>КБ-75,3, КБ-92, КБ-117,5,</i>	75,3	62,0	24,0-30,0	VII-IX

КБ-119 (природа, синтетика)	92,0 117,5 119	77,0 101,0 101,0	24,0-30,0 42,0-51,0 42,0-51,0	
2. Однослойные коронки 01А3М, 01А4М (природа)	46 59 76 93 112	31 42 58 73 92	4,2-7,2 6,4-10,6 8,8-14,8 9,5-24,0 16,1-24,4	VIII-IX
3. Импрегнированные коронки 02И2М, 02И3М, 02И4М, 02И5М (природа)	46 59 76 93 112 132	31 42 58 73 92 112	7,2-8,4 11,1-16,5 15,1-19,6 24,7-27,8 32,0-36,9 51,60	IX-XII VIII-X
4. Импрегнированные коронки с повышенными эксплуатационными параметрами 02И2СВМ, 02И3СВМ, 02И4СВМ (природа, синтетика)	46 59 76 93 112 132	31 42 58 73 92 112	8,2-9,6 13,0-14,5 19,0-21,8 24,7-27,8 32,0-36,9 51,60	VIII-X
5. Импрегнированные коронки с гребенчатым профилем матрицы КГА-2, КГА-3, КГА-4 (природа)	46 59 76 93 112	31 42 58 73 92	9,1-9,8 13,0-15,1 19,0-22,3 27,8-32,5 33,0-39,0	VIII- XI
6. Коронки для бурения комплексами ССК-59				
К-01М	59	35,4	9,1-13,1	VIII
К-01-1М	59	35,4	6,9-11,4	VIII-IX
К-01-2М (природа)	59	35,4	5,8-9,0	IX-X
К-01-3М	59	35,4	15,5-16,5	IX-X
К-08	59	35,4	16,0-19,0	IX-X
КГ-СВМ (синтетика, природа)	59	35,4	23,1-31,6	VIII- XI
КГО-СВМ (синтетика, природа)	59	35,4	20,8-23,1	VIII- XI
7. Коронки для КССК-76				
17А4	76	40	13,9-23,1	VI-VIII
К-16	76	40	15,4-24,0	VIII-IX
К-30 (природа)	76	40	8,5-12,9	V-VIII
К-31	76	40	5,7-9,6	V-VI
К-41	76	40	21,0-30,0	IX-XI
К-41СВМ (синтетика, природа)	76	40	36,0-41,6	VII-X
К-45 (природа)	76	40	21,0-24,0	VIII-X
К-70 (природа)	76	40	22,0-26,0	IX-X
8. Коронки для эжекторных снарядов - (природа)				
16И4М	59	39	11,2-12,8	X- XI
16И4М	76	47	15,2-17,3	X- XI
ДЭА-76М	76	47	11,1-23,5	VIII- X
ДЭИ-76М	76	47	17,8-19,7	X- XI

ДЭИ-93М	93	59	23,6-26,0	X- XI
ДЭА	93	59	24,0-26,0	VIII- X
9. Телескопические коронки - (природа)				
02ИЗТ-59	59,0	46,5	15,0-17,4	IX-XII
02ИЗТ-76	75,5	59,0	26,0-28,2	IX-XII
02ИЗТ-93	93,0	76,0	28,0-32,0	IX-XII
02ИЗТ-112	112,0	93,5	34,0-38,0	IX-XII
10. Алмазные расширители (природа)				
(РСАТ, РСАМ, РСА-1М, РЦК)	46,4		4,3-5,2	VIII-XII
	59,4		7,3-11,4	VIII-XII
	76,4		7,3-11,4	VIII-XII
	93,4		12,1-19,0	VIII-XII
	112,4		13,1-21,0	VIII-XII
11. Импрегнированные тонкостенные коронки ИКС-1М (природа)				
	46	33,6	7,2-9,1	VIII-XI
	59	44,6	11,1-13,6	VIII-XI
12. Коронки для бурения с пеной и сжатым воздухом				
П-01	76	58	11,0-14,0	VI - VIII
П-02 (природа)	93	73	14,9-16,8	VII- VIII
П-82-3СВМ	82	56	40,0-60,0	VIII- IX
П-98-3СВМ (Природа, синтетика)	98	72	50,0-70,0	VIII- IX
П-118-3СВМ	118	90	72,0-82,0	VIII- IX
П-124-3СВМ	124	92	75,0-85,0	VIII- IX

Однако в последние годы в связи с появлением на отечественном рынке зарубежного алмазного породоразрушающего инструмента с повышенными эксплуатационными показателями в отдельных технико-геологических условиях возникла необходимость в модернизации отечественного алмазного породоразрушающего инструмента, особенно для бурения в твёрдых и очень твёрдых горных породах.

В нижеприведённой таблице 1.6 даны наиболее представительные результаты отработки алмазных коронок производства ОАО «Гульское НИГП», Терекалмаз, ГПГ «ЭЗТАБ», Атлас-Копко (Швеция) и Борт-Лонгир (США, Испания), полученные на различных объектах в течение 2005 года.

Таблица 1.6. Показатели отработки алмазных коронок [9]

Производитель инструмента	Типо-размер	Кол-во, шт.	Проходка на коронку, м	Средняя категория пород	Стоимость истирающих на 1 м бурения, руб.
1. ФГУГП «Запсибгеолсъёмка»					
ТулНИГП	K-75-3СВМ	23	406,3	VI	11,7
Борт-Лонгир	NQ(серии 02,04,10),75	12	477,2	VI	36.4
Атлас-Копко	KS(S++)/3, 75	2	140.0	VI	137.7
2. ФГУГП «Читагеологоразведка»					
ТулНИГП	K-75-3СВМ	5	33.7	IX-X	85.5
Атлас-Копко	KS(S++)/3, 75	2	35.2	IX-X	481.5
3. Буровая компания Yang. SOLOMONLtd(Израиль)					
ТулНИГП	K-95-3СВМ	2	528.0	VI	13.3
Борт-Лонгир	HQ,95	2	467.0	VI	24.7

На всех объектах бурение велось зарубежными снарядами со съёмными керноприёмниками, но алмазные коронки были от различных производителей.

В ФГУГП «Запсибгеолсъёмка» скважины бурились станками Diames-262 и Diames-282 в породах, представленных песчаниками, алевролитами, аргиллитами и углём. Хотя по величине средней проходки коронки ТулНИГП несколько уступают инструменту фирмы Борт-Лонгир, но по расходу их на метр бурения они более чем в 3 раза дешевле их. Максимальная проходка, достигнутая коронкой NQ серия 2, составила 982,7 м, а коронкой K-75-3СВМ – 1046,8 м (!). Это рекордная проходка на алмазную коронку в истории отечественных буровых работ [9].

В ФГУГП «Читагеологоразведка» скважины бурились в сильно трещиноватых изверженных породах с помощью станка Diames-262. Бурение велось при полном поглощении жидкости. Коронки K-75-3 были изготовлены из рекуперата отработанных отечественных коронок с природными алмазами. При сопоставимой проходке на алмазные коронки ТулНИГП и Атлас-Копко преимущество первых по расходу их на метр бурения более чем в 5 раз.

В Израиле опытные коронки ТулНИГП использовались при бурении инженерно-изыскательских скважин в очень разнообразных горно-

геологических условиях, учесть которые при изготовлении было практически невозможно. Тем не менее, и для таких условий был создан инструмент, который значительно превзошел коронки постоянно работающей там фирмы Борт-Лонгир.

Таким образом, производственные испытания алмазных коронок ТулНИГП, изготовленных по новым технологиям, показали, что они по эффективности значительно превосходят инструмент других отечественных производителей, а также инструмент известных зарубежных фирм. Одновременно установлено, что при бурении ССК в породах средней твёрдости ресурс коронок как отечественных так и зарубежных достаточно высок и достигает 528 м, однако при бурении в твёрдых и очень твёрдых породах он значительно снижается до 35,2 м.

Бурение одинарными снарядами (ОС)

Сравнительные данные отработки алмазных коронок ОАО «Тулское НИГП», Бинур, Дайминтех и Терекалмаз в Мурманской ГРЭ на участке «Пана» при бурении (ОС) твердых и очень твердых трещиноватых габбро VIII-IX категории по буримости приведены в табл. 1.7 [9].

Таблица 1.7. Результаты отработки коронок на участке «Пана».

№ п/п	Производитель инструмента	Тип коронки	Кол-во отработанных коронок, шт	Средняя проходка на коронку, м	Механическая скорость бурения, м/час
1	Бинур	02ИЗ-76	2	14,7	2,2
2	Терекалмаз	02ИЗГ-76	6	16,3	2,5
3	Дайминтех	ЭКИ -ЗТУ-76	8	19,1	2,5
4	ТулНИГП	02ИЗ-76СВМ	39	28,8	3,0-5,0

Из данных таблицы 1.7 видно, что эксплуатационные показатели (ресурс) при бурении твердых и очень твёрдых трещиноватых пород отечественными коронками не высокие (от 14,7 до 28,3 м). Однако

применение коронок конструкции АО «Тульское НИГП» эффективнее, чем использование коронок других фирм по стойкости и механической скорости бурения.

Следует отметить, что при бурении снарядами со съёмными керноприёмниками и стандартными алмазными коронками в трещиноватых породах выход керна не всегда соответствует кондиции из-за воздействия на него алмазной коронки при кернообразовании и вследствие размыва его потоком промывочной жидкости в керноприёмной части ССК.

Поэтому отдельные исследователи ВИТРа и АО «Тульское НИГП» предлагают ряд технических решений, направленных на модернизацию алмазных коронок для повышения качества бурения ими в трещиноватых породах [3,7,23] на основе повышения прочности матриц и усиления их алмазного вооружения.

В АО «Тульское НИГП» для бурения в трещиноватых породах предложено выполнять алмазные коронки с торцевыми или боковыми промывочными каналами для предотвращения размыва керна [10].

Исследованием по выбору матричных композиций для алмазного инструмента занимались [7,23,24,25,30,48,56,65,67,73,74] научно-исследовательские и конструкторско-технологические организации различных ведомств – ВИТР (Курочкин П.Н., Николас А.Л., Корнилов Н.И., Осецкий А.И., Тихонов Н.Е. и др.); ОАО «Тульское НИГП» (Волков Л.Л., Гренадёр М.Е., Старков В.А., Будюков Ю.Е., Спирин В.И., Ососов И.А. и др.); ИСМ АН Украины (Цыпин В.И., Новиков Н.В., Богданов Р.К., Вовчиновский В.Ф. и др.), ВНИИ АЛМАЗ (Стихов Л.В., Субботин Е.К., Чарная Я.Е., Ножкина А.В. и др.), СКБ «Геотехника» (Никоноров А.М., Киселёв А.Т. и др.).

АО «Тульское НИГП» начиная с 1968 г. занимается исследованиями по подбору композиционного состава матриц, разработке технологических способов и созданию специального оборудования формирования

матричных композиций. Одним из направлений исследований является получение заданных и регулируемых свойств матриц для соответствующего типа матрицы применительно к конкретным условиям бурения горных пород.

С целью подбора материала матриц [38] с заданными свойствами были проведены экспериментальные исследования зависимости плотности, пористости и твердости материалов матрицы до пропитки горячей допрессовки и после пропитки-горячейдопрессовки с составами материала матриц карбид вольфрама /17,5-59 %/, кобальт /0-20 %/, релит /0-40 %/, медь /33-41 %/ и никель /0-8 %/.

Анализ полученных результатов пропитки и горячей допрессовки показал, что для всех исследуемых составов материала матрицы с увеличением давления прессования в исследуемых пределах от 30 до 80 МПа плотность повышается, а пористость снижается. Материалы, полученные из порошка одного гранулометрического состава, уплотняются слабее, применение в составе компонентов, различных по гранулометрическому составу и форме частиц, а также наполнителя значительно /до 35 %/ повышает плотность и снижает /до 40 %/ пористость материала. Это объясняется наилучшим размещением частиц материала меньшего размера среди крупных, более плотной их упаковкой, деформацией приконтактных областей и уменьшением открытой пористости в прессуемых образцах.

При обработке результатов после пропитки и горячей допрессовки установлено, что структура матрицы обработанной токами ТВЧ, улучшается, она характеризуется мелкой зернистостью и большей степенью гетерогенности, твердость матрицы повышается. Для всех исследуемых составов материала с увеличением давления прессования твердость возрастает по прямолинейной зависимости [38].

Также установлено, что применение горячей допрессовки приводит к образованию равномерной плотности матрицы и улучшению сцепления алмазов с материалом связки.

Таким образом, в процессе изготовления алмазного породоразрушающего инструмента за счет изменения параметров статического прессования и состава входящих в матрицу компонентов, различающихся по физико-химическому составу, имеется возможность управлять некоторыми свойствами материала матрицы.

Однако не были установлены зависимости твёрдости матриц от давления прессования матриц для составов их апробированных и широко применяемых при изготовлении алмазного инструмента, что вызывает некоторые затруднения при модернизации алмазного инструмента.

Влияние конструктивных параметров алмазного инструмента на эффективность разрушения горных пород рассмотрено также в работах Б.И. Воздвиженский [18], Ф.А. Шамшева [76], Е.А. Козловского [28], С.С. Сулакшин [70], Н.В. Соловьёва и др. [28,54,55], а также В.И. Власюка, Ю.Е. Будюкова, В.И. Спирина [7,9,16], Л.К. Горшкова [20], Р.К. Богданова [54], В.Г. Кардыш [26], Е.В. Бучковского [4], П.Н. Курочкина [29], и др.

Таким образом, совершенствование алмазного породоразрушающего инструмента для эффективного бурения ССК и ОС в твёрдых и очень твёрдых породах является важным направлением научно-технического прогресса в области колонкового бурения в РФ.

1.2. Опыт бурения ССК разведочных скважин за рубежом.

Для бурения разведочных скважин за рубежом широко применяют снаряды со съёмными керноприёмниками [81,82,83].

Благодаря высокому экономическому эффекту съёмные керноприёмники разрабатываются и применяются почти всеми крупными буровыми фирмами. Родоначальником этого метода разведочного бурения была фирма «Лонгир»

(метод wireline), которая еще в 1955 г. освоила серийный выпуск инструмента и ведет его постоянное совершенствование.

Около 90% всех разведочных скважин в США и Канаде бурятся с применением съемных керноприемников разных диаметров. Выпуском этого инструмента занимаются фирмы «Атлас Копко Крелиус» (Швеция), «Диамант Боарт» (Бельгия), «АккерДрилл», «Джой», «Спракве и Хэнвуд» (США), «Кокон Боринг» и «Токе Боринг» (Япония), «Смит и Санз» Англия) и др. Активные исследования по созданию собственных конструкций съемных керноприемников проведены в Польше, Болгарии и Китае. [68].

Отмечаются преимущества и недостатки этого метода: сокращается время на спуско-подъемные операции с бурильной колонной, улучшается отбор керна за счет лучшей центрации снаряда в скважине; лучше сохраняется алмазная коронка благодаря меньшему перемещению ее при спуско-подъеме по скважине; появляется возможность использования бурильной колонны в качестве обсадной колонны и продолжение бурения меньшим размером коронки. В то же время указывается на повышенный излом бурильных труб из-за недостаточной прочности резьбы в зонах с кавернами и пустотами, в местах постановки клиньев. При переходе с обычного бурения на съемные керноприемники требуется обеспечение минимального зазора между трубами и скважиной [7,68]. Не рекомендуется бурение этими снарядами в весьма твердых породах из-за недостаточной стойкости алмазных коронок. Считается, что экономически эффективно, если проходка на коронку не менее чем в 3 раза превышает углубку за рейс при обычном бурении. Бурение съёмными керноприемниками нашло широкое применение при разведке каменного угля, меди, полиметаллов в породах средней твердости, твердых и очень твёрдых. Для этого разработана целая гамма алмазных коронок для бурения в различных по физико-механическим свойствам горных породах (рис. 1.3):

- для бурения мягких пород применяются коронки, армированные поликристаллическими алмазами (рис.1.3-1);
- для бурения крепких пород средней твёрдости применяются однослойные алмазные коронки и расширители (рис.1.3-2,3);
- для бурения твёрдых, весьма твёрдых и очень твёрдых горных пород применяются импрегнированные алмазные коронки (рис.1.3-4).



Рис. 1.3. Алмазный породоразрушающий инструмент конструкции фирмы BOARTLONGYEAR [52]:

1 – алмазные коронки, армированные поликристаллическими алмазами; 2 – алмазные однослойные коронки; 3- алмазные расширители; 4 – алмазные импрегнированные коронки.

В целях расширения области применения метода «Лонгир» фирмами «ДаймонтБоарт», «Тоне Боринг» и другими разработаны усиленные наборы с увеличенными толщинами колонковых и бурильных труб и, следовательно, с большей шириной матрицы коронки. Эти снаряды позволяют вести бурение в осложненных условиях - при наличии кавер неустойчивых стенок скважин и необходимости применения глинистого раствора. Для

бурения в твердых устойчивых породах, наоборот, используются тонкостенные снаряды с уменьшенной, против стандартной, ширинок матрицы. Это позволяет обеспечить оптимальную осевую нагрузку. Ниже приведено сравнение ширины матриц алмазных коронок съемных керноприемников:

Типоразмер коронки	A (47,6)	B (59,5)	N (75,6)
Ширина торца коронки, мм			
стандартный снаряд	10,3	11,5	13,5
усиленный снаряд	-	13-14,65	14,5-17,1
тонкостенный снаряд	8,65	8,8	9,1

Следует отметить, что при бурении в трещиноватых породах зарубежные фирмы применяют алмазные коронки с торцевыми промывочными отверстиями для повышения выхода керна [68].

Таким образом, за рубежом фирмами широко применяется бурение со съёмными керноприёмниками, однако не рекомендуется бурение этими снарядами в весьма твёрдых породах из-за недостаточной стойкости алмазных коронок.

1.3. Анализ результатов отработки алмазных коронок, подвергнутых криогенной обработке

Опыт алмазного бурения свидетельствует о том, что повышение работоспособности породоразрушающего инструмента является существенным резервом увеличения производительности бурения скважин. Существует достаточно большое количество способов упрочнения твёрдых сплавов, алмазов, композиционных алмазо-содержащих матриц [7,9,10,15,53,57].

Наибольший практический интерес представляет криогенная обработка породоразрушающего инструмента, в том числе алмазного, которая позволяет производить объёмное упрочнение материала на

значительную глубину и является экологически чистым, довольно простым в исполнении и не требующим дорогостоящего и сложного оборудования технологическим процессом [53,57].

Первые работы по криогенной обработке алмазного инструмента были проведены в Кайраккумской ГРЭ (Власюк В.И., Спиринов В.И.), в ТПИ (Рябчиков С.Я.). Затем также работы были проведены в ВИТРе, ОЭИ ЦНИГРИ (Будюков Ю.Е.) и др. организациях [7,10,16,53].

Наиболее глубокие и обширные исследования в направлении повышения ресурса породоразрушающего инструмента (ПРИ) криогенной обработкой в последние годы выполнены Спириновым В.И. и Рябчиковым С.Я.

Спиринов В.И.[57] доказал принципиальную возможность повышения работоспособности алмазного инструмента криогенной обработкой, являющейся одним из вариантов такого вида термообработки как термоудар, исследовал влияние термоудара на формирование напряжённого состояния в матрице алмазной коронки, разработал [57] методы расчёта напряжений, создаваемых в матрице при термоударе, и оценки уровня максимальных напряжений, создаваемых в результате термоудара, исследовал остаточные напряжения и структурные характеристики матрицы алмазной коронки после термоудара исследовал и разработал рациональные технологические режимы алмазного бурения.

Рябчиков С.Я. показал[19, 53], что принципиально возможно повышение стойкости породоразрушающего инструмента методом комплексного криогенно-радиационного воздействия и оценки влияния его на структуру, текстуру, физико-механические свойства и напряжённое состояние композиционных алмазосодержащих материалов, наметил рациональные режимные параметры криогенной обработки и облучения гамма - квантами алмазного и твёрдосплавного породоразрушающего инструмента.

Испытания алмазных коронок типа 01А3 (10штук), обработанных жидким азотом, проведённые в Шадринской ГРЭ показали [16,53] , что удельный расход алмазов уменьшается в 2,2 раза, механическая скорость бурения увеличивается в 1,25 раза. Затем в ПГО «Востказгеология» была испытана более представительная партия алмазных коронок (100 штук), обработанных в жидком азоте [16,53]. Результаты испытаний, проведённых при полном хронометраже, показали, что при бурении скважин в породах IX-X категорий проходка на различные типы коронок повышалась в среднем 1,4 раза, механическая скорость повысилась в 2,4 раза.

Эти результаты позволили приступить к широкомасштабным испытаниям упроченных алмазных коронок на различных месторождениях ПГО "Востказгеология", главным образом в Зырянской и Прииртышской ГРЭ. Результатыиспытаний выборочных партий коронок в Зырянской ГРЭ приведены в табл.1.8 [53].

Таблица 1.8. Результаты испытаний коронок в Зырянской ГРЭ

Тип коронки	Количество коронок, шт.	Средняя проходка на коронку, м	Увеличение проходки, %
01АЗН60К30:			
базовые	213	9,1	
опытные	272	11,9	30,8
01АЗД40К40:			-
базовые	37	7,8	
опытные	31	17,6	125
02ИЗГТ200К60:			
базовые	134	10,2	
опытные	131	11,8	16
К-01-1:			
базовые	18	12,6	
опытные	19	30,7	144

В табл. 1.8 приведены результаты испытаний однослойных и импрегнированных коронок в Прииртышской ГРЭ [16,53]. Испытания здесь проводились на хорошем методическом уровне при бурении

плановых скважин на участках Белоусовского рудного поля (средняя категория пород 9,8).

Таблица 1.9 Результаты испытаний коронок в Прииртышской ГРЭ

Тип коронки, диаметр	Количество коронок, шт.	Средняя проходка на коронку, м	Увеличение проходки в %
01АЗН60К30			
диаметром 76 мм:-			
базовые	95	9,2	
опытные	109	11,8	28
01АЗД40К40			
диаметром 59 мм:			
базовые	95	9,1	
опытные	40	10,4	14
02И ЗГТ200К60			
диаметром 59 мм:			
базовые	94	10,6	
опытные	89	11,5	8
01АЗСВ			
диаметром 59 мм:			
базовые	27	6,9	
опытные	23	14,3	107

Из данных табл. 1.8 и 1.9 следует, что результаты испытаний всех типов коронок являются однозначно положительными, однако имеют очень большой разброс - от 8-16 до 144%. Достаточно высокие и стабильные результаты получены для однослойных коронок. Показатели мелкорезцовых импрегнированных коронок повысились в меньшей степени, что характерно для импрегнированных коронок и при других способах упрочнения. Особого внимания заслуживают высокие показатели отработки упрочнённых в жидком азоте коронок типа КС-76С

и К-31С (конструкции АО «Тульское НИГП») с синтетическими алмазами, которые были отработаны на объектах ПГО «Запсибгеология» (табл. 1.10).

Таблица 1.10 Результаты отработки коронок в ПГО «Запсибгеология»

Показатели	Коронки, обработанные жидким азотом, с выдержкой, мин			Базовые коронки
	10	15	20	
Объём бурения, м	$\frac{1739}{4259}$	$\frac{8700}{11069}$	$\frac{2042}{6121}$	$\frac{1460}{7450}$
Количество коронок, шт.	$\frac{31}{18}$	$\frac{100}{43}$	$\frac{29}{22}$	$\frac{31}{37}$
Средняя проходка на коронку, м	$\frac{56,1}{236,6}$	$\frac{87,0}{257,4}$	$\frac{70,4}{278,2}$	$\frac{47,1}{232,2}$
Максимальная проходка на коронку, м	$\frac{145,4}{374,0}$	$\frac{329,0}{500,0}$	$\frac{241,0}{620,0}$	$\frac{87,6}{308,0}$
Удельный расход алмазов, кар/м	$\frac{0,241}{0,039}$	$\frac{0,160}{0,037}$	$\frac{0,190}{0,033}$	$\frac{0,319}{0,040}$

Примечание. В числителе показатели отработки коронок типа КС-76С, в знаменателе - К-31С.

Как видно из данных табл. 1.10 средний расход алмазов у коронок К-31С снижается на 68%, а максимальная проходка на коронку составила 620 м. Причём с увеличением выдержки при криогенной обработке стойкость коронок К-31С возрастает, а удельный расход алмазов снижается, следовательно, необходимо определить рациональное время выдержки при криогенной обработке, так как аналитических зависимостей для определения этого параметра обработки инструмента, проверенных экспериментально, не имеется.

На основании полученных положительных результатов в дальнейшем в ПГО "Запсибгеология" все поступавшие коронки с синтетическими алмазами проходили криогенную обработку.

Для уточнения влияния криогенной обработки на эксплуатационные показатели алмазных коронок ВИТРОм были проведены экспери-

ментальные исследования [16,53], которые позволили однозначно подтвердить эффективность криогенной обработки алмазного породоразрушающего инструмента. Исследования проводились совместно с ПГО "Кировгеология" и "Севукргеология". Объектом исследований была выбрана партия алмазных коронок (150 шт.) типа О2ИЗГК150К60 диаметром 59 мм. Все коронки были разбиты на три группы: первая группа коронок прошла предварительную электрохимическую заточку, затем подвергалась криогенной обработке; вторая - прошла только криогенную обработку; третья - использовалась в качестве базы для сравнения. Отработка коронок проводилась при бурении скважин в породах, представленных гранитами, альбититами и сиенитами IX-X категорий по буримости. Сводные результаты испытаний заносились в накопительные ведомости и затем подвергались статистической обработке. Расчеты статистических оценок и результатов испытаний коронок приведены в табл. 1.11

Таблица 1.11. Результаты отработки коронок ВИТРОМ

Показатели	Электрохимическая заточка и криогенная обработка				Криогенная обработка				База сравнения			
	\bar{X}	σ	σ^2	V	\bar{X}	σ	σ^2	V	\bar{X}	σ	σ^2	V
Ресурс коронок, м	12,97	3,61	13,03	27,8	13,68	4,06	16,48	2,97	11,93	3,95	15,60	33,10
Механическая скорость бурения, м/ч	3,55	0,37	0,13	10,4	3,29	0,33	0,10	10,3	3,21	0,38	0,14	11,84
Удельный расход алмазов, кар/м	0,97	0,30	0,09	31,0	0,94	0,33	0,10	35,2	1,05	0,30	0,10	28,60
Углубка зарейс, м	6,13	1,49	2,22	24,3	6,50	1,46	2,13	22,5	6,33	1,61	2,60	26,40

Примечание. \bar{X} - эксплуатационные показатели; σ - стандартные отклонения;

σ^2 - дисперсии; V - коэффициент вариации.

Выполнены анализ значений коэффициентов вариации свидетельствует о невысокой степени их изменения, что говорит об

однородности исследуемых совокупностей и достаточно точном отображении средних величин варьируемых признаков. Проведенные на хорошем методическом уровне исследования позволили оценить с высокой точностью эффективность криогенной обработки алмазного породоразрушающего инструмента. Так, для коронок типа 02ИЗГК50К60 ресурс повысился на 14,6%, удельный расход алмазов снизился на 11,8% [53].

Большой объем исследований и испытаний в производственных условиях алмазных коронок различных типов (около 4000 шт.), прошедших криогенную обработку, выполнен в Кайраккумской ГРЭ [16]. Испытания здесь проводились путем сопоставления фактического расхода коронок на 1 м скважин в базовый (без криогенной обработки) и экспериментальный периоды, которые длились по одному году.

Принятая методика испытаний позволила исключить влияние неизученных факторов, а проходка на коронку и расход алмазов оценены с достаточно высокой степенью надежности - 0,8 (табл. 1.12).

Таблица 1.12. Результаты сравнительных испытаний алмазных коронок в Кайраккумской ГРЭ

Типоразмер коронок	Количество отработанных коронок, шт.	Проходка на коронку, м.	Увеличение проходки, %	Расход алмазов, кар/м	Снижение расхода алмазов, %
К-08-59	212/295	25,7/28,5	10,9	0,68/0,57	19,3
К-01—1-59	188/88	37,2/41,3	11,0	0,25/0,22	13,6
БС-03-59	313/136	6,7/12,8	91,0	3,08/1,62	90,1
02И4Д-59	81/26	9,2/17,9	94,5	1,25/0,64	95,3
01А3СВ-59	140/101	13,5/15,6	15,5	0,59/0,53	11,3
К-41-76	216/214	8,9/11,9	33,7	2,25/1,70	32,3
К-45-76	75/151	11,1/11,6	4,5	2,10/1,82	15,4
К-16-76	206/27	15,3/22,7	48,3	1,28/0,86	48,8
К-01-76	31/53	15,8/21,1	33,5	0,71/0,52	36,5
А4ДП-76-2	14/10	6,9/9,3	34,7	1,53/1,17	30,7

Примечание. В числителе показатели для базовых коронок, в знаменателе – для опытных.

Бурение плановых скважин глубиной 800-0200 м осуществлялось в породах со средней категорией 9,4-9,7. Для бурения использовались,

главным образом, снаряды ССК-59 и КССК-76. Результаты испытаний свидетельствуют о том, что криогенная обработка позволила повысить износостойкость коронок 16 из 20 испытанных типов.

Таким образом, анализ приведённых результатов алмазных коронок, обработанных жидким азотом, свидетельствует о заметном повышении их ресурса и некотором увеличении механической скорости бурения как ССК (КССК) так и ОС в различных геолого-технических условиях. Повышение эксплуатационных показателей приводит к существенному снижению расходов алмазов и стоимости бурения. Однако при бурении в твёрдых и очень твёрдых ресурс коронок значительно уменьшается.

В ТулГУ и АО «Тульское НИГП» были проведены [57] исследования остаточных напряжений в структурных характеристиках матрицы алмазных коронок после термоудара и установлено, что термоудар является комплексным видом термической обработки матриц алмазных коронок. Разработаны три варианта термоудара: обработка в жидком азоте (термоудар от 20 до -196°C), термоудар от 350 до 20°C и комплексная термообработка: термоудар от 350 до 20°C с последующим охлаждением в жидком азоте от 20 до -196°C .

Экспериментальное бурение алмазными коронками, подвергнутыми комплексному термоудару, было проведено [7,9] в Центрально-Кольской ГРЭ. При этом было установлено, что износостойкость коронок после комплексной термообработки выше базовых на 21,5% при бурении пород VIII-IX категории.

Также в ТулНИГП было установлено, что резцы из природных и синтетических алмазов имеют большое количество микрорезцов в виде выступов, рёбер вершин. Наличие этих микровыступов способствует при взаимодействии зерна с породой её эффективному разрушению, а термическая обработка алмазов обуславливает сохранение природных

микровыступов на алмазном зерне в течение длительного времени бурения коронкой, что способствует повышению механической скорости бурения [7].

Значительное уменьшение износа алмазных коронок после термоудара по данным производственных испытаний указывает на превалирующее влияние сохраняющихся остаточных напряжений. В связи с этим представляется, что для повышения эффективности криогенной обработки необходимо экспериментальное определение рациональной начальной температуры T_H при заданной величине конечной температуры T_K .

Таким образом, в производственных и научно-исследовательских предприятиях выполнены значительные объёмы лабораторных исследований, и производственных испытаний алмазных коронок, подвергнутых криогенной обработке и получены при этом положительные результаты по повышению эксплуатационных показателей породоразрушающего инструмента. Однако для более широкого внедрения криогенной обработки в геологоразведочное производство необходимо решение целого ряда вопросов: установление рациональных режимов криогенной обработки (время обработки инструмента, расход жидкого азота), определение рациональной начальной температуры термообработки и изучение влияния этих факторов на формирование напряжённого состояния в матрице и алмазах с учётом релаксации напряжений.

1.4. Обзор технологий повышения качества природных алмазов.

Зарубежный опыт.

С целью повышения качества низкосортных природных алмазов в зарубежной и отечественной практике разработан ряд технологических процессов. При искусственной обработке алмазным зёрнам придаёт изометрическую и овальные формы, отбраковывают дефектные алмазы, полируют и металлизуют их поверхность, повышают прочность алмазов путём термообработки и радиационного облучения. Наибольшее

распространение получил процесс избирательного дробления алмазов. Улучшение качества низкосортных алмазов было впервые проведено в 1959 году в Южно-Африканском институте горного дела и металлургии. Алмазы неправильной формы предварительно проверялись на прочность, отсутствие трещин и повышенных внутренних напряжений, после чего им придавалась округлая форма с чистой полированной поверхностью [1]. Некоторые особенности процесса и установки для полирования поверхности алмазов кратко изложены в патентах США. Предметом изобретения является способ дробления и полировки поверхности алмазов. В результате получают полированные алмазы, обладающие высокими экспериментальными качествами, известные в зарубежной промышленности под названием «буровой материал первого сорта» и стоимостью 7 долларов за карат [23].

Аналогичной обработкой низкосортного алмазного сырья занимается известная шведская фирма «Диамантбергборинг».

Литературные источники и широкое применение за рубежом коронок, армированных овализованными алмазами, подтверждают экономичность искусственного улучшения низкосортных алмазов.

Отечественный опыт обработки алмазов.

Избирательное дробление низкосортных алмазов производится для придания зёрнам изометрической формы и отбраковки трещиноватых разностей. Зёрна со значительными дефектами структуры раскалывают по направлению трещин, по инородным включениям и по ослабленным зонам внутренних напряжений. При изготовлении породоразрушающего инструмента дроблёные зёрна используют для оснащения объёмного слоя [16]. В ВИТРе (г. Санкт-Петербург) разработана отечественная технология этого процесса, где была создана [16, 23] установка УДА-2, показано на рис. 1.4

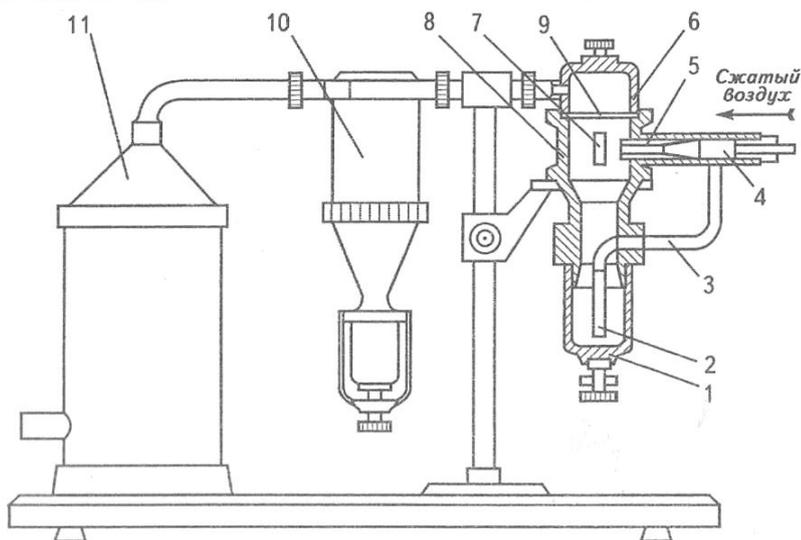


Рис. 1.4. Установка избирательного дробления алмазов

В этой установке в качестве рабочей энергии используется сжатый воздух, подаваемый под давлением ($Q=0,6$ МПа) на вход эжектора. Расход сжатого воздуха составляет $42 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Основные узлы установки: дробильная камера, пульт управления, фильтрующая система, включающая циклон и фильтр тонкой очистки.

Дробильная камера выполнена в виде стального цилиндра - корпуса 8, с крышкой 6. К нижней части корпуса камеры прикрепляется загрузочный стан 1, а верхняя часть соединяется с фильтрующей системой через патрубок. Внутри корпуса установлен сменный экран 7, представляющий собой стальную калёную или металлокерамическую пластину. Против экрана находится рабочее сопло 5 инжектора, укрепленное на корпусе перпендикулярно его боковой поверхности, а всасывающий штуцер 2 инжектора с помощью резиновой трубки 3 и наконечника соединён с полостью загрузочного станка.

Фильтрующая система установки включает в себя комбинированный сетчатый фильтр 9, циклон 10 и мелочный фильтр тонкой очистки 11.

При работе на установке алмазы помещают в загрузочный стакан, а на вход инжектора подают сжатый воздух. Дробильная камера установки рассчитана на одновременную загрузку до 100 каратов алмазов. Прочность алмазов, обработанных на установке УДА-2, возрастает до 30%

по сравнению с прочностью зерён исходного алмазного сырья того же качества.

Недостатком этого технологического процесса являются значительные затруднения при выборе оптимального режима, при котором происходит преимущественно дробление дефектных зерён алмазов, а также малая производительность процесса.

Более совершенным методом обработки материалов является обработка в вихревом слое ферромагнитных частиц.

Созданные в последние годы новые аппараты, использующие принцип вихревого слоя, позволяют интенсифицировать целый ряд технологических процессов за счёт комплексного воздействия на обрабатываемые вещества интенсивного перемешивания и диспергирования [34,63,66,71].

Наиболее широко распространён разработанный институтом «НИИЭМАЛЬХИММАШ» аппарат с вихревым слоем для перемешивания сыпучих материалов АВСП -100 (рис. 1.5)

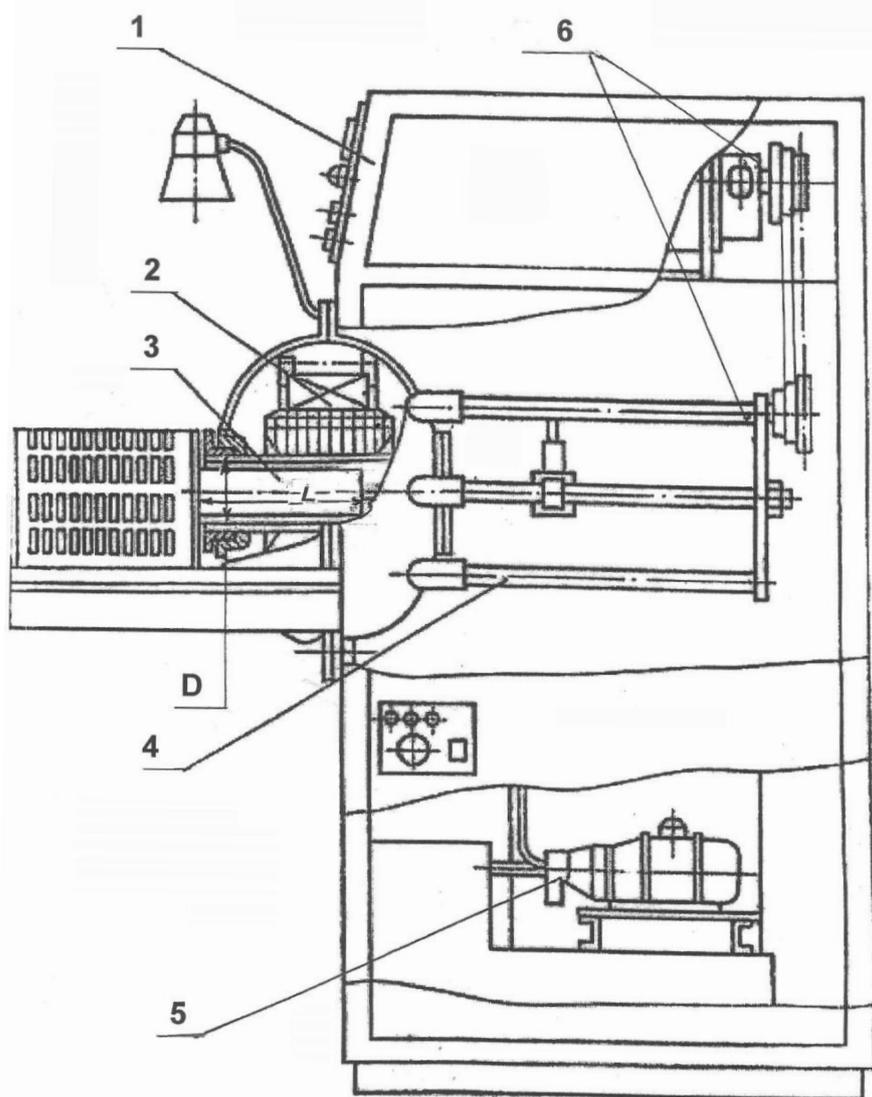


Рис. 1.5 Устройство аппарата АВСП-100

- 1- корпус; 2- индуктор вращающегося электромагнитного поля;
- 3- рабочая ёмкость;
- 4- механизм перемещения рабочей ёмкости;
- 5 – насос; 6- шкивы

При внесении [44] ферромагнитных неравноосных частиц во вращающееся электромагнитное поле достаточной напряжённости (индукция 0,12-0,15Т) они приходят в сложное движение, создавая своеобразный вихревой слой [45].

Когда ферромагнитные частицы намагничены до насыщения, то их можно рассматривать как элементарные магниты или магнитные диполи. Тогда на частицу как диполь во вращающемся с угловой скоростью « ω » электромагнитном поле напряжённостью H действует пара сил,

стремящаяся повернуть её в направление вектора внешнего электромагнитного поля [5,44,75]. Момент этой пары

$$M_{ep.} = M \cdot H \sin \varphi , \quad (1.1)$$

где M - магнитный момент частицы;

H – напряжённость тела;

φ - угол между вектором магнитного момента частицы, совпадающим с её наибольшей осью, и вектором напряжённости магнитного поля, рад.

Под действием вращающегося момента ферромагнитные частицы вращаются с угловой скоростью $\omega_{абс}$. В неподвижной системе координат угловая скорость вращения частицы равна сумме относительной и переносной скорости [5].

$$\omega_{абс.} = \omega_{отн.} + \omega_{пер.} \quad (1.2)$$

Экспериментами установлено, что переменная скорость вращения частицы практически равна скорости вращения внешнего магнитного поля

$\omega_{пер.} = \omega$, тогда перепишем (1.2) в виде

$$\omega_{абс.} = \omega_{отн.} + \omega \quad (1.3)$$

Если ферромагнитные частицы намагничены до насыщения, то её магнитный момент [5].

$$M = J_s \cdot V \quad (1.4)$$

где J_s - магнитный момент единицы объёма частицы при насыщении;

V - объём частицы при насыщении, м³.

Из уравнений (1.1), (1.2), (1.3) следует, что неравноосная ферромагнитная частица в одинарном вращающемся с постоянной угловой скоростью электромагнитном поле движется с переменной угловой скоростью, совершая колебания относительно вектора

напряжённости магнитного поля с частотой, зависящей от величины момента инерции частицы.

В институте ВНИИАЛМАЗ (г. Москва), ВНИИСИМСе и ИСМ АН УССР проводились отдельные эксперименты по обработке алмазов в аппарате вихревого слоя преимущественно с синтетическими и природными алмазами пониженной крупности 500 микрон и менее [44,73]. При этом установлено, что с увеличением времени обработки алмазов изометричность их зерён повышается. Однако исследователи не приводят значений режимных параметров обработки алмазов [21].

Значительный объём исследований по обработке материалов в аппарате вихревого слоя выполнены [44] в институте «НИИЭМАЛЬ-ХИММАШ» (г. Полтава). В этом институте были созданы аппараты вихревого слоя различного назначения, например АВСП-100, введены некоторые понятия ранее не применяемые в машиностроении.

Предложены следующие новые понятия: рабочая зона камеры, под которой подразумевается участок камеры, ограниченный действием электромагнитного поля, достаточного для приведения в движение электромагнитных частиц; коэффициент K заполнения рабочей зоны камеры ферромагнитными частицами, который равен отношению суммарного объёма ферромагнитных частиц в вихревом слое к объёму рабочей зоны камеры [44, 45].

$K_{кр}$ – критический коэффициент, который равен отношению максимально возможного объёма ферромагнитных частиц в вихревом слое (при котором последний ещё существует) к объёму рабочей зоны камеры, параметрический критерий подобия ферромагнитных частиц (l/d), который равен отношению длины частицы к её диаметру. В настоящей работе эти термины используются в таком виде, как впервые появились в технической литературе.

В работах [5,44] показано, что движение ферромагнитных частиц начинается при достижении индукции в рабочей камере не менее 0,08Т.

При этом мелкие частицы, например опилки, намагничивались, притягиваются друг к другу и образуют цепочки, вытянутые в направлении вектора напряжённости магнитного поля и вращающиеся за полем вокруг общей оси. Цепочки существуют доли секунды. На рис.1.6 показан характер движения ферромагнитных частиц в слое.

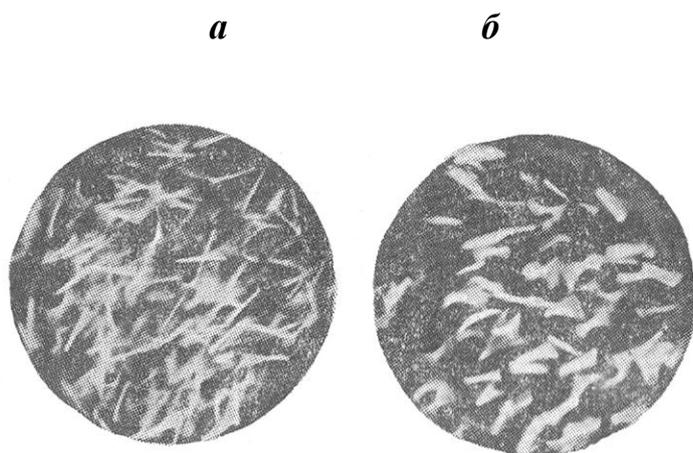


Рис. 1.6. Характер движения ферромагнитных частиц в слое:
a- образование цепочек;
б- вращательное движение отдельных частиц

Исследованиями установлено [44], что движение ферромагнитных частиц в вихревом слое возможно, только до определённой степени заполнения рабочей зоны камеры этими частицами, при которой все частицы одновременно прекращают движение, образуя ряд определённо расположенных дисков рис.1.7.

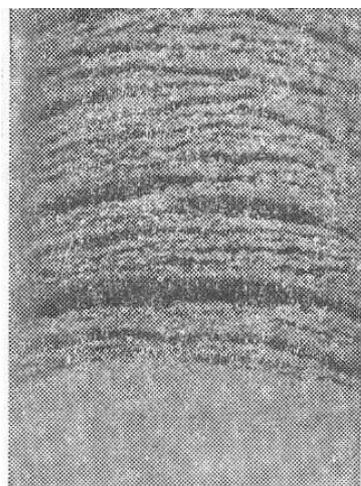


Рис. 1.7. Диски, образованные ферромагнитными частицами при коэффициенте заполнения камеры этими частицами выше $K_{кр}$

При этом условия прекращения движения ферромагнитных частиц может служить критический коэффициент заполнения рабочего объема камеры этими частицами $K_{кр}$. [14,44], который можно представить в виде

$$K_{кр} = \frac{V_q}{V_k}, \quad (1.5)$$

где V_q - суммарный объем всех ферромагнитных частиц, при котором они прекращают движение;

V_k - внутренний объем камеры, находящейся в зоне действия вращающегося магнитного поля.

В институте «НИИЭМАЛЬХИММАШ» провели исследования [44,45] зависимости $K_{кр}$ от параметрического подобия и объема ферромагнитных частиц.

На рис. 1.8 приведены зависимости $K_{кр}$ ферромагнитных частиц никеля от параметрического критерия подобия частиц.

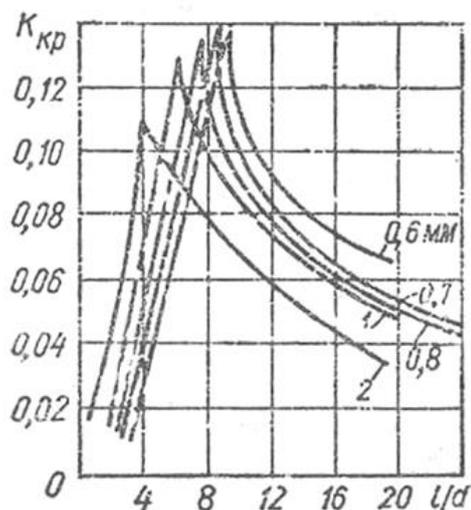


Рис. 1.8. Зависимость $K_{кр}$ от соотношения l/d частиц никеля в воздухе для различных диаметров частиц

Из графика рис.1.8 следует, что для каждого диаметра частиц существует такое соотношение l/d , при котором $K_{кр}$ имеет максимальное значение. При этом с уменьшением диаметра частиц значение $K_{кр}$ возрастает.

В АО «Тульское НИГП» разработан способ избирательного дробления алмазов по авторскому патенту на изобретение № 2 492 138. Этот способ заключается в обработке избирательного дробления алмазов, заключающейся в обработке в цилиндрической ёмкости алмазов в вихревом слое магнитных полей совместно с ферромагнитными частицами, отличающейся тем, что смесь, состоящая из ферромагнитных частиц и алмазных зёрен заполняет цилиндрическую ёмкость на 0,25-0,35 её объёма, а магнитная восприимчивость алмазов определяется по установленной зависимости.

При этом отношение массы алмазных зёрен к массе ферромагнитных частиц составляет $0,51 \div 0,61$.

Однако этот способ более эффективен для перемешивания сыпучих материалов (твёрдосплавных порошков для изготовления матриц коронок), так как при нём возможно намагничивание частиц материала.

Одним из методов интенсификации процессов является обработка в вихревом слое ферромагнитных частиц, этот метод опробован отдельными производственными и научно-исследовательскими организациями, однако ещё не разработаны способы и процессы безотходного избирательного дробления алмазов.

Термическая обработка алмазов

Значительный объём исследований при термической обработке алмазов выполнен в ЦНИГЛ ГОХРАНа СССР под руководством Н.И. Коринолова [30].

Были исследованы достаточно представительные партии алмазного сырья в широком диапазоне температур – от 800 до 1200⁰С в четырёх различных средах (табл. 1.13)

Таблица 1.13. Результаты определения статической прочности алмазов при обработке их в различных средах (по Корнилову)

Температура отжига алмазов, °С	Среда	Средняя прочность, даН	Прирост прочности		Окисление, %	Графитизация, %
			даН	%		
800	Азот	57	10	21	0,8	-
900		58	11	24	0,8	-
1000		55	8	16	0,7	0,07
1100		52	5	11	1,4	0,11
1200		54	7	15	1,9	0,23
800	Аргон	54	7	15	0,07	
900		54	7	15	0,08	
1000		55	8	17	0,12	
1100		55	8	17	0,51	
1200		57	10	20	0,85	
800	Водород	53	6	12	не определялись	
900		51	4	9		
1000		52	5	11		
1100		53	6	12		
1200		52	5	11		
800	Вакуум	49	2	4	0,20	не определялись
900		55	8	17	0,18	
1000		52	5	11	0,18	-
1100		45	-2	-4	0,27	-
1200		48	1	1	10,9	-

Примечание. Средняя прочность при определённой температуре – среднеарифметическое значение из четырёх показаний прочности алмазов с различными выдержками (30,60,90,120 мин.).

Партия алмазов XXXV группы, зернистостью 60-40 шт/кар была предварительно рассортирована на несветящиеся в ультрафиолете и люминесцирующие голубым и слабо сиреневым цветами. Для каждого опыта бралась навеска алмазов количеством 75 шт.: нелюминесцирующих - 20, с голубой люминесценцией - 25 и с сиреновой - 30. Термообработка алмазов производилась при температурах 800, 900, 1000, 1100 и 1200°С с выдержкой 30, 60, 90 и 120 мин. После этого определялась статическая прочность кристаллов на разрывной машине в соответствии с методикой ГОСТа 920670: «Порошки алмазные».

Прочность алмазов до термической обработки, определенная по той же методике, составляет 47 даН, Потеря массы кристаллов при нагреве (окисление) определялось по разнице массы до и после термообработки, Графитизация алмазов оценивалась по разнице массы термообработанных кристаллов до и после химической очистки.

Как следует из приведенных данных, наибольший прирост прочности был получен при обработке алмазов в среде азота при температуре 900°С. При повышении температуры отжига до 1200°С прочность алмазов постепенно уменьшается. Закономерности изменения прочности алмазов от времени выдержки не было замечено.

Для уточнения влияния различных видов термической обработки алмазного инструмента, принятых в ТулНИГП, на прочность алмазов они были испытаны в ИФВД РАН. Результаты испытаний приведены в табл. 1.14

Таблица 1.14 Результаты испытаний на прочность монокристаллов алмазов группы XV2a-1 (60-40 шт/кар.)

Вид обработки	Количество, шт.	Средняя нагрузка разрушения, Н	Повышение прочности относительно базовых, %
Необработанные алмазы (база сравнения)	50	1870	100,0
Обработанные в жидком азоте (термоудар от 20 до -196°С)	50	1880	100,5
Термоудар от 350 до -20°С	50	2040	109,1
Комплексная термообработка: термоудар от 350 до -20°С с последующим	50	2150	115,0

охлаждением в жидком азоте от 20 до -196°С			
--	--	--	--

Результаты этих испытаний показывают, что максимальное увеличение прочности алмазов (15%) достигается после комплексной термообработки.

Влияние криогенной обработки на изменение свойств синтетических алмазов и эффективность их применения в буровом инструменте исследовали в ИСМ АН УССР В.Н. Ткач и А.М. Исонкин. Объектом исследований были синтетические термостойкие алмазы АС 160Т зернистостью 355/300 мм. Было установлено, что после криогенной обработки происходит повышение статической прочности синтетических алмазов, вызванное необратимым изменением исходного напряжённо-деформированного состояния кристаллов, обусловленное упорядочением дефектной структурой кристаллической решётки.

1.5. Выводы по главе 1

1. На основании выполненного анализа литературных источников в области теории и практики алмазного бурения снарядами со съёмными керноприёмниками (ССК и КССК) и ОС можно отметить, что проблеме алмазного бурения геологоразведочных скважин в породах различной твёрдости в целом посвящено много работ отечественных и зарубежных исследователей. Если при алмазном бурении в породах средней твёрдости средняя проходка на коронку составляет несколько сотен метров, (а максимальная проходка составила 1046,8 м), то при проходке твёрдых и очень твёрдых пород средний ресурс на коронку едва достигает 3х – 5ти десятков метров. Зарубежными фирмами не рекомендуется бурение ССК в весьма твёрдых породах из-за недостаточной стойкости алмазных коронок.

Поэтому совершенствование алмазного породоразрушающего инструмента для ССК и ОС и технологии бурения им в твёрдых и очень твёрдых породах является одним из важнейших направлений научно-технического прогресса в области колонкового бурения.

2. Исследованиями по предварительной обработке алмазов пониженного качества занимались многие научно-исследовательские организации и отдельные исследователи, как в России, так и за рубежом. Однако до настоящего времени не разработаны способы и процессы безотходного избирательного дробления алмазов с получением таких фракций алмазного сырья, которое полностью используется при изготовлении породоразрушающего инструмента.

3. Аппараты на основе использования принципа вихревого слоя позволяют интенсифицировать целый ряд технологических процессов, но при обработке алмазов пока ещё применяются в основном в единичных случаях на стадиях лабораторных исследований.

Широкое применение при производстве алмазного сдерживается отсутствием рекомендаций по выбору рациональной формы ферромагнитного элемента, коэффициента заполнения рабочей камеры смесью ферромагнитных элементов и алмазов, времени обработки в вихревом слое.

3. Отечественными исследователями разработана технология криогенной обработки алмазного породоразрушающего инструмента. Она является вариантом такого вида термической обработки как термоудар. Разработаны три варианта термоудара: обработка в жидком азоте (термоудар от 20 до -196°C), термоудар от 350 до 20°C и комплексная термообработка: термоудар от 350 до 20°C с последующим охлаждением в жидком азоте от 20 до -196°C . Однако не установлено рациональное время термообработки инструмента и не до конца выяснён механизм формирования остаточных напряжений в результате термоудара и изменения их в материале матрицы в процессе релаксации

(самопроизвольное уменьшение), что особо важно при подборе составов композиционных матриц и определения рациональных сроков дополнительной термообработки их.

4. Важными конструктивными параметрами алмазных коронок, определяющими в первую очередь их область применения, являются твёрдость матрицы коронки, качество заложенных в матрицу алмазов, насыщенность матрицы алмазами, зернистость алмазов, выпуск алмазов из матрицы, толщина матрицы коронки, а также геометрия промывочной системы.

Основное значение для коронок, предназначенных для бурения в твёрдых и очень твёрдых горных породах имеют следующие параметры: твёрдость, толщина матрицы, качество используемых в ней алмазов и насыщенность матрицы алмазами.

5. В АО «Тулское НИГП» и ИСМ АН УССР установлено, что после криогенной обработки алмазов происходит повышение статической прочности их, вызванное необратимым изменением исходного напряжённо-деформированного состояния кристаллов.

1.6. Постановка задач исследований

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач.

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта алмазного бурения геологоразведочных скважин ССК (КССК) и ОС.

2. Исследования и моделирование износа алмазных буровых коронок.

3. Исследование движения ферромагнитных элементов и частиц дробимого материала в вихревом слое аппарата АВСП-100

4. Выбор состава матриц алмазных коронок.

5. Исследование остаточных напряжений композиционных матриц коронок с учетом релаксации после термообработки.

6. Модернизация конструкций алмазных коронок и их опробование в стендовых и производственных условиях.

Глава 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

С целью решения поставленных задач использовался комплексный метод исследований, сочетающий в себе теоретические и экспериментальные исследования, а также опытно-конструкторские и технологические работы, лабораторные и производственные испытания.

2.1. Теоретические исследования

Теоретические исследования были связаны с анализом энергетических зависимостей разрушения твердого тела для определения скорости частицы необходимой для ее разрушения при столкновении с преградой. В результате анализа зависимостей механики деформированного твердого тела найдено выражение для определения ожидаемого уровня остаточного напряжения в матрице коронки. На основе теоретического рассмотрения условия разрушения горной породы алмазной коронкой найдена зависимость для определения рационального диаметра алмазного зерна в объемном слое коронки.

2.2. Экспериментальные исследования

Изучение физико-механических свойств горных пород

С целью проведения изучения физико-механических свойств горных пород были использованы, имеющиеся в АО «Тульское НИГП», образцы наиболее характерных горных пород, поступившие из ООО «Норильскгеология».

Норильский никеленосный район расположен на Северо-Западной окраине Сибирской платформы. Она сформирована [69] из осадочных и вулканогенно-осадочных образований верхнего протерозоя, карбонатно-глинистых, сульфатных, галогенных осадков кембрия, ордовика, силура, девона карбона, туфолавовых образований пермо-триаса и пород четвертичного времени (рис. 2.1).

Наибольший объём испытаний алмазного инструмента выполнен на объектах разведки Талнахского и Октябрьского месторождений. Оба месторождения генетически связаны со сложным по морфологии Талнахским интрузивом габбро-долеритов, имеющим несколько ветвей, залегающих этажно в породах морского палеозоя и терригенных отложений Тунгусской серии. К ветви интрузива, залегающего в отложениях девона, приурочено Октябрьское месторождение, а к ветви, залегающей в отложениях Тунгусской серии - Талнахское.

Буримые горные породы представлены в основном базальтами различного состава, туфами, диабазами, роговиками, известняками, долеритами, мергелями, аргиллитами, алевролитами, габродолеритами, габбро. Эти породы твёрдые, трещиноватые и окварцованные и относятся преимущественно к VIII-X категории по буримости [прил. Б]. По трещиноватости породы относятся к I-III группам горных пород по трещиноватости по классификации П.П. Пономарёва [51], то есть это монолитные, слаботрещиноватые и трещиноватые горные породы.

Основными физико-механическими свойствами горных пород являются твёрдость и абразивность. Они изучались автором в лаборатории АО «Тульское научно-исследовательское геологическое предприятие».

Твёрдость определялась по методу проф. Шрейнера Л.А. [78]. При данном методе использовалась полуавтоматическая установка УМП-3. Твёрдость горной породы $P_{ш}$ (табл. 2.1) определялась по формуле

$$P_{ш} = \frac{P}{S}, \quad (2.1)$$

где P - нагрузка, соответствующая пределу прочности на вдавливание, н;

S - рабочая площадь штампа, м²;

Нагрузка P определялась по диаграмме деформаций по величине ординаты, соответствующей максимальной нагрузке на штамп, измеренной в соответствующем масштабе.

При определении твёрдости горных пород на приборе УМП-3. использовались штампы с рабочей площадью 0,9-1,5 мм².

Система	Геологическая колонка	Мощность	Краткая характеристика пород
Четвертичная		200	Алевриты, суглинки, валуны, галька
Триас		3945	Толеитовые, порфиоровые, афировые базальты с прослоями туфов и туффитов
Пермь		566	Алевриты, аргиллиты, песчаники, угли
Карбон		150	Известняки, аргиллиты, алевриты, песчаники
Девон		1830	Известняки, доломиты, аргиллиты, мергели, алевриты, ангидриты, гипсы
Силур		790	Доломиты, известняки, сланцы, аргиллиты
Ордовик		1000	Доломиты, окварцованные известняки, аргиллиты, алевриты, гипсы, ангидриты
Кембрий		1770	Известняки, окварцованные доломиты, мергели
Протерозой		1520	Кварцевые архозовые песчаники, аргиллиты, алевриты, доломиты, известняки, гипсы, ангидриты

Рис. 2.1. Геологическая колонка с краткой характеристикой горных пород

Таблица 2.1. Показатели свойств горных пород

<i>Наименование горных пород</i>	<i>F_д</i>	<i>Кабр.</i>	<i>ρ_м</i>	<i>Категория пород по буримости</i>	<i>Твёрдость по Л.А. Шрейнеру R_ш, МПа</i>
Известняк окварцованный	13,30	1,16	21,0	VIII	3961
Габрооливин	8,33	1,77	22,41	VIII	3972
Алевролит окремнённый	9,09	1,52	26,66	IX	4591
Диабаз окварцованный	9,52	1,63	29,68	IX	4812
Роговик	15,38	1,1	42,12	X	5814
Песчаник	8,33	1,13	21,19	VIII	3851
Доломит	9,54	1,64	36,92	X	5251
Габбро-долерит	8,45	1,15	21,05	VIII	3845
Базальт	9,51	1,62	29,18	VIII	3912

Испытания горных пород на абразивность и динамическую прочность (F_d) с определением объединённого показателя буримости ρ_m производилось по методу ЦНИГРИ [75] (по ОСТ 41-89-74). Изучение абразивности горных пород производилось с помощью прибора ПОАП-2М (рис. 2.2). При этом определялась потери массы свинцовых шариков.

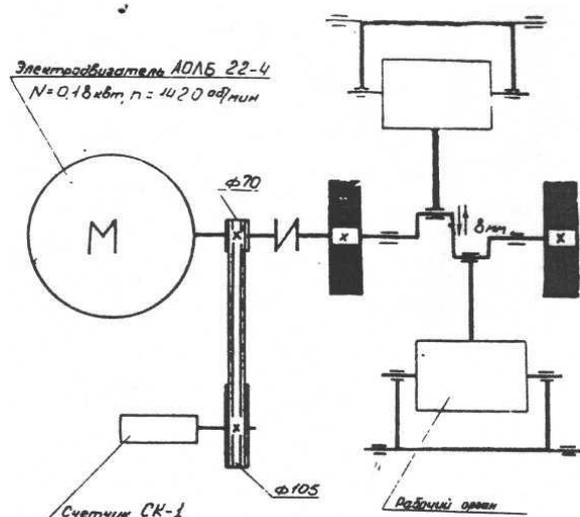


Рис. 2.2. Кинематическая схема прибора ПОАП-2М [40]

При взаимодействии с разрушенной

породой, размер фракции которой составляет 0,5 мм и менее. При этом коэффициент абразивности определяется по зависимости

$$K_{абр.} = \frac{Q}{100}, \quad (2.2)$$

где Q - потеря массы истираемого материала свинцовых шариков, мг.

Результатов испытаний образцов горных пород с объектов ООО «Норильскгеология» на абразивность и динамическую прочность с определением объединённого показателя буримости, а также определение твёрдости пород по штампу показывает, что горные породы геологических разрезов объектов бурения преимущественно относятся к породам твёрдых и очень твёрдым в соответствии с классификаторами пород по буримости (табл. 1.2).

2.3. Стендовые испытания алмазных коронок.

Стендовые испытания алмазных коронок проводились на специальном буровом стенде (рис.2.3.), состоящим из рамы бурового станка ЗИФ-650А 1; рамы стенда 2 и искусственного забоя 3. Частота вращения шпинделя бурового станка ЗИФ-650А 87-800 об/мин. Подача промывочной жидкости (технической воды) осуществлялась с помощью насосной установки НБ 63/4 Искусственный забой, состоящий из трубы – кондуктора с отводом для удаления проточной промывочной жидкости и искусственного блока породы, включающего цементированные куски керна. Куски керна перед цементацией устанавливались под определённым углом к оси скважины, чтобы имитировать как систему трещин в блоке горной породы, так и её монолитное состояние.

Эти испытания проводились с целью изучения износостойкости алмазных коронок и влияния режимных параметров на работоспособность алмазного породоразрушающего инструмента.



***Рис. 2.3. Буровой стенд:
1- буровой станок ЗИФ 650А
2- рама; 3- искусственный забой***

При этих испытаниях сравнение работоспособности опытного алмазного инструмента с его аналогом производилось по показателям проходки, углубки за один оборот и механической скорости бурения. За единичный опыт при стендовых испытаниях принималось бурение при постоянных режимных

параметрах в течение 3-х минут. При этом определялась средне - взвешенное по времени значение механической скорости бурения.

Замеры износа опытных коронок по высоте проводились с помощью микрометра модели 07201, изготовленного заводом «ЛИЗ» (рис.2.4). Микрометр состоит из специальной стойки и измерительной головки с ценой деления 0,001 мм.



Рис. 2.4. Микрометр модели 07201 для замера износа коронки по торцу.

2.4.Криогенная обработка инструмента.

Криогенная обработка инструмента проводилась [7,57] в жидком азоте на специальной установке АО «Тульское НИГП», схема установки показана на рис. 2.5.

Технический жидкий азот (ГОСТ 92193-74) представляет собой бесцветную жидкость с температурой кипения при атмосферном давлении - 196° и плотностью $0,8\text{г/см}^3$ с содержанием кислорода не более 3%.

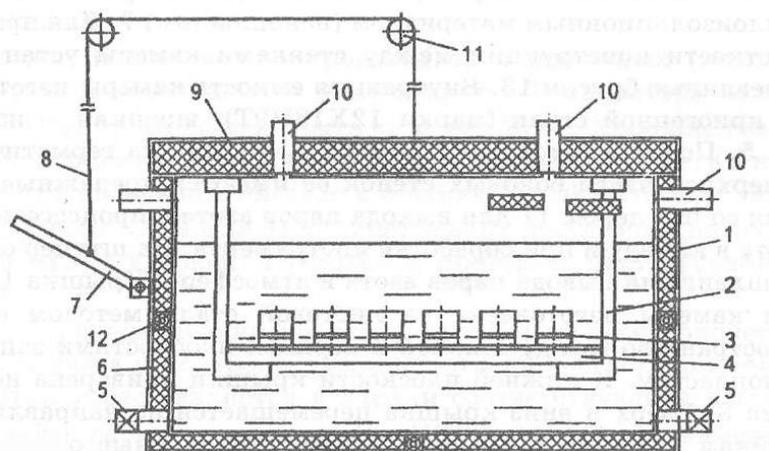


Рис. 2.5 Схема установки УКРО-02 для криогенной обработки породоразрушающего инструмента:

- 1- рабочая камера; 2- несущая рама; 3- обрабатываемый породоразрушающий инструмент; 4- кассета; 5-кран для слива жидкого азота; 6-теплоизоляция; 7-рычаг; 8- канат; 9- крышка; 10- дренажные штуцеры; 11- направляющие ролики;
12- центрирующие деревянные бруски.

Установка обеспечивает производительность криогенной обработки, в зависимости от диаметра инструмента, от 40 до 126 штук в час.

Определение остаточных макронапряжений и внутренних микронапряжений проводились нами в Тульском государственном университете методом рентгеноструктурного анализа с использованием методики обратной съёмки на дифрактомере [57].

Термическая обработка (пропитка) в АО «Тульское НИГП» алмазных коронок и образцов матриц коронок производилась в печи KS 400/10, произведенной в Германии, с потенциометром, позволяющим удерживать заданную температуру нагрева в интервале температур $0-1500^{\circ}\text{C}$, (рис.2.6).

Термообработка вышеуказанного инструмента также производилась на специальной установке, на базе высокочастотного генератора ВЧГ 1-60/0,06644.



Рис. 2.6. Термическая печь производства Германии KS 400/10

2.5. Исследования по упрочнению алмазных зёрен.

Эти исследования проводились с использованием аппарата вихревого слоя АВСП-100. Схема этого аппарата приведена на рис.2.7.

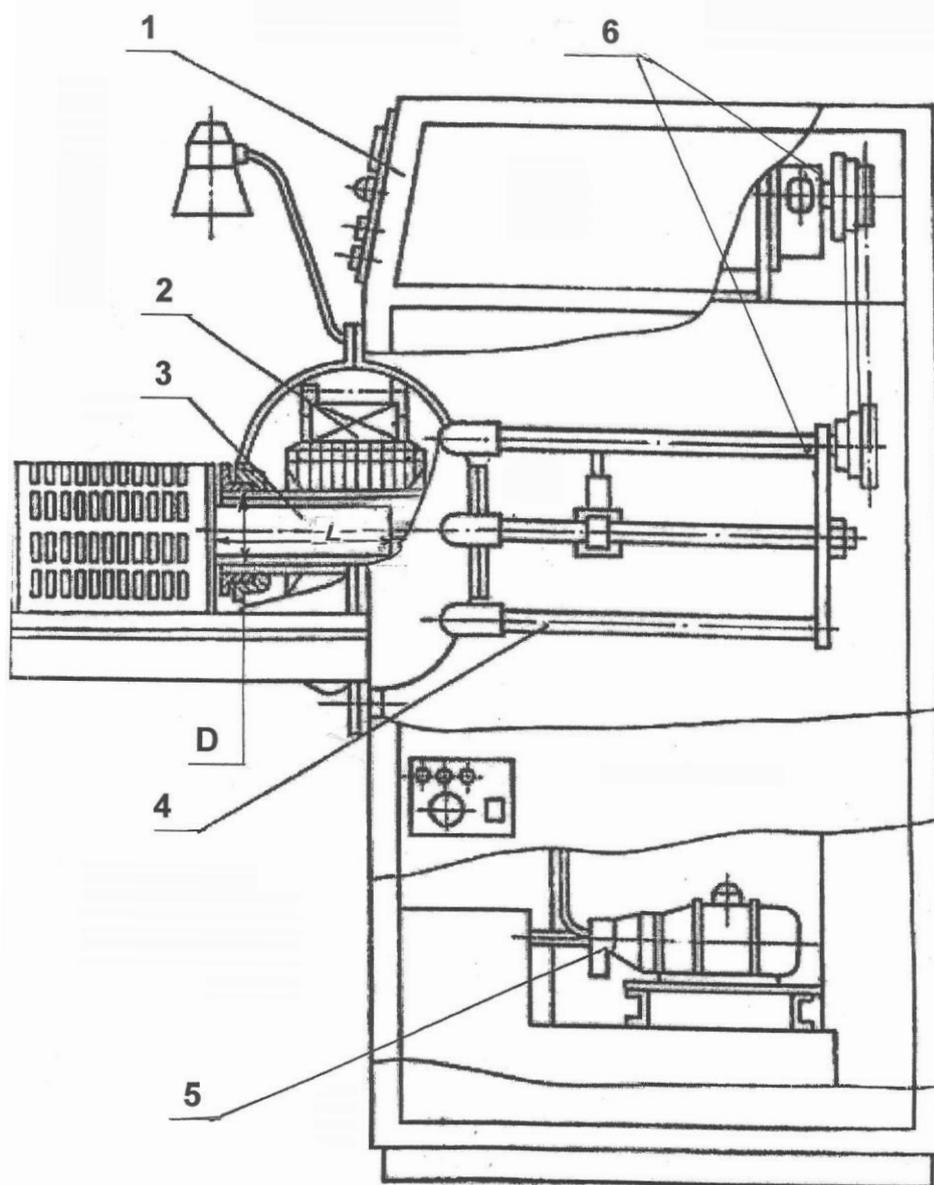


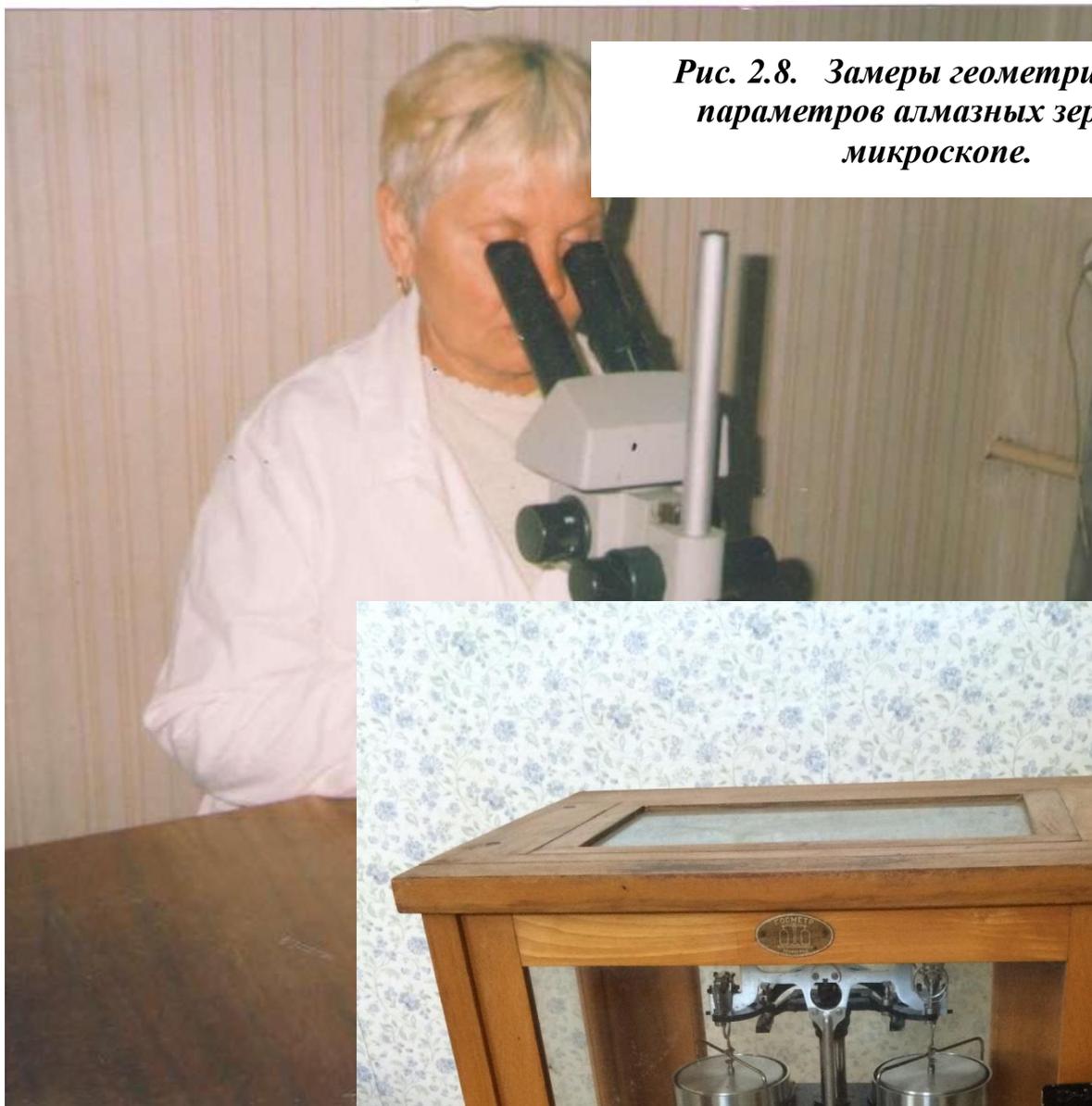
Рис. 2.7. Устройство аппарата АВСП-100

- 1- корпус аппарата; 2- индуктор вращающегося электромагнитного поля;
 3- рабочая ёмкость; 4- механизм перемещения рабочей ёмкости;
 5- маслонасос; 6- валы привода

Алмазное сырьё помещалось в рабочую камеру 3 и при работе аппарата обрабатывалось в вихревом слое электромагнитного поля в течение 2-5 минут.

Рассев алмазного сырья производился с использованием набора лабораторных сит по ТУ 3618-001-39436682-98 производства «ЭКРОС». Изометричность алмазных зёрен изучалась на микроскопе типа МБС-2 с измерительной линейкой (рис. 2.8).

Рис. 2.8. Замеры геометрических параметров алмазных зёрен на микроскопе.



В
ЗВЕШ
ИВАН



ие алмазного сырья и алмазных коронок диаметром 36 мм, а также потери массы дробы при определении абразивности пород производились на аналитических весах 2 класса точности марки АДВ-200 (рис.2.9).

Рис. 2.9. Аналитические весы АДВ-200

2.6. Обработка экспериментальных данных.

Данные результатов экспериментальных исследований подвергались обработке методами математической статистики [2,27,72,77]. При обработке результатов наблюдений был принят следующий порядок операций. Средние данные определялись, как средние арифметические по формуле

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n}, \quad (2.3)$$

где \bar{X} - среднее арифметическое значение показателя;

Xi - значение показателя в определённом опыте;

n - число опытов или показателей при повторении опыта.

Степень разбросов индивидуальных значений показателей вокруг среднего определялась по среднеквадратическому отклонению

$$S = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}, \quad (2.4)$$

Разброс значений признаков, связанный со случайными ошибками, характеризуется коэффициентом вариации, который определяется по формуле [27]

$$V = \frac{\sigma_R}{\bar{X}} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

где σ_R - среднее квадратичное отклонение признака:

$$\sigma_R = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{d_n}, \quad (2.6)$$

где d_n - зависит от n .

Оценка достоверности для всех средних показателей производилась путём определения стандартной ошибки среднего \bar{Sx} , точности среднего ε и нахождения доверительных интервалов среднего по следующим формулам

$$S_{\bar{x}} = \pm \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (2.7)$$

$$\varepsilon = \pm t_L \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (2.8)$$

$$L = \bar{X} \pm \varepsilon, \quad (2.9)$$

где t_L - значение критерия Стьюдента при заданной надёжности;

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 твёрдости материала матриц алмазных коронок надёжность принималась равной 90%. Нахождение параметров эмпирических зависимостей производилось с использованием метода наименьших квадратов [6, 27].

Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ АЛМАЗНОГО ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СНАРЯДОВ СО СЪЁМНЫМИ КЕРНОПРИЁМНИКАМИ И ОДИНАРНЫХ СНАРЯДОВ

3.1. Некоторые аспекты модернизации алмазных коронок при бурении горных пород различной степени твёрдости.

Анализ работоспособности и закономерностей износа алмазных коронок, определение влияния отдельных элементов коронки на её работоспособность в целом, а также ряд экспериментальных работ, направленных на выявление

причин малоэффективной работы коронок в твёрдых и весьма твёрдых породах, позволили разработать предложения по модернизации алмазных коронок для бурения горных пород различной степени твёрдости. Однако создать одну универсальную коронку для бурения твёрдых и очень твёрдых пород практически невозможно, как невозможно ограничиться созданием универсальной коронки для бурения мягких пород.

Основными конструктивными параметрами алмазных коронок, определяющими в первую очередь их специализацию, являются: твёрдость матрицы коронки, толщина матрицы коронки, качество заложенных в матрицу алмазов, насыщенность матрицы алмазами, зернистость алмазов, выпуск алмазов из матрицы, геометрия промывочной системы [31,32].

Таким образом, основными принципами проектирования алмазных коронок для твёрдых и весьма твёрдых пород являются следующее.

1. Коронки для твёрдых и очень твёрдых трещиноватых пород должны иметь более прочную матрицу. Одним из путей упрочнения матрицы коронки является увеличение её толщины и упрочнение объёмной криогенной обработкой.

2. Коронки для твёрдых и очень твёрдых пород должны армироваться более прочными алмазами повышенного качества. Причем в первую очередь более прочными алмазами повышенного качества должны укрепляться передние части секторов коронок, а у толстостенных коронок также и внутренняя поверхность матрицы (периферические алмазы), (это подтверждается также исследованиями П.М. Курочкина, Ю.Е. Будюкова, П.П. Пономарёва).

3. Коронки для твёрдых пород должны иметь умеренную (стандартную) или даже уменьшенную насыщенность матрицы алмазами. Коронки с невысокой насыщенностью рекомендуется использовать в сильнотрещиноватых очень твёрдых породах.

4. Выпуск алмазов из матрицы коронки по мере увеличения степени трещиноватости твёрдых и очень твёрдых пород должен уменьшаться. В сильнотрещиноватых раздробленных твёрдых породах выпуск алмазов из

матрицы должен быть минимальным и составлять не более 10% от диаметра применяемых алмазов.

Поэтому основными направлениями модернизации алмазных коронок для бурения крепких и весьма крепких горных пород должны быть следующие: повышение прочности низкосортных природных алмазов, объёмное упрочнение алмазосодержащей матрицы и создание равномерно изнашиваемой и с высоким ресурсом конструкции породоразрушающей части инструмента.

3.2. Исследования по упрочнению низкосортного алмазного сырья на основе обработке в аппаратах с вихревым слоем.

Известно, что технические алмазы высокого качества применяются в буровых коронках без предварительной обработки, а технические алмазы пониженного качества обязательно подвергаются предварительной обработке с целью разделения по размерам и форме, а также для выделения алмазов с более высокими прочностными свойствами. Исследования по предварительной обработке алмазов проводились на специальных аппаратах институтами: ВИТРОм (Ступкина Л.М., Иванова Л.К.), ВНИИАЛМАЗом (Стихов Л.В., Пивоваров М.С), НИИЭмальхиммаш (Логвиненко Д.Д., Шевяков О.П. Кафаров В.В.), ИСМ АН УССР (Богданов Р.К., Дуб, С.Н. Прихна О.Н.). Указанными институтами проводились исследования преимущественно в области обработки синтетических алмазов. Но более широко и системно эти работы осуществлялись в АО «Тульское НИГП» (Спирин В.И., Власюк В.И., Будюков Ю.Е.) [11,17,50] с применением стандартного аппарата вихревого слоя АВСП-100, главным образом, с природными алмазами на основе полученного патента на изобретение. Анализ проведенных исследований интенсивности диспергирования алмазов показал, что наиболее перспективно для овализации и избирательного дробления алмазов применение аппарата вихревого слоя. Однако сложные физические, химические, механохимические явления, имеющие место в вихревом слое, в том числе и при обработке алмазов, не достаточно изучены, хотя аппараты вихревого слоя уже нашли широкое применение в различных отраслях промышленности, поэтому необходимо

установить и изучить закономерности оваллизации и дробления алмазов в вихревом слое ферромагнитных частиц, чтобы использовать их для повышения производительности и качества указанных процессов.

Для того, чтобы разрушалась частица, необходимо, чтобы её скорость относительно ферромагнитного элемента была достаточной для её разрушения. Однократное разрушение частицы происходит тогда, когда величина кинетической энергии T , затраченной на преодоление внутренних сил сцепления, превышает необходимую для однократного разрушения величину работы

$$T \geq A_p, \quad (3.1)$$

где T – энергия, затраченная на преодоление внутренних сил сцепления, Дж.;

A_p – работа разрушения, Дж..

Выражение (3.1) является условием разрушения частицы. Согласно работе [78] выражение для работы разрушения (A_p) частицы материала имеет вид

$$A_p = \frac{\sigma_p^2 \cdot V}{2E}, \quad (3.2)$$

С учётом того, что

$$V = \frac{m}{\gamma}, \quad (3.3)$$

можно записать

$$A_p = \frac{\sigma_p^2 \cdot m}{2E\gamma}, \quad (3.4)$$

где A_p – работа разрушения, Дж.;

σ_p – предел прочности материала частицы при сжатии, МПа;

V – объём частицы, м³;

E – модуль упругости материала частицы, МПа,

m – масса частицы, кг;

γ – плотность материала частицы, кг/м³.

Величина кинетической энергии, затраченной на преодоление внутренних сил сцепления частицы определяется по зависимости [80]

$$T = \frac{mV_p^2}{2}, \quad (3.5)$$

где V_p - скорость частицы, необходимая для её разрушения при столкновении с преградой, м/с.

С учётом зависимости (3.4) и (3.5) условие (3.1) примет вид

$$\frac{mV_p^2}{2} = \frac{\sigma_p^2 \cdot m}{2E\gamma}, \quad (3.6)$$

Из выражения (3.6) после сокращений и преобразований находим

$$V_p = \sigma_p \sqrt{\frac{1}{E\gamma}}, \quad (3.7)$$

Л.А. Шрейнером установлено [77], что с изменением линейных размеров дробимого тела прочность его на сжатие возрастает

$$\sigma_p^1 = \sigma_p + \frac{a}{\ell}, \quad (3.8)$$

где σ_p^1 - прочность на сжатие с учётом изменения линейных размеров дробимого тела, МПа;

σ_p - прочность на сжатие относительно больших образцов, когда влиянием масштабного фактора можно пренебречь, МПа;

a – постоянный коэффициент, МПа· м (определяется по методике Л.А. Шрейнера);

ℓ – длина частицы, м.

С учётом зависимости (3.8) выражение (3.7) примет вид

$$V_p = \left(\sigma_p + \frac{a}{\ell} \right) \sqrt{\frac{1}{E\gamma}}, \quad (3.9)$$

Из анализа формулы (1) следует, что разрушение частиц материала в результате свободного удара в вихревом слое практически не возможно, так как не достигается необходимая скорость разрушения. По данным американских исследователей (патент США № 369 1130) необходимая скорость разрушения составляет, например, для кварцевого песка – 34 м/с.

Однако скорость движения ферромагнитного элемента, обуславливающего и скорость движения частицы материала в вихревом слое составляют только несколько метров в секунду, как показано исследователями Мирошниченко В.Ф. и Семенюком Н.И. Поэтому в вихревом слое разрушение только за счёт свободного удара маловероятно.

Для оценки возможности эффективного разрушения в аппарате вихревого слоя алмазов нами было предварительно изучено измельчение кварцевого песка (как аналога алмазов). В табл. 3.1 приведён гранулометрический состав кварцевого песка (р. Упа), измельчённого в вихревом слое в течение различного времени. Исходный размер частиц песка + 630 мкм.

Таблица 3.1. Гранулометрический состав кварцевого песка (р.Упа) измельчённого в вихревом слое.

<i>Размер фракций, мкм</i>	<i>Количество песка по фракциям, г/%, при различной продолжительности измельчения, мин.</i>				
	2	4	6	8	10
+630	$\frac{25}{5}$	$\frac{15}{3}$	$\frac{12}{2}$	$\frac{9}{2}$	$\frac{7}{1,0}$
+500	$\frac{73}{15}$	$\frac{50}{10}$	$\frac{34}{7}$	$\frac{38}{8}$	$\frac{40}{8}$
+400	$\frac{125}{25}$	$\frac{74}{15}$	$\frac{44}{9}$	$\frac{30}{6}$	$\frac{28}{6}$
+250	$\frac{176}{35}$	$\frac{136}{27}$	$\frac{119}{24}$	$\frac{170}{34}$	$\frac{180}{36}$
-250	$\frac{101}{20}$	$\frac{225}{45}$	$\frac{291}{58}$	$\frac{253}{50}$	$\frac{245}{49}$
Всего, г/%	500/100	500/100	500/100	500/100	500/100

Как видно из табл. 3.1, несмотря на недостаточные (несколько м/с) скорости движения ферромагнитных элементов в вихревом слое в нём интенсивно идёт измельчение при различной его продолжительности: количество песка в крупных фракциях уменьшается, а в мелких фракциях возрастает.

Следовательно, измельчение идёт не только за счёт свободного, но и за счёт стеснённого удара, то есть между двумя соударяющимися ферромагнитными элементами.

При ударе, случайное положение точки удара относительно оси симметрии сталкивающихся ферромагнитных элементов и малые поверхности контакта способствуют тому, что даже при небольших скоростях столкновения развиваются большие усилия, обуславливающие разрушение материала. В вихревом слое движение ферромагнитных элементов возможно только до определенной степени заполнения рабочей зоны реакционной камеры аппарата этими элементами, при которой все элементы одновременно прекращают движение, образуя ряд параллельно расположенных дисков. Для оценки условий прекращения движения ферромагнитных элементов в аппарате АВСП-100 в НИИЭМАЛЬХИММАШ [44] и АО «Тульское НИГП» предложен критический коэффициент заполнения рабочего объема камеры этими элементами, который определяется из выражения

$$K_{кр} = V_1 / V_2, \quad (3.10)$$

где $K_{кр}$ - критический коэффициент заполнения рабочего объема камеры ферромагнитными элементами;

V_1 - суммарный объем всех ферромагнитных элементов, при котором они прекращают движение, m^3 ;

V_2 - внутренний объем камеры, находящейся в зоне действия вращающегося магнитного поля, m^3 .

Значительное влияние на интенсивность измельчения материалов оказывает коэффициент загрузки в рабочую камеру аппарата АВСП-100 ферромагнитных частиц, определяемый нами как часть от критического коэффициента заполнения рабочего объема камеры ферромагнитными частицами. Нами проведены опыты по определению этого влияния на интенсивность измельчения материала (рис. 3.1), при этом Q - масса кварцевого песка составила $0,5 Q_{кр}$, где $Q_{кр}$ - масса кварцевого песка при заполнении рабочей ёмкости, время - 4 мин., диаметр частиц - 1,4 мм, числа 250 и 315 берутся с минусом.

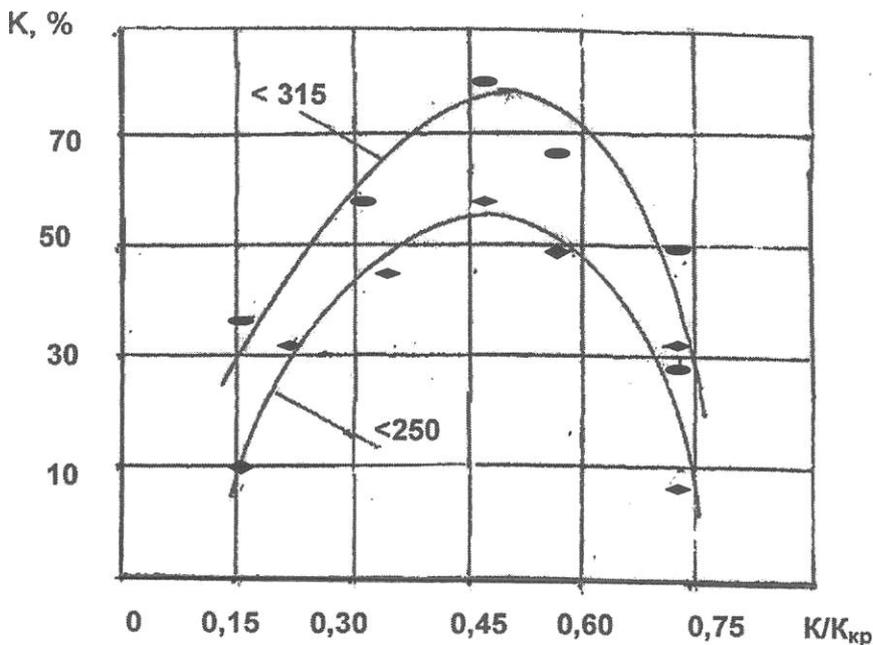


Рис. 3.1. Влияние коэффициента загрузки ферромагнитных элементов на интенсивность диспергирования кварцевого песка (время -4 мин., диаметр элементов - 1,4 мм, $Q=0,5 Q_{кр}$. числа 250 и 315 берутся со знаком минус)

Как видно из рис. 3.1 интервал оптимальных значений величины загрузки рабочей камеры ферромагнитными элементами, полученный при диспергировании кварцевого песка, составляет $(K=0,35-0,55)K_{кр}$.

Важной для нормального протекания процесса измельчения материалов в аппаратах вихревого слоя является зависимость износа ферромагнитных элементов от времени обработки алмазного сырья (рис. 3.2)

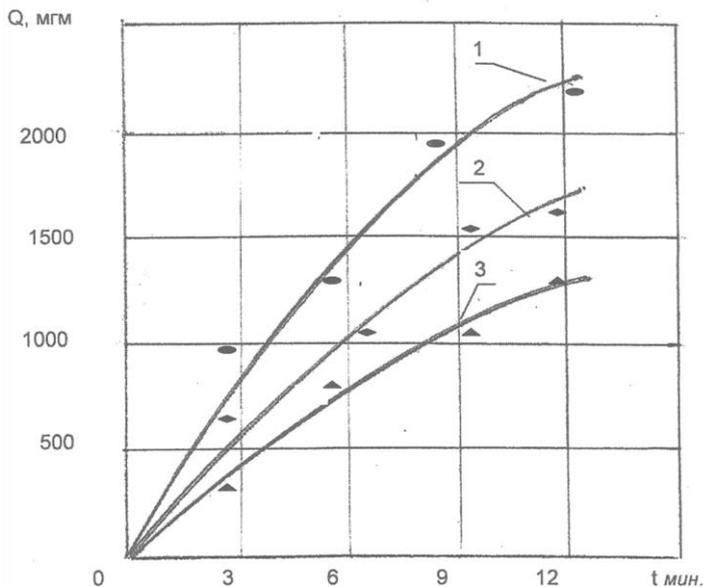


Рис.3.2. Зависимость износа (Q) ферромагнитных элементов различного состава от времени обработки алмазного порошка.
 1- элементы никеля; 2- элементы стали, 65Г;
 3 – элементы углеродной стали по ГОСТ 9389-75

Как видно из графиков (рис. 3.2) наибольшей износостойкостью обладают ферромагнитные элементы, выполненные из углеродистой стали по ГОСТ 9389-75, которые выбраны нами для проведения исследований с природными алмазами.

Также определено, что ферромагнитные элементы имеют форму удлинённых цилиндров изогнутых по кривой, описываемой уравнением

$$Y = \sqrt{x} + \sqrt{4-y}, \quad (3.11)$$

где x - абсцисса в прямоугольных координатах;

y – ордината в прямоугольных координатах.

В целях построения графика функции (3.11) проведёно её исследование согласно работы [6]. Область определения – отрезок $[0; 4]$. Граничные значения функции: при $x=0$ $y=2$; при $x=4$ $y=2$. Точек разрыва нет. Функция неперiodическая, общего вида. Функция нулей не имеет, положительна на всем отрезке $[0; 4]$. Наклонных асимптот нет, так как область определения –

конечный отрезок. Найдём производную функции (3) $y' = \frac{\sqrt{4-x} - \sqrt{x}}{2\sqrt{x} \cdot \sqrt{4-x}}$

Решаем неравенства:

а) $y' > 0$, или $\frac{\sqrt{4-x} - \sqrt{x}}{2\sqrt{x} \cdot \sqrt{4-x}} > 0$ откуда $0 < x < 2$;

б) $y' < 0$, или $\frac{\sqrt{4-x} - \sqrt{x}}{2\sqrt{x} \cdot \sqrt{4-x}} < 0$ откуда $2 < x < 4$.

Приравнивая к нулю производную, находим критическую точку Грода

$$\frac{\sqrt{4-x} - \sqrt{x}}{2\sqrt{x} \cdot \sqrt{4-x}}, \text{ откуда } x=2.$$

Из графиков (рис. 3) следует, что в точке $x=2$ функция имеет максимум. Кроме того, на интервале $]0; 2[$ функция монотонно возрастает, а интервале $]2; 4[$

монотонно убывает. Ордината точки

максимума: $y_{\max} = 2\sqrt{2}$

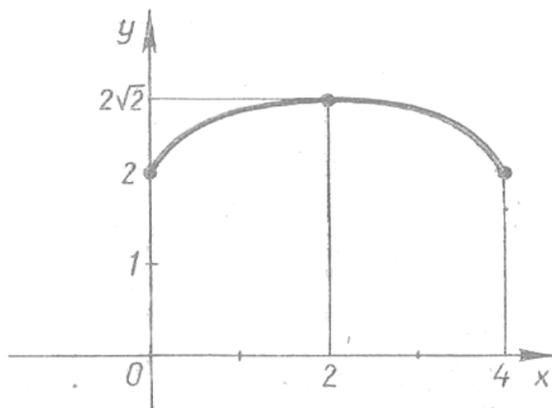


Рис. 3.3 График функции (3.11)

Находим вторую производную функции:
$$y'' = -\frac{1}{4} \times \frac{(4-x)^{\frac{3}{2}} + x^{\frac{3}{2}}}{x^{\frac{3}{2}} \cdot (4-x)^{\frac{3}{2}}}$$

На интервале]0; 4[вторая производная отрицательна, функция выпукла.

Отметим, что первая производная стремится к $+\infty$, когда x приближается справа к 0 или слева к 4. Геометрически это означает, что график функции касается в точке $x=0, y=2$ оси ординат, в точке $x=4, y=2$ вертикальной прямой $x=4$

Также было исследовано распределение алмазов по размерности при дроблении в аппарате вихревого слоя АВСП-100 и с учётом зависимости (3) был предложен новый способ избирательного дробления алмазов (письмо № 10-04/383 от 11.08.2015г. АО «Тульское НИГП» в ФИПС Роспатента с заявкой на изобретение «Способ избирательного дробления алмазов», авторы: Ю.Е. Будюков, В.И. Спирин, В.В. Кубасов), который является усовершенствованием способа избирательного дробления алмазов ОАО «Тульское НИГП» по патенту РФ на изобретение № 2492138.

Согласно новому способу избирательного дробления алмазов неравноосные ферромагнитные элементы выбраны по уравнению (3), а смесь ферромагнитных элементов и алмазов заполняет цилиндрическую камеру на 0,10-0,20 её объёма.

Известно, что качество порошков алмазов оценивается по степени измельчения, а также улучшения однородности формы и размеров частиц алмаза, с целью оценки однородности размеров зёрен применяется коэффициент изометричности $K_{из}$, равный отношению двух наибольших взаимно перпендикулярных размеров. Нами совместно с сотрудниками ОА «Тульское НИГП» были проведены исследования по дроблению природных алмазов в аппарате вихревого слоя АВСП-100. Зависимость коэффициента изометричности дроблённого природного алмаза по классификатору К-47-01-96 (стандарт SITV) от времени обработки для различных зернистостей показана на графиках рис.3.4

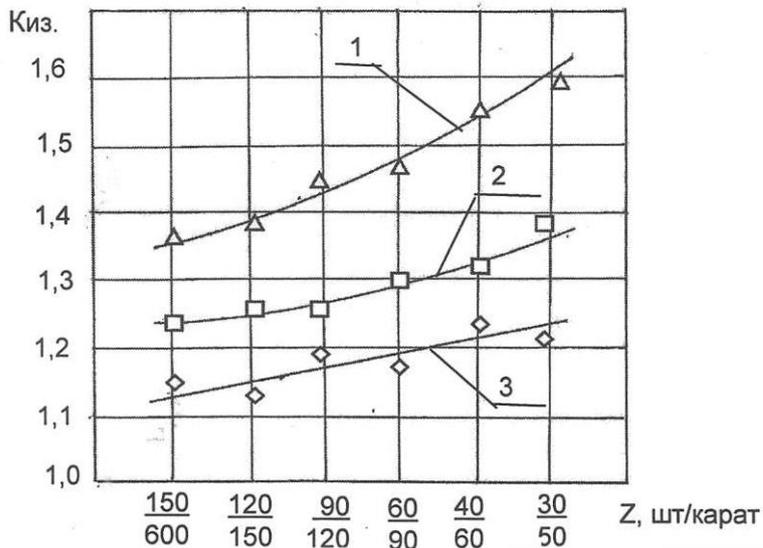


Рис. 3.4 Изменение коэффициента изометричности ($K_{из}$) порошка природного алмаза различной зернистости (Z) от времени обработки
 1- исходного порошка;
 2- после 3 мин. обработки; 3- после 6 мин. обработки.

Из рис. 3.4 следует, что с увеличением времени обработки коэффициент изометричности порошка природных алмазов уменьшается, а однородность формы зерна увеличивается.

Варьируя режимами обработки (время, вес ферромагнитных частиц, вес алмазного порошка) можно получить зерно с требуемой размерной однородностью и более стабильными режущими свойствами.

В аппарате вихревого слоя АВСП-100 была проведена обработка природных алмазов, которые по прочности не могут быть использованы в инструменте исходного ситового класса -4+3 по системе «SiTY» (см. Бочкарёв Л.М., Симоненков В.М., Тимошенко В.Е. Классификация алмазного сырья SJTY, учебное пособие. Главалмаззолото ИПР.-М., 1991).

Обработка (избирательное дробление) алмазов производилось по новому способу (предлагаемому техническому решению) и с применением способа аналога – патент СССР № 325988.

В табл. 3.2. приведено распределение природных алмазов по размерности (штук/карат) до и после обработки их в вихревом слое магнитных полей.

Таблица 3.2. Распределение природных алмазов по размерности

Условный ситовой класс	Распределение алмазов по размерности, штук/карат в %			
	50-30	60-40	150-90	600-200

<i>до обработки</i>				
-4+3	75,0	22,0	2,0	1,0
<i>после обработки по новому способу</i>				
-4+3	27,0	60,0	10,0	3,0
<i>после обработки по способу - аналогу</i>				
-4+3	42,0	48,0	6,0	4,0

Из данных таблицы 3.2. видно, что после обработки алмазов в вихревом слое магнитных полей количество алмазов крупной размерности значительно уменьшилось, а количество алмазов мелких размерностей увеличилось по новому способу и по способу – аналогу. Однако по новому способу дробления (предлагаемому техническому решению) выход мелких размерностей (60-40 шт/карат) более прочных алмазов увеличился на 36%, также при новом способе обработки возросла степень овализации алмазов.

Таким образом, обработка природных алмазов, которые по своей прочности не могут быть использованы для изготовления алмазного породоразрушающего инструмента, в вихревых магнитных полях по предлагаемому техническому решению позволяет существенно интенсифицировать процесс избирательного дробления алмазов и повысить его производительность и избирательность по сравнению с применением способа аналога.

Данные, характеризующие среднюю прочность природных алмазных зерен разных размерностей до и после обработки в вихревом слое (по новому способу) магнитных полей приведены в табл. 3.3.

Таблица 3. 3.Средняя прочность природных алмазов

Размерность (штук/карат)	Прочность до обработки в магнитных полях, Дан	Прочность после обработки в магнитных полях, Дан	Повышение показателя, %
50-30	1,30	2,15	65
60-40	1,35	1,95	44

150-90	1,21	1,51	25
600-200	1,16	1,38	36

Как видно из данных табл.3.3 при обработке по новому способу природных алмазов в вихревом слое магнитных полей в аппарате АВСП-100 происходит значительное (на 25-65%) повышение прочности алмазов.

В результате проведённых нами исследований усовершенствован способ избирательного дробления алмазов АО «Тульское НИГП», что послужило основой для разработки безотходного технологического процесса избирательного дробления алмазов, представляющего собой комплекс операций: сортировка по степени трещиноватости; дробление; ситовая классификация; очистка от металлической пыли; промывка; просушка; отделение на вибростоле некондиционных (по форме) зёрен алмазов; взвешивание; упаковка. Полученные по этому технологическому процессу все фракции алмазного сырья полностью используются при изготовлении породоразрушающего инструмента.

3.3. Исследования по термической обработке алмазосодержащих матриц коронок.

Композиционный материал матриц алмазного инструмента, получаемый методом пропитки структурного каркаса жидкой связкой, имеет микроструктуру, которую можно отнести к категории матричной или статической [13]. В этих структурах фазовые составляющие композиционного материала можно представлять как отдельные частицы, окруженные со всех сторон веществом связки [12]. В такой ситуации основным механизмом формирования остаточных напряжений при термоударе будет создание напряженного состояния на границе раздела «отдельная фазовая частица - окружающая её связка» [60].

Используя подобный физический механизм, рассмотрим расчет максимально возможного уровня остаточных напряжений, создаваемых в композиционном материале с матричной структурой при термоударе от некоторой начальной температуры $T_{нд}$ до конечной T_k на величину $\Delta T = T_n - T_k$. Определение напряжений проведено на основе решения упругой задачи Ламе. В оконча-

тельном виде расчетное значение остаточных напряжений может быть представлено по формуле В.И. Спирина, Д.М. Левина [57] следующим образом:

$$\sigma = -\frac{(\alpha_M - \alpha_B)(T_H - T_K)}{\frac{1 - \nu_B}{E_B} + \frac{[1 + (\alpha_M - \alpha_B)(T_H - T_K)](1 + \nu_M)}{2E_M}}, \quad (3.12)$$

где E , ν и α - модуль нормальной упругости, коэффициент Пуассона и среднее значение термического коэффициента Линейного расширения в диапазон температур от T_H до T_K соответственно; индексы B и M обозначают включение и матрицу соответственно.

Анализ этой формулы позволяет заключить, что основное влияние на уровень формирующихся напряжений оказывает, в первую очередь, разность начальной и конечной температур, характеризующих термоудар, то есть величина ΔT , а не собственно значения начальной T_H и конечной T_K температур. Это обстоятельство дает принципиальную возможность рассматривать термоудар как операцию, которую возможно проводить в любом температурном диапазоне, как в области криогенных температур, так и при температурах выше комнатных. Главное условие, обеспечивающее результативность термоудара, - достаточная величина температурного интервала ΔT [39,42,57].

Однако в соответствии с принципом Ле-Шателье, любые внешние воздействия, приводящие к упрочнению материала, вызывают развитие процессов, препятствующих этому упрочнению, стимулирующих разупрочнение материала, относится к категории процессов релаксации, которая определяется как изменение напряжений во времени в деформированном теле. За счёт развития процессов релаксации в медно-никелевой связке при температуре T_K и последующем нагреве до комнатной температуры уровень остаточных напряжений понижается по сравнению с результатами расчёта в упругом приближении по формуле (3.12).

Вязкое тело, которое начинает деформироваться только после того как приложенная сила стала достаточно большой, называется пластичным

материалом [22]. Твердые тела, как правило, обладают как упругостью, так и вязкостью. Его свойство можно описать уравнением [35]

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{1}{\mu} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{1}{\eta} \sigma. \quad (3.13)$$

где γ - малый угол сдвига;

t - время, с;

μ - модуль сдвига;

σ - напряжение, МПа;

η - коэффициент вязкости.

Это дифференциальное уравнение дает зависимость скорости деформации, измеряемой углом γ , от напряжения σ , причем упругость и вязкость служат параметрами этой зависимости. Оно представляет собой выражение в общей форме упруго-вязкий закон, описывающий одно из основных свойств твердых веществ. Проинтегрируем (3.13):

$$\gamma(t) = \frac{1}{\mu} \sigma(t) + \frac{1}{\eta} \int_0^t \sigma(t) dt \quad (3.14)$$

и возьмем простейший случай действия силы, постоянной во времени, положим $\sigma(t) = \sigma_0$. Тогда

$$\gamma(t) = \frac{\sigma_0}{\mu} \left(1 + \frac{t}{\tau} \right),$$

где $\tau = \frac{\eta}{\mu}$ - имеет размерность времени. Если время воздействия сил

невелико по сравнению с τ ($t \ll \tau$), то деформация γ в основном определяется

упругими свойствами среды ($\gamma \approx \frac{\sigma_0}{\mu}$), а при больших t ($t \gg \tau$) - вязкостью

$$\left(\gamma \approx \frac{\sigma_0}{\eta} t \right).$$

Важно отметить, что одно и то же тело может реагировать на воздействие и как твердое (упругое) и как жидкое (пластичное) в зависимости от длительности приложения внешней силы. Определим также характер ослабления (релаксации) внутренних напряжений после того, как исчезает внешняя сила, деформация приостановилась. Для этого приравняем в левой

части уравнения (3.13) скорость деформации $\frac{d\gamma}{dt} = 0$ и проинтегрируем правую часть. Тогда получим

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (3.15)$$

Когда $t = \tau$, начальное напряжение σ_0 ослабеет в e , т. е. в 2,72 раза. Это время называется временем релаксации. Чем более вязким и менее упругим является тело, тем больше время его релаксации.

Поэтому для оценки материалов при подборе композиционных матриц нами проведен анализ зависимостей механики деформированного твердого тела и найдена формула для определения ожидаемого уровня остаточного напряжения.

$$\sigma_0 = \sigma \cdot e^{\frac{t}{\tau}}, \quad (3.16)$$

где σ_0 – ожидаемый уровень остаточных напряжений в матрице после криогенной обработки, МПа;

σ - расчётное напряжение, создаваемое в матрице после криогенной обработки, Мпа (определяется по (формуле 3.12);

t - время воздействия силы, с;

τ - время релаксации, с.

Когда $t = \tau$, напряжение σ_0 ослабеет в e , т. е. в 2,72 раза. Это время называется временем релаксации. Чем более вязким и менее упругим является тело, тем больше время его релаксации.

С целью определения времени релаксации (τ) произведем логорифмирование выражения (3.16) и после преобразования найдем

$$\tau = \frac{t}{\ln \sigma - \ln \sigma_0} \quad (3.17)$$

Зная время релаксации (τ) можно определить текущее время изменения начальных напряжений, при которых необходимо проводить повторную криогенную обработку алмазного инструмента, а по формуле (3.16) можно определить ожидаемый уровень остаточных напряжений при $\tau = t$. Если расчетное напряжение, создаваемое в матрице после криогенной обработки

составляет, например, 700, 600 и 500 МПа, то ожидаемый уровень остаточных напряжений в матрице, с учетом релаксации по формуле (3.16), соответственно составит 257,35; 220,6; 183,8 МПа.

С учётом проведённых исследований с использованием зависимости (3.16), разработан «Способ изготовления породоразрушающего инструмента» (заявка № 2013144361/02(068369), Спирин В.И., Будюков Ю.Е., Кубасов В.В.), который является усовершенствованием способа изготовления алмазного породоразрушающего инструмента АО «Тульское НИГП» № 2202440 [59].

В этом способе изготовления породоразрушающего инструмента, включающем формирование в графитовой форме композиционной матрицы инструмента, содержащей включения в виде алмаза или твёрдого сплава, прессование её корпусом инструмента, нагрев спрессованного инструмента до температуры пропитки с горячим прессованием, охлаждение инструмента на воздухе до 350⁰С, погружение инструмента после снятия графитовой формы в воду комнатной температуры и последующую сушку. После сушки проводят закалку инструмента криогенной обработкой путём погружения его в жидкий азот и выдержкой в нём 16-30 минут, при этом формирование композиционной матрицы в графитовой форме осуществляют с учётом ожидаемого уровня остаточных напряжений в инструменте после криогенной обработки по зависимости (3.16). Этот способ внедрён в АО «Тульское НИГП» при изготовлении алмазного породоразрушающего инструмента [7,36,64].

Для определения рационального времени криогенной обработки алмазных коронок предварительно была изготовлена в АО «Тульское НИГП» опытная партия коронок 02ИЗ-36 в количестве 5 штук, рис. 3. 5



Рис. 3.5. Коронки алмазные типа 02ИЗ-36

армированных природными алмазами зернистостью А (120 – 150 шт./кар.), и проведены их криогенная обработка (при различном времени выдержки в жидком азоте (-196⁰), и стендовые испытания при бурении по блоку окварцованного гранита ($P_{ш}=5400$ МПа), табл.3. 4.

Таблица 3.4. Показатели бурения алмазными коронками 02ИЗ-36

Порода	Время средней обработки, мин.	Номера коронок (числитель), углубление за 1 об/мин, мм				
		1	2	3	4	5
Гранит	0	1/0,01				
	20		2/0,03			
	30			3/0,031		
	40				4/0,031	
	50					5/0,032

Как следует из табл. 4 применение опытных коронок эффективнее по углублению за 1 об/мин использования коронки 1 (база сравнения без термообработки): коронки 2 (обработка -20 мин.) -в 3,0 раза, коронки 3 (обработка -30 мин.)- в 3,1раза, коронка 4 (обработка-40мин) – в 3,1раза коронки 5 (обработка -50мин)- в 3,2 раза.

Также нами, в ходе проведения бурения на стенде, был прослежен характер изменения в течение рейса при бурении по окварцованному граниту – диаметра коронки (D) и износа торца (J) для опытной коронки (время

криогенной обработки 30 минут) и стандартной коронки (без криогенной обработки) рис. 3.6 .

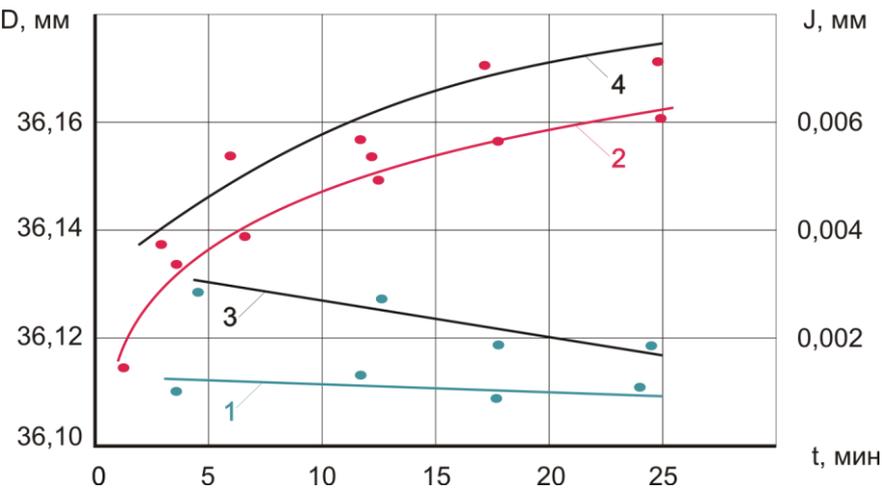


Рис. 3.6. Изменение в течение рейса при бурении по окварцованному граниту диаметра коронки (D) и износа торца (J): 1,3 – наружный диаметр коронки соответственно опытной к стандартной; 2,4 – торцевой износ коронок соответственно опытной и стандартной

Как видно из рис.3.6 применение для бурения опытной коронки по сравнению со стандартной коронкой эффективнее: по уменьшению износа по торцу на 21%. при значительном (на 0,01мм) уменьшении износа по диаметру.

Проведённые исследования позволяют установить тенденцию уменьшения износа коронок при бурении и повышения углубки за один оборот при увеличении времени выдержки инструмента при криообработке, что позволяет рекомендовать (для условий аналогичных данному эксперименту-времени выдержки в жидком азоте 20-50 минут) время выдержки при термообработке инструмента, до 30 минут.

Рябчиков С.Я. [19] установил, по результатам отработки в ПГО «Запсибгеология» большого количества алмазных коронок К-31С, обработанных в жидком азоте с выдержкой по времени от 10 до 20 минут, аналогичную тенденцию роста эксплуатационного показателя (ресурса) коронок с увеличением времени выдержки их при криообработке.

3.4. Исследования по уточнению отдельных конструктивных параметров модернизированных алмазных коронок.

Наиболее общими факторами, определяющими характер изнашивания алмазных коронок, является работа трения и условия её реализации. При этом особо важное значение имеет значение характера распределения осевого

усилия между алмазами при модернизации алмазного породоразрушающего инструмента.

Известно, что большое значение этому вопросу придавали многие научно-исследовательские организации и исследователи:

СПГИ (С.Н. Тараканов), ВИТРа (В.П. Оницин, П.П. Пономарев, Н.Е. Тихонов), ВНИИБТ, (Е.И. Королько, Р.М. Эйгелес, Г.С. Геворков, А.М. Владимирский), РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина (Е.В. Бучковский), ИСМ (И.Ф. Вовчановский).

Однако мнение этих исследователей крайне противоречиво в части характера распределения осевого усилия между алмазами.

Вероятно противоречивость мнений указанных исследователей, объясняется тем, что они складывались, как правило, в результате только изучения форм износа инструмента и отчасти теоретических исследований и не имели экспериментальной проверки, так как не существует простого и надёжного способа измерений контактных нагрузок под торцом алмазного породоразрушающего инструмента в процессе его работы [4,47].

Ближе к теоретическому решению этого вопроса подошли исследователи АО «Тулское НИГП» (Ю.Е. Будюков, В.И. Власюк, В.И. Спирин) [7], которые получили выражение распределения нормального давления вдоль радиуса алмазной коронки.

$$q_i = \frac{Q \cdot d_i (1 + y_i'^2)^{-\frac{1}{2}}}{\sum_1^n K_i \cdot d_i (1 + y_i'^2)^{-1}}, \quad (3.18)$$

где q_i - нормальное давление Н;

Q - осевая нагрузка Н;

d_i - диаметр i -го алмазного зерна, м;

y_i' - первая производная функция кривой $y = f(R)$, описывающей профиль коронки (R - текущий радиус коронки, м);

n - количество рядов алмазов на коронке, шт;

K_i - количество алмазов в i -м ряду, шт.

Эта зависимость является в какой – то мере универсальной, так как позволяет определить нормальное давление для любой алмазной коронки, у которой образующая рабочей поверхности представляет непрерывную кривую $y = f(R)$, где R - текущий радиус коронки.

При этом количество алмазов, находящихся в контакте с забоем может рассматриваться как некоторая функция времени и изменяться по величине от общего количества объёмных алмазов в инструменте до весьма незначительного. Влияние продольных вибраций коронки на износ алмазов можно учесть, если в формуле (3.18) наряду со статической ($Q_{ст}$), будет учтена динамическая ($Q_{дм}$) составляющая нагрузки на коронку

$$Q_{ст} + Q_{д} = K \cdot Q_{ст} \cdot, \quad (3.19)$$

K - коэффициент пропорциональности (определяется по методике В.Е. Копылова, $K = 1,1 \div 1,5$).

Тогда выражение (3.18) можно записать в следующем виде (если принять $Q = Q_{ст}$):

$$q_i = \frac{KQ \cdot d_i (T + y_i'^2)^{-\frac{1}{2}}}{\sum_1^n K_i \cdot d_i (1 + y_i'^2)^{-1}}, \quad (3.20)$$

Выражение для удельной работы трения A_T за один оборот алмазной коронки при бурении из её определения, может быть представлено в виде

$$A_T = 2\pi f q_i R, \quad (3.21)$$

где f - коэффициент трения.

подставив значение q_i из (3.20) в формулу (3.21), будем иметь [7]

$$A_T = \frac{2\pi f R K Q \cdot d_i \cdot V_i}{\sum_1^n K_i \cdot d_i \cdot V_i^2}, \quad (3.22)$$

где $V_1 = (1 + Y'^2)^{-\frac{1}{2}}$,

Е.В. Бучковский, используя зависимости ОАО «Тулское НИГП» (3.18), (3.21) рассмотрел распределение нормального давления и работы трения за один оборот алмазной ступенчатой коронки при условии, что $Y^1=0$ и получил

профиль породоразрушающего инструмента, при котором распределение нормального давления вдоль радиуса коронки равномерное.

Однако такая конфигурация породоразрушающей части ступенчатой коронки и характер её износа не в полной мере соответствует реальным условиям работы коронки на забое при бурении скважин. Поэтому нами выполнен расчёт работы трения и распределение нормального давления с учётом зависимостей (3.20), (3.22) по заданному уравнению кривой наиболее удовлетворительно описывающей профиль алмазной коронки (коронки-разбурника) для бурения скважин со съёмными керноприёмниками.

$$y_1 = a(R_i - R_0)^2, \quad y' = 2a(R_i - R_0), \quad (3.23)$$

где $f = 0.3$ – коэффициент трения;

$Q = \{16000, 20000\}$ Н – осевая нагрузка;

$a = 30..50$ – параметр уравнения профиля коронки;

$n = 9$ – количество рядов коронки;

$i = \{1..n\}$ – номер ряда;

R_i – радиус i -того ряда, м;

$R = \{0.022 .. 0.038\}$ м – значения радиуса коронки;

$R_0 = 0.02$ м – внутренний радиус коронки;

$d_i = \{0.0011\}$ м – диаметр алмазного зерна в ряду;

$K_i = \{36, 36, 36, 36, 24, 32, 32, 32, 32\}$ – количество алмазов в ряду.

Вычисление работы A_T производится при заданном или при изменяющемся в заданных пределах значении R . Если вычисления производятся для ряда значений R , то фиксируется максимальное значение работы A_{max} и соответствующее значение R .

Нами совместно с сотрудниками АО «Тульское НИГП» была составлена программа CrownBit.exe., которая предназначена для определения максимальных значений работы трения как функции текущего радиуса коронки и распределения нормального давления вдоль радиуса алмазной коронки по формуле (3.23).

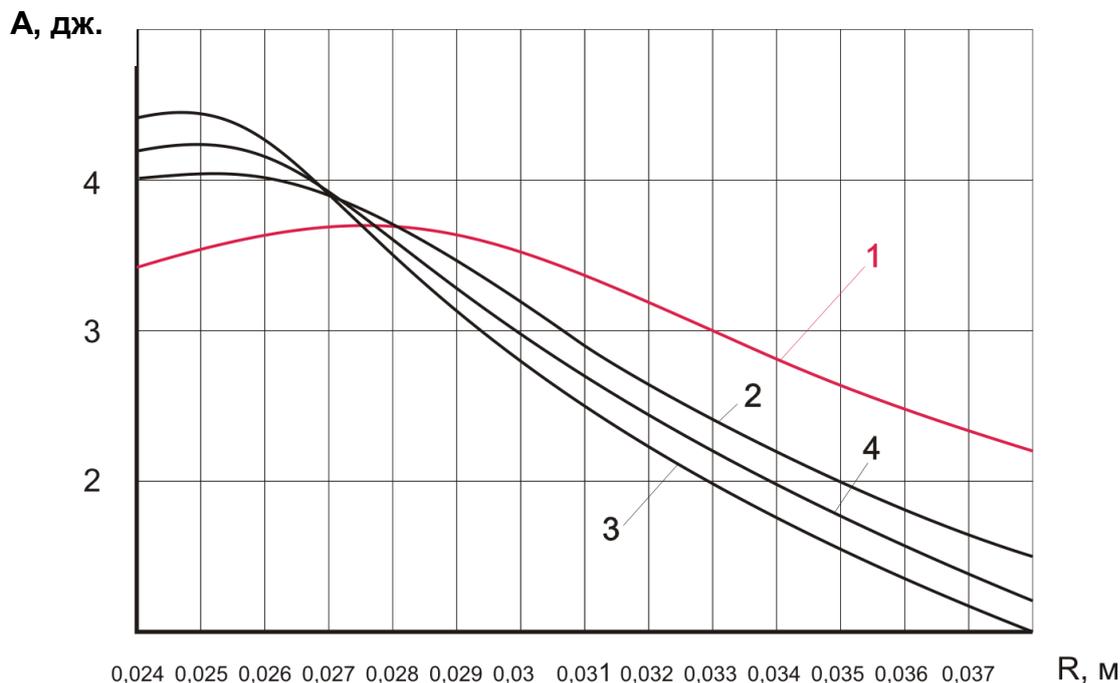


Рис. 3.7 Распределение работы трения вдоль радиуса коронки для различных значений параметра a уравнения профиля коронки.
 1 – $a=30$; 2 – $a=40$; 3 – $a = 50$; 4 – $a=45$

Данные расчётов приведены на рис. 3.7 в виде графика, из которых следует, что

1) максимальное значение работы трения при бурении коронкой наблюдается для графиков 2,3,4 на отрезке радиуса 0,024-0,025, а для графика рис.1 на отрезке радиуса 0,027-0,028.

2) чем меньше абсолютное значение параметра a , тем равномернее распределение работы трения вдоль радиуса коронки, а, следовательно, должен быть меньше её износ.

Используя зависимости (3.18), (3.20), (3.22) как алгоритмы и программу [14] CrownBit.exe. варьируя значениями a , n , R_i , d_i , K_i можно рассчитать профиль коронки (коронки-разбурника), при котором износ коронки при бурении будет более равномерным и минимальным.

Выбор состава материала матриц алмазных коронок.

Известно, что свойства матриц зависит от состава материала и свойств, входящих в него компонентов и режимов прессования [40]. В связи с этим можно предположить, что варьируя составы матричных материалов и режимы прессования матриц можно получить композиции с заданными свойствами. С этой целью нами совместно с сотрудниками АО «Тульское НИГП» проведены экспериментальные исследования с использованием составов материалов, приведённых в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Составы материалов матриц алмазных коронок

№ состава материала	Состав шихты, %			Состав связки, % по массе	
	каркас		наполнитель релит	Cu	Ni
	WC	Co			
1	92	8	-	100	-
2	92	8	-	90	10
3	100	-	-	100	-
4	100	-	-	90	10
5	72	8	20	100	-
6	72	8	20	90	10

Работа проводилась по ранее разработанной методике [56]. Образцы диаметром 10 мм и высотой 20 мм прессовали односторонним прессованием. При этом использовался гидравлический пресс П-1. Для каждого состава композиции прессовали по пять образцов. Твёрдость материала образцов измерялась на твёрдомере ТК-2М алмазным наконечником по шкале HRC. При этом торцы образцов предварительно

шлифовались на глубину 0,5-0,8 мм. На отшлифованной поверхности твёрдость измерялась 9 раз. Усреднённые значения твёрдости композиционных материалов приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6 Зависимость твёрдости материала образцов от давления прессования

Как видно из данных табл.3.6 для всех исследованных составов материала матриц с увеличением давления прессования твёрдость образцов после пропитки возрастает, также твёрдость композиций различных по составу материалов разная. Наибольшую твёрдость имеют образцы № 2 и № 6, различных по гранулометрическому и физическому составам. Это объясняется наилучшим размещением частиц материала меньшего размера среди крупных, более плотной их упаковкой при прессовании и термической обработке.

№ состава материала матрицы	Давление прессования, МПа					
	30	40	50	60	70	80
1	39,1	39,9	43,2	43,8	44,3	44,6
2	49,2	49,5	50,2	50,3	50,8	52,2
3	15,1	18,2	20,1	21,2	22,5	24,1
4	24,2	25,3	26,2	27,3	28,1	28,9
5	31,1	31,8	32,8	34,1	35,8	39,1
6	43,3	43,8	43,9	44,2	45,7	47,7

Представленная в табл. 3 зависимость твёрдости материалов образцов T от давления прессования P может быть представлена кривой, уравнение которой имеет вид

$$T = a + vP, \quad (3.24)$$

где a , v - параметры, зависящие от условий опыта (с размерностью HRC и HRC/МПа соответственно);

P - давление прессования, МПа.

Параметры a и v определяются по методу наименьших квадратов [6,27].

Например, для матрицы состава №5 значения этих параметров следующие:

$$a=28,8\text{HRC}; v=0,08\text{HRC/МПа}.$$

Таким образом, задаваясь составом материала матриц и режимами их прессования можно подбирать матрицы алмазных коронок необходимой твёрдости по составу материала - в пределах 15,1 до 49,2HRC и по давлению прессования - от 15,1 до 52,2 HRC. При этом расчёт проектной твёрдости производится по формуле (3.20).

При нормальной работе коронки матрица должна изнашиваться несколько быстрее алмазов. Поэтому износостойкость матрицы должна соответствовать физико-механическим свойствам горных пород. Твёрдость матрицы, обычно выражается в HRC, не является показателем идентичным износостойкости данной матрицы. Вследствие того, что измерить твёрдость проще, чем износостойкость, принято для ориентировочной оценки износостойкости матрицы, указывать её твёрдость. Чем больше твёрдость горных пород, тем легче выбрать матрицу.

Таким образом, нами совместно с сотрудниками АО «Тульское НИГП» доработана [38] ранее разработанная в АО технология выбора матричных композиций для алмазного породоразрушающего инструмента и установлено, что в процессе изготовления алмазного породо-разрушающего инструмента за счет изменения параметров статического прессования и состава входящих в матрицу компонентов, различающихся по физико-химическому составу, имеется возможность управлять некоторыми свойствами материала матрицы:

увеличивать плотность с 7,6 до 12,2/ $\times 10^3$ кг/м³

снижать пористость с 55,6 до 28,4 %

повышать твердость с 10 до 55 HRC

В АО «Тульское НИГП» исследованиями установлено, условие разрушения горной породы алмазом:

$$F = \pi(d \cdot h - h^2) \cdot \tau \cdot K,$$

где F - разрушающая нагрузка на алмаз Н;

d - диаметр алмазного зерна, мм;

h - глубина внедрения алмаза, м;

τ - временное сопротивление породы разрушению, МПа;

K - коэффициент сопротивления движению алмазного резца ($K = 1,05 \div 1,15$).

Следует заметить, что, в первом приближении временное сопротивление породы разрушению " τ " можно заменить значением предела текучести породы " P_0 ", которое легко находится при определении твёрдости породы на приборе УМГП-3. С учётом этого имеем

$$F = \pi(dh - h^2)K \cdot P_0,$$

С учётом влияния формы алмаза можно записать

$$F = \pi(dh - h^2)K \cdot P_0K_1,$$

Решим последнее уравнение относительно d получим выражение для определения диаметра алмазного зерна

$$d = \frac{F}{\pi \cdot P_0 K K_1 \cdot h} + h,$$

где d - диаметр алмазного зерна, мм;

F - разрушающая нагрузка на алмаз, Н;

P_0 - предел текучести породы по штампу, МПа;

K - коэффициент сопротивления движению алмазного резца ($K = 1,05 \div 1,15$);

K_1 - коэффициент формы алмаза ($K_1 = 1$ для дроблённого алмаза, $K_1 = 1,2$ для овализованного алмаза);

h - глубина внедрения алмаза, м.

В результате проведённых исследований была модернизирована алмазная буровая коронка К-41-76 для бурения с КССК-76, её новая модель получила наименование коронка К-41-76СВМ, (рис. 6) (с различной твёрдостью матрицы), последняя выполняется в двух вариантах: с торцевыми отверстиями – для бурения трещиноватых неустойчивых пород и без торцевых отверстий – для бурения монолитных пород.

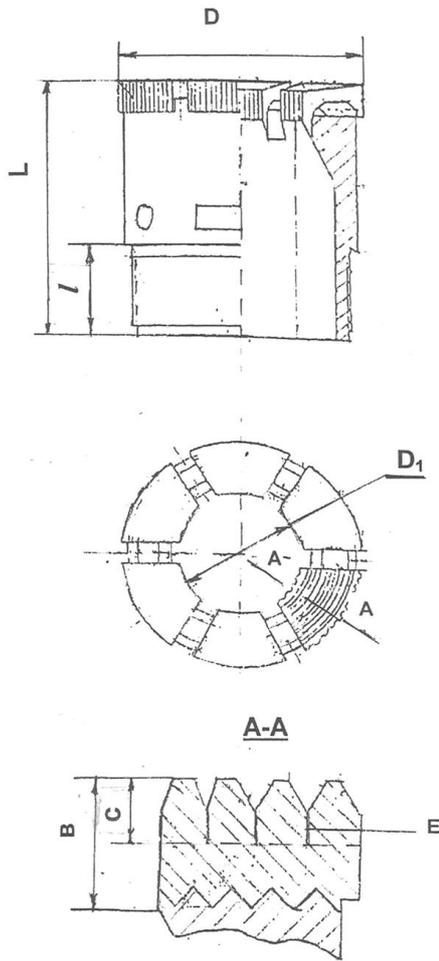


Рис. 3.8. Коронка алмазная К-41-76-3СВМ

Конструктивно эта коронка отличается тем, что согласно авторскому патенту на полезную модель RU 138 678 U1, что диаметр алмазного зерна импрегнированного слоя матрицы определяется по зависимости [41,43].

$$d = \frac{F}{\pi \cdot P_o K K_1 \cdot h} + h, \quad (3.25)$$

где d - диаметр алмазного зерна, мм;

F - разрушающая нагрузка на алмаз, Н;

P_o - предел текучести породы по штампу, МПа;

K - коэффициент сопротивления движению алмазного резца ($K = 1,05 \div 1,15$);

K_1 - коэффициент формы алмаза ($K_1 = 1$ для дроблённого алмаза, $K_1 = 1,2$ для овализованного алмаза);

h - глубина внедрения алмаза, м,

а рабочий сектор коронки по ходу вращения делится на набегающую и сбегаящие части в пропорции $(1,3 \div 1,7)$: $(0,7 \div 0,3)$ при этом концентрация частиц сверхтвёрдого материала в набегающей части сектора на 10-15% выше, чем концентрация частиц сверхтвёрдого материала в сбегаящей части сектора.

Помимо этого матрица коронки выполняется с концентрическими гребнями, во впадинах которых размещены металлические элементы, износостойкость которых меньше износостойкости алмазосодержащей матрицы.

Расчётами по формуле (3.25) установлено, что значение диаметра алмазного зерна на торце коронки составляет для пород Норильского региона VII-VIII, IX-X категорий 50-30, 90-120 шт/карат.

При бурении такой коронкой образуется постоянный гребенчатый забой, эффективного разрушения пород, и благодаря рациональной схеме размещения сверхтвёрдых элементов в матрице сохраняется высокая работоспособность коронки К-41-76СВМ. При бурении в трещиноватых породах применение указанных коронок с торцевыми отверстиями позволяет предотвратить размывающее воздействие на керн боковых потоков промывочной жидкости и способствует повышению его сохранности. Повышенная концентрация сверхтвёрдого материала в набегающей части сектора матрицы способствует повышению работоспособности коронки. Аналогичные рекомендации по защите набегающей части рабочих секторов алмазных коронок содержится в работах отечественных исследователей П.Н. Курочкина, Ю.Е. Будюкова, П.П. Пономарёва[7,8,29,51].

Базой для создания коронки-разбурника P1(P2)93(76/93) (рис. 3.9) послужила стандартная алмазная коронка 17А4 для бурения КССК-76. В отличие от базовой коронки каронка-разбурник выполняется с усиленным алмазным вооружением на ступенях, когда между крупными алмазами размещаются мелкие алмазы, также матрица выполнена с дополнительными цилиндрическими каналами, патенты № 138678, № 148333 [58].

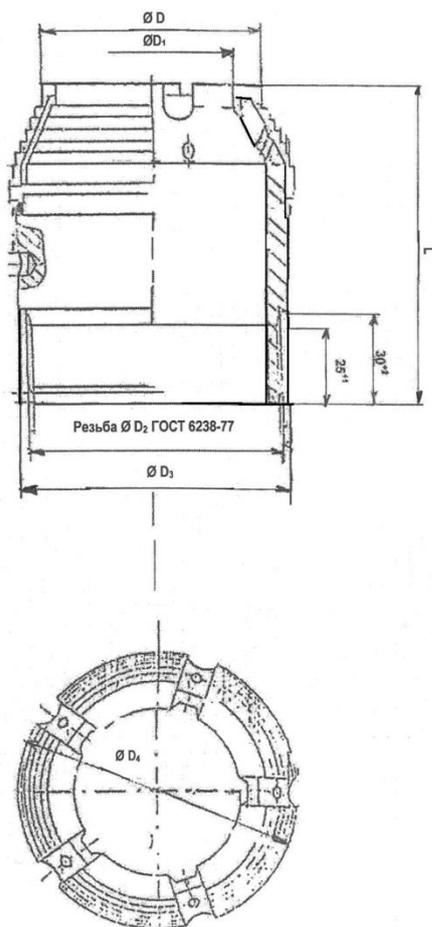


Рис. 3.9. Коронка-разбурник P1, P2

При разбуривании скважин такой коронкой промывочная жидкость с большим скоростным напором выходит из цилиндрических отверстий попадает на породу и создаёт в ней зоны предразрушения, которые затем эффективно разрушаются алмазными зёрнами ступенчатой и цилиндрической частями матрицы. Эти коронки применяются для расширения скважины при бурении ССК под обсадные трубы или для бурения гидрогеологических скважин для исследования движения подземных вод. Они предназначены для замены дорогостоящих шарошечных долот, применяемых для разбуривания скважин. Значение основных параметров новых коронок представлены в табл. 3.7

Таблица 3.7. Значение основных параметров модернизированных алмазных коронок.

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Алмазная коронка К-41СВМ	Коронка-разбурник P1
1	Наружный диаметр	мм	76	93
2	Внутренний диаметр	мм	40	56
3	Зернистость объёмных	шт/кар	120-150	50-30

	алмазов			(120-150)
4	Зернистость подрезных алмазов	шт/кар	50-30	50-30
5	Твёрдость матрицы	HRc	20-25; 30-35	20-25; 30-35
6	Количество промывочных каналов	шт	6	5
7	Количество боковых отверстий	шт	-	5
8	Форма торца		гребенчатая	ступенчатая
9	Количество торцевых отверстий	шт.	6	-

Примечание: коронка К-41СВСМ изготавливается в двух вариантах с торцевыми отверстиями – для бурения трещиноватых неустойчивых пород и без торцевых отверстий – для бурения монолитных пород.

Техническое решение по проведённому патенту также использовано при разработке коронок - разбурников типа Р-1, Р-2 для ООО «Норильскгеология».

3.5. Выводы по главе 3.

1. В результате аналитического рассмотрения энергетических зависимостей разрушения твёрдого тела и с учётом формулы проф. Л.А. Шнейнера, определяющей влияния масштабного фактора на прочность твёрдого тела, найдено выражение для определения скорости частицы дроблёного материала, необходимой для её разрушения при столкновении с преградой. Установлено, что разрушение частицы в вихревом слое за счёт только свободного удара маловероятно и что измельчение идёт за счёт свободного и стеснённого удара, то есть между двумя соударяющимися ферромагнитными элементами.

2. Значительное влияние на интенсивность измельчения материала оказывает коэффициент загрузки в рабочую камеру аппарата АВСП-100 ферромагнитных частиц. Экспериментально установлено, что интервал оптимальных значений величины загрузки рабочей камеры ферромагнит-ными элементами, полученный при диспергировании кварцевого песка, составляет $K=0,35-0,55K_{кр}$. При этом наибольшей износостойкостью обладают ферромагнитные элементы, выполненные из углеродистой стали по ГОСТ 9889-75.

3. Была установлена зависимость коэффициента изометричности дроблённого природного алмаза по классификатору К-47-01-96 от времени обработки для различных зернистостей. Определено, что с увеличением времени обработки коэффициент изометричности уменьшается, а однородность формы зерна увеличивается.

4. Уточнена зависимость для определения остаточных напряжений в материале матрицы с учётом развития процессов релаксации, на основании расчётов, по которой можно определить время повторной криогенной обработки алмазных коронок.

5. Аналитически рассмотрено распределение работы трения вдоль радиуса алмазной коронки с учётом динамической составляющей осевой нагрузки. При этом установлено, что для коронки со ступенчатым профилем максимальное значение работы трения наблюдается в области перехода от пилота к ступенчатой части матрицы. Также определено, что чем меньше абсолютное значение параметра a параболы, описывающей торец ступенчатой коронки, тем равномернее распределение работы трения вдоль радиуса коронки, а, следовательно, должен быть меньше её износ. Также установлена зависимость диаметра алмазного зерна на рабочем торце коронки от физико-механических свойств горных пород.

6. Задавая состав материала матриц и режимами их прессования можно подбирать матрицы алмазных коронок необходимой твёрдости по составу материала - в пределах 15,1 до 49,2 HRC и по давлению прессования - от 15,1 до 52,2 HRC. При этом расчёт проектной твёрдости производится по формуле (3.24).

7. На основе проведённых исследований созданы модернизированные алмазные коронки К-41СВМ и Р1-93РМ, применение которых позволили получить экономический эффект на коронку К-41СВМ -10 791,0, на коронку-разбурник Р1-93РМ -14 639,0 руб.

Глава 4. СТЕНДОВЫЕ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ АЛМАЗНОГО ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.

4.1. Стендовые испытания алмазных модернизированных коронок.

Лабораторные исследования выполнялись с целью изучения работоспособности нового алмазного инструмента в зависимости от его конструктивных и технологических параметров и физико-механических свойств горных пород.

Известно, что осевая нагрузка определяет глубину внедрения и количество участвующих в разрушении породы резцов, а также интенсивность износа алмазного породоразрушающего инструмента и механическую скорость бурения. Как видно из графиков рис. 4.1 с повышением осевой нагрузки при бурении по блоку мелкозернистого гранита ($P_{ш} - 5100 \text{ МПа}$) как стандартными, так и опытными коронками механическая скорость растёт достаточно эффективно до определённого критического значения, равного 2000-2200 Дан.

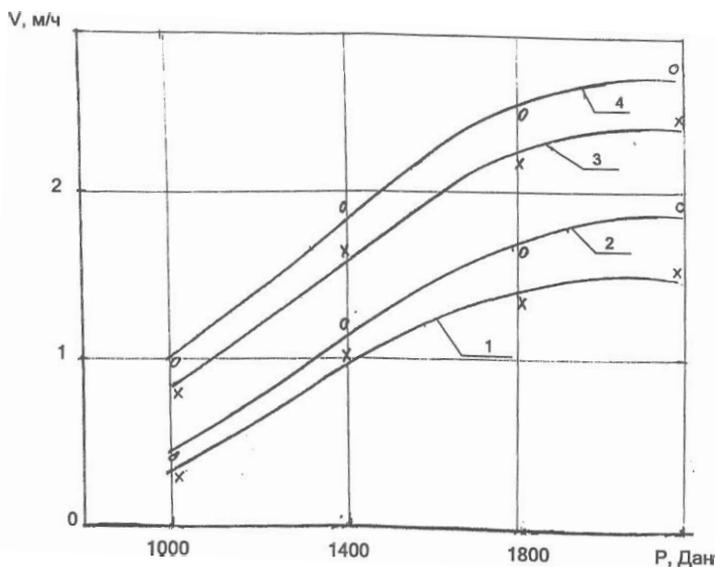


Рис.4.1. Зависимость механической скорости бурения от осевой нагрузки

1,3 – серийной коронки К-41 при частоте вращения соответственно 340 и 480 об/мин.

2, 4 - опытной коронки К-41СВМ при частоте вращения соответственно 340 и 480 об/мин

Однако при бурении опытными коронками (К-41СВМ) темп роста механической скорости больше, чем при бурении стандартными коронками (К-

41): на 50% при частоте вращения 340 об/мин. и на 42% при частоте вращения 480 об/мин. Такой рост механической скорости бурения опытными коронками объясняется их более рациональной формой рабочего торца, обеспечивающей высокую эффективность разрушения породы на забое скважины.

Частота вращения коронки является важным параметром режима бурения, как видно из рис. 4.1 с увеличением частоты вращения с 340 до 480 об/мин механическая скорость бурения при осевой нагрузке 2000 Дан по блоку мелкозернистого гранита ($P_{шт}$ - 5100 МПа) как стандартными, так и опытными коронками возрастает, однако темп роста механической скорости у опытных коронок вследствие рациональной конструкции их рабочего торца на 12% выше, чем у стандартных коронок. Одновременно был прослежен характер изменения механической скорости бурения от изменения частоты вращения шпинделя при более высоких её значениях (576 об/мин и более). При осевой нагрузке, равной 2000 Дан и частоте вращения шпинделя бурового станка равной 576 и 780 об/мин, значение механической скорости бурения составили соответственно: 3,8 м/ч и 4,9 м/ч (для опытной коронки К-41СВМ) и 3,4 и 4,2 м/ч (для серийной коронки К-41). Повышение механической скорости бурения коронками К-41СВМ по сравнению с применением коронок К-41 при частоте вращения шпинделя 576 и 780 об/мин составила соответственно: 12% и 17%.

Таким образом, в результате стендовых испытаний установлено, что при бурении на рациональных режимах в одних и тех же породах применение новых коронок К-41СВМ эффективнее, чем использование стандартных коронок К-41.

В табл. 4.1 приведены рекомендуемые режимы бурения новыми коронками и новыми коронками-разбурниками с учётом опыта бурения в ООО «Норильскгеология» [62].

Таблица 4.1. Рекомендуемые параметры режима бурения КССК в ООО «Норильскгеология» новым алмазным инструментом.

Категория пород по буримости	Группа пород по трещиноватости	Тип породоразрушающего инструмента	Параметры режима бурения		
			Осевая нагрузка, даН	Частота вращения, мин ⁻¹	Количество промывочной жидкости,

					л/мин
VIII-X	I-II	K-41-3CBM	1500-2000	500-1500	40-60
	III-IV	K-41-4CBM	500-800	400-800	70-80
VII-IX	I-II	P1-93PM (76/93)	1600-2200	600-1000	60-80
	III-IV	P2-93PM (76/93)	1000-1500	400-800	90-100

Коронки K-41CBM изготавливаются с 4-мя типами матриц: мягкая -2(15-20HRC) - бурение плотных малоабразивных пород; нормальная - 3 (20-25HRC) – бурение в плотных среднеабразивных породах; твёрдая - 4 (30-35HRC) бурение в среднеабразивных, трещиноватых породах; очень твёрдая -5 (40-50 HRC) – бурение в очень твёрдых трещиноватых породах.

4.2. Производственные испытания алмазных коронок.

На основании проведённых теоретических и экспериментальных исследований автора и данных литературных источников устанавливаются режимы алмазного бурения новым породоразрушающим инструментом.

Частота вращения определяется по зависимости [68].

$$n = \frac{60V_0}{\pi D}, \quad (4.1)$$

где n - частота вращения, мин⁻¹;

V_0 - рекомендуемая окружная скорость коронки ($V_0=1\div 4$ м/с; для однослойных коронок - $1\div 3$ м/с)

D - наружный диаметр коронки, м.

Рекомендуется в конкретных условиях частоту вращения уточнить: в трещиноватых породах частота вращения должна быть уменьшена (на 30%) во избежание сколов алмазов, в абразивных породах частота снижается на 30-40% для предотвращения повышенного износа алмазов; в мягких породах частота вращения может быть повышена до величины рекомендуемой окружной скоростью. Для эффективности работы алмазной коронки необходимо, чтобы углубка за оборот была оптимальной по отношению к выпуску алмазов. Осевая

нагрузка на коронку определяется твёрдостью породы и величиной суммарной площади контакта объёмных алмазов с забоем [68].

$$P = P_1 \cdot f_1, \quad (4.2)$$

где P - осевая нагрузка на коронку, кН;

P_1 - удельная нагрузка на коронку, кН/см² (принимается по рекомендации МГРИ-РГГРУ);

f_1 - площадь торца коронки, см².

При бурении трещиноватых пород осевую нагрузку на коронку понижают на 30÷50% по сравнению с нагрузкой для монолитных пород. Расход промывочной жидкости рекомендуется определять по известной зависимости В.И. Власюка, которая наиболее полно учитывает конструктивные особенности новых коронок [17].

$$Q = 0,17 K_{\Pi} V \cdot f_1, \quad (4.3)$$

где Q - расход промывочной жидкости (м³/с);

K_{Π} -коэффициент пропорциональности, зависящий от ориентации оси скважины (для наклонной и вертикальной скважины $K_{\Pi} = 1,5$);

V - окружная скорость коронки, м/с;

f_1 - рабочая площадь торца коронки, м².

Согласно методики [7,9] АО «Тульское НИГП» для определения оптимального момента снятия алмазной коронки при бурении снарядами со съёмными керноприёмниками отечественных и зарубежных конструкций принят экономический критерий – величина углубки на проходку, при которой стоимость 1м бурения ниже экономического показателя по базе сравнения. При этом выражение для углубки на коронку S , соответствующие прекращению рейса по предложенному критерию имеет вид [7]:

$$S = \frac{C(A - B) + t \cdot m}{t \left(Q - \frac{K \cdot C}{t \cdot V} - \frac{C \cdot B}{t \cdot p} \right)}, \quad (4.4)$$

$$A = a \frac{H}{2} + d, \quad B = e \frac{H}{2} + e$$

где C - стоимость одной станко-смены за исключением стоимости истирающих и с учётом планового её снижения, руб.; K – коэффициент дополнительного времени, равный 1,06; t - продолжительность одной станко-смены, час; Q - стоимость 1 м бурения по базе сравнения, руб.; V - средняя механическая скорость бурения, м/ч; a, d, v, c - опытные коэффициенты, равные соответственно, $a = 3,4 \cdot 10^{-3}$ ч/м; $d = 0,72$ ч; $v = 1,5 \cdot 10^{-3}$ ч/м; $c = 0,37$ ч; H - глубина скважины, м; P - проходка за цикл, м; m - стоимость коронки, руб.

Результаты отработки алмазного инструмента в производственных условиях приведены в табл.4.2 (прил. Б).

Таблица 4.2 Результаты отработки алмазного инструмента (коронки, коронки-разбурники), шарошечных долот в условиях ООО «Норильскгеология»

Тип инструмента	Количество отработанного инструмента, шт.	Проходка на инструмент, м	Категория пород	Выход керна, %	Средняя механическая скорость, м/ч	Расход алмазов, кар/м	Стоимость инструмента, руб./м
P1-93PM	3	150,1	VII-IX	-	2,5	0,25	40,0
Долото В93-К	4	60,3	VII-IX	-	2,1	-	99,0
К-41-3СВМ	7	98,1	VIII-X	89	1,74	0,41	36,0
К-41	7	50,2	VIII-X	87	1,45	0,55	70,0

Анализ данных таблицы 4.2 показывает, что применение модернизированных коронок К-41-3СВМ вместо стандартных коронок К-41 эффективнее: по стойкости на 95 %, по механической скорости на 28 %, по расходу алмазов на 68 %, по стоимости инструмента на 1 метр бурения на 94%; применение коронок-разбурников P1-93PM (по базе сравнения – самое эффективное при разбуривании скважин шарошечное долото) эффективнее: по стойкости на 149 %, по механической скорости на 19 %, по стоимости инструмента на 1 метр бурения на 147%.

Применение модернизированного инструмента наряду с высокой производительностью, качеством работ и экологической безопасностью позволяет производить импортозамещение инструмента зарубежных фирм, а так же получить экономический эффект от применения одной коронки

К-41СВМ - 10 791,0,0 руб., от внедрения одного разбурника Р1-93РМ – 14 639,0 руб.

4.3.Выводы по главе 4.

1.В результате лабораторных испытаний установлено, что при бурении на рациональных режимах в одних и тех же породах применение модернизированных коронок К-41СВМ эффективнее, чем использование стандартных коронок К-41-76.

2.Применение модернизированных коронок К-41-3СВМ вместо стандартных коронок К-41 эффективнее: по стойкости на 95 %, по механической скорости на 28 %, по расходу алмазов на 68 %, применение коронок - разбурниковР1-93РМ (по базе сравнения – самое эффективное при разбуривании скважин шарошечное долото) эффективнее: по стойкости на 149 %, по механической скорости на 19 %.

Глава 5.РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИМЕНЕНИЯ АЛМАЗНЫХ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ КОРОНОК.

Во ВНИИБТ разработана методика [46] (Методика определения экономической эффективности внедрения новой буровой техники – М., ВНИБТ, 1993г. – 319 с.) расчёта экономической эффективности применения новых конструкций породоразрушающего инструмента. При расчёте за новую технику приняты алмазные коронки К-41-СВМ и коронки-разбурники Р1-93РМ, а за базу сравнения соответственно коронки К-41 и шарошечное долото В93-К. Этот породоразрушающий инструмент обрабатывался на рациональных режимах бурения на объектах работ (прил. Б) ООО «Норильскгеология» (табл. 5.1.)

В табл. 5.1. проведены основные технико-экономические показатели производственного бурения.

Таблица 5.1. Техничко-экономические показатели бурения.

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Базовая техника		Новая техника	
			К-41	Долото В-93К	К-41-3СВМ	Р1-93РМ

1	Диаметр инструмента	мм	76	93	76	76/93
2	Категория пород по буримости		VIII-X	VII-IX	VIII-X	VII-IX
3	Средняя глубина скважин	м	800	800	800	800
4	Средняя механическая скорость бурения	м/ч	1,45	2,1	1,86	2,5
5	Проходка на инструмент	м	50,2	60,3	98,1	150,1
6	Время нахождения коронки до полного износа	час				
7	Расход алмазов	шт/кар.	0,52	-	0,31	0,12
8	Стоимость инструмента	руб.	3500	6000	3500	6000
9	Объём бурения	м.	98,1	150,1	98,1	150,1

Согласно принятой методике, прогнозируемый эффект определяется по формуле[46], руб.

$$\mathcal{E} = \left[\left(\frac{C_{\bar{o}}}{h_{\bar{o}}} + \frac{C}{V_{\bar{o}}} \right) - \left(\frac{C_n}{h_n} + \frac{C}{V_n} \right) \right] \cdot H_n, \quad (5.1)$$

Для применения коронок К-41-3СВМ

$$\mathcal{E} = \left[\left(\frac{3500}{50,2} + \frac{500}{1,45} \right) - \left(\frac{3500}{98,1} + \frac{500}{1,86} \right) \right] \cdot 98,1 = 10\,791,0 \text{ руб.}$$

$C_{\bar{o}}$ и C_n – стоимость коронок К-41 и К-41-3СВМ соответственно, руб.

C - стоимость 1 ч. работы коронки по затратам, зависящим от времени, руб/ч; ($C=500$ руб./ч);

Для применения коронок-разбурников Р1-93РМ

$$\mathcal{E} = \left[\left(\frac{6000}{60,3} + \frac{500}{2,1} \right) - \left(\frac{6000}{150,1} + \frac{500}{2,5} \right) \right] \cdot 150,1 = 14\,639,0 \text{ руб.}$$

$h_{\bar{o}}$ и h_n - проходка на коронку (К-41, долото В93-К) и (К-41-3СВМ и Р1-93РМ) соответственно, м;

$V_{\bar{o}}$ и V_n - рейсовая скорость бурения коронками(К-41, долото В93-К) и (К-41-3СВМ и Р1-93РМ) соответственно, м;

H_n – объём бурения одной коронкой (К-41-3СВМ и Р1-93РМ), м соответственно, м.

При расчёте приняты следующие допущения:

1. Рейсовая скорость бурения равна механической.
2. Объём бурения равен проходке на коронку. Таким образом прогнозируемый экономический эффект от применения одной коронки К-41-3СВМ и коронки-разбурника Р1-93РМ для условий ООО «Норильскгеология», рассчитанный по методике ВНИИБТ, составляет 10 791,0 руб. и 14 639,0 руб. соответственно.

5.1. Вывод по главе 5.

Применение модернизированного инструмента наряду с высокой производительностью и качеством работ позволяет производить импортозамещение инструмента зарубежных фирм, а так же получить экономический эффект от применения одной коронки К-41СВМ - 10 791,0руб., от внедрения одной коронки - разбурника Р1-93РМ – 14 639,0 руб.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработана математическая модель износа рабочего торца алмазной коронки, с применением которой по специально составленной компьютерной программы CrownBit.exe. было проведено исследование динамики износа коронки и установлено, что наибольшее значение работы трения при бурении ступенчатыми коронками наблюдается на периферии ступенчатой части матрицы, чем меньше значение параметра «а» коронки, тем равномернее распределение работы трения вдоль радиуса коронки Q_T , следовательно, должен быть меньше её износ.

2. Установлена зависимость диаметра алмазного зерна в объёмном слое матрицы от действующего усилия и параметров физико-механических свойств горных пород, с учётом которой возможен подбор алмазных коронок в соответствии с конкретными горными породами буримого разреза.

3. Уточнена зависимость для определения остаточных напряжений в материале матрицы с учётом развития процессов релаксации, на основании расчётов, по которым можно определить момент повторной криогенной обработки алмазных коронок.

4. Найдено аналитическое выражение для определения, с учётом разрушающегося напряжения и масштабного фактора, скорости частицы, необходимой для её разрушения и определено, что измельчение идёт не только за счёт свободного, но и за счёт стеснённого удара.

5. Установлена зависимость коэффициента изометричности дроблённого природного алмаза от времени обработки для различных зернистостей: с увеличением времени обработки коэффициент изометричности порошка природных алмазов уменьшается, а однородность формы зерна увеличивается.

6. Разработан способ избирательного дробления низкосортных и трещиноватых природных алмазов пониженного качества в вихревом слое аппарата АВСП-100.

7. Разработаны два типа модернизированных алмазных коронок и рекомендации по технологии бурения разведочных скважин с применением этого породоразрушающего инструмента.

8. Для дальнейшего совершенствования алмазного породоразрушающего инструмента, предназначенного для бурения ССК (КССК) и ОС, рекомендуется:

- совершенствование способов повышения прочностных свойств алмазов, в том числе синтетических и алмазосодержащих матриц инструмента;
- разработка новых методов исследований механизма разрушения горных пород единичным алмазным резцом и инструментом в целом;
- разработка компьютерных технологий проектирования, и изготовления алмазного породоразрушающего инструмента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Алмазное бурение / Ю.А. Оношко, Г.А. Блинов, М.Д. Дроздов и др. – В кн. Состояние и дальнейшие пути развития технического прогресса геологоразведочных работ. Л.ОНТИ ВИТР, 1975, с.43-78.
2. Башкатов Д.Н. Планирование эксперимента в разведочном бурении. – М. Недра, 1985,-181 с.
3. Блинов Г.А. Алмазосберегающая технология бурения./ Г.А. Блинов, В.И. Васильев, М.Г. Глазов и др. – Л.: Недра, 1989. – 184 с.:ил.
4. Бучковский Е.В. Повышение эффективности бурения глубоких разведочных скважин снарядами со съёмными керноприёмниками на основе применения модернизированных алмазных коронок. Автореферат канд. диссерт. М, МГРИ-РГРУ, 2012г. , 23с.
5. Бозорт Р. Ферромагнетизм. Перевод с английского под редакцией Е.И. Кондорского и Б.Г. Лифшица. М «Иллюстрационная литература», 1956, 784 с.
6. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. -544 с.
7. Будюков Ю.Е. Алмазный породоразрушающий инструмент. /Ю.Е. Будюков, В.И. Власюк, В.И. Спирин. Тула: ИПП «Гриф и К», 2005-288 с., ил.
8. Будюков Ю.Е. Рациональный принцип размещения алмазов в коронках для бурения геологоразведочных скважин./Ю.Е. Будюков, Б.С. Чугунов. Сб. «Алмазы», вып.4. НИИМАШ. – М.: 1968. – с.7-9.
9. Будюков Ю.Е. Алмазный инструмент для бурения направленных и многоствольных скважин. /Ю.Е. Будюков, В.И. Власюк, В.И. Спирин. Тула: ИПП «Гриф и К», 2007-176 с., ил.
10. Будюков Ю.Е. Создание и производство специального алмазного бурового инструмента. Обзор. – М.: МГП «Геоинформмарк», 1993. – 40 с.
11. 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 научн. – техн. конф.; под общ.ред. В.М. Панарина. - Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2015, с.93-98

12.Будюков Ю.Е. Повышение работоспособности алмазных коронок криогенной обработкой./ Ю.Е. Будюков, В.И. Спирин, В.В. Кубасов. Современные проблемы экологии: Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов VIII международной научн. – техн. конф.; под общ.ред. В.М. Панарина. - Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2013. – с. 45-50

13.Кубасов В.В. Повышение эффективности бурения разведочных скважин путём применения коронок с модернизированной алмазосодержащей матрицей./В.В. Кубасов, Ю.Е. Будюков, В.И. Спирин. XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» в период с 08 по 10 апреля 2015г., г. Москва, МГРИ-РГГРУ.

14.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 научн.-техн. конф.; под общ.ред. В.М. Панарина. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2015. , с.89-92.

15. Власюк В.И. Технические средства и технологии для повышения качества бурения скважин./В.И. Власюк, Ю.Е. Будюков, В.И. Спирин.Тула: ИПП «Гриф и К», 2013-176 с., ил.

16.Власюк В.И. Новые технологии в создании и использовании алмазного породоразрушающего инструмента. / В.И. Власюк, Ю.Е. Будюков, Л. К. Горшков, Л.И. Осецкий, С.Я. Рябчиков, В.И. Спирин. – М.: «Геоинформмарк», 2002 – 140 с

17.Власюк В.И. Алмазное бурение из подземных горных выработок при разведке благородных и цветных металлов (Методические рекомендации)// АОЗТ «Геоинформмарк». –М., 1996.- 90 с.

18.Воздвиженский Б.И. Разведочное колонковое бурение./ Б.И. Воздвиженский, С.А. Волков, Б.С. Филатов, Н.И. Любимов и др. М.:Госгеологотехиздат, 1957.- 340с.:ил.

19. Рябчиков С.Я. Объемное упрочнение твёрдосплавного и алмазного породоразрушающего инструмента с целью повышения его эксплуатационных показателей: Томский политехнический университет им. С.М. Кирова. Томск – 2002- 41с.
20. Горшков Л.К. Температурные режимы алмазного бурения./Л.К. Горшков, В.Г. Гореликов – М.: Недра, 1992. – 193 с.:ил.
21. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М.:Мир, 1989.-510 с.:ил.
- 22.Демидов С.П. Теория упругости. – М. Высшая школа, 1979. – 432 с.:ил.
- 23.Исаев М.И. Технический прогресс и новые достижения в колонковом бурении. М, Недра, 1976- 179 с.
- 24.Калинин А.Г. Разведочное бурение. /А.Г. Калинин, О.В. Ошкордин, В.М. Питерский, Н.В. Соловьев. М.:ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 748 с.:ил.
- 25.КаммингДж.Д. Руководство по алмазному бурению. – М.: Госгеолтехиздат, 1960. – 327 с.:ил.
- 26.Кардыш В.Г. Энергоемкость бурения геологоразведочных скважин./В.Г. Кардыш, Б.В. Мурзаков, А.С. Окмянский. – М.: Недра, 1984. – 200 с.:ил.
27. Касандрова О.Н. Обработка результатов наблюдений. / Касандрова О.Н., Лебедев В.В., «Наука». Главная редакция физ.-мат. литература, 1970г.
28. Козловский Е.А. Оптимизация процесса разведочного бурения. – М.: Недра, 1977. – 150 с.:ил.
29. Курочкин Л.Н. Исследования влияния конструктивных элементов алмазного бурового инструмента на его стойкость и механическую скорость бурения. Автореферат канд.диссерт. /Ленинградский горный институт, 1965г.
- 30.Корнилов Н.И. Породоразрушающий инструмент для геолого-разведочных скважин./Н.И. Корнилов, В.С. Травкин, Л.К. Берестень, Д.И. Коган и др. Справочник. – М.: Недра, 1979. – 359 с.:ил.
- 31.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

32. Куликов В.В. Рациональная конструкция промывочной системы буровых коронок при бурении эжекторными снарядами в сложных геологических условиях. // Горный информационно-аналитический бюллетень. Деп. Изд-ва МГГУ. Спр. № 656/11-08 от 04.08. 2008. -6с.
33. Кудайкулов С.К. Бурение скважин в сложных условиях снарядами со съёмными керноприёмниками (ССК). – Алматы, КазНТУ, 2010 -240с.
34. Кафелов В.В., Логвиенко Д.Д., Шеляков О.П., Цалктер К.Л. Аппараты с вихревым слоем для внесения наполнителей в каучуки и латексы – В кл: «Новые материалы и процессы в резиновой промышленности» Вып. 2. Днепропетровск, 1973 с ил. АВТ.
35. Колтунов М.А., Кравчук А.С., Майборода В.П. Прикладная механика деформируемого твёрдого тела: Учеб.пособие для студентов вузов. – М.: Высш.школа, 1983. – 349 с, ил.
36. Кубасов В.В. «Повышение износостойкости алмазного породоразрушающего инструмента за счёт его термической обработки» XI Международная конференция «Новые идеи в науках о земле» РГГРУ, 09 – 12 апреля 2013г. Доклады: в 3т.т.2 МГРИ – МГГРУ,-М: Ваш полиграфический партнёр, 2013.
37. Кубасов В.В. Новые технологии повышения работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента./ В.В. Кубасов, В.И. Спирин, Ю.Е. Будюков. Научно-практический журнал «Экономика XXI века, инновации, инвестиции, образование».- Тула № 2, 2013.
38. Кубасов В.В. Выбор матричных композиций для алмазного породоразрушающего инструмента/ В.В. Кубасов, Ю.Е. Будюков, В.И. Спирин. Инновационные наукоёмкие технологии: тезисы докладов междунар. науч.-технич. конференции под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2014г. с. 11-16.

39.Кубасов В.В. «Новые технологии повышения эффективности работы алмазного породоразрушающего инструмента». Горный информационно-аналитический бюллетень, 2014г. № 10 с. 383-387.

40.Кубасов В.В. Зависимость работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента от смачиваемости алмаза металлом./ В.В. Кубасов, Ю.Е. Будюков, В.И. Спириин. Инновационные наукоёмкие технологии: тезисы докладов междунар. науч.-технич. конференции под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2014г. с.6-11.

41. Кубасов В.В., Спириин В.И., Будюков Ю.Е. Алмазная импрегнированная буровая коронка. Патент РФ на полезную модель № 138678 БИ. № 8, 2014г.

42.Кубасов В.В. Релаксация остаточных напряжений в матрице алмазной коронки. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) -2015. - № 4 (специальный выпуск12). –12 с. - М.: Издательство «Горная книга», с.3-6.

43. Кубасов В.В. Исследование износа алмазных коронок.Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) -2015. - № 4 (специальный выпуск12). –12 с. -М.: Издательство «Горная книга», с.6-11.

44. Логвиенко Д.Д., Шеляков О.П Интенсификация технологических процессов в аппарате с вихревым слоем. «Техника», 1976, 144 с.

45.Мирошниченко В.Ф., Семенюк Н.И. Термодинамические основы процесса влияния электромагнитных полей на расплав полимеров. – «Пластические массы», 1970, № 10.

46. Методика определения экономической эффективности внедрения новой буровой техники – М., ВНИБТ, 1993г. – 319 с.

47.Оницин В.П. О характере износа импрегнированных коронок при бурении диабазов. ОНТИ ВИТР. Сб. «Методика и техника разведки», №54.-Л.: 1965. – с.30-33.

48.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.

49. Остроушко И.А. Бурение твердых горных пород. – М.: Недра, 1966. – 289 с.:ил.
50. Ососов И.А. Комплексное использование низкосортного технического алмазного сырья. / И.А. Ососов, В.И. Спирин, Ю.Е. Будюков, В.И. Власюк, В.В. Кубасов. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов – Вып.16 – Киев: ИСМ, НАН Украины, 2013.
51. Пономарев П.П. Алмазное бурение трещиноватых пород. – Л.: Недра, 1985. – 144 с.
52. Проспект. Алмазные коронки BOART LONGYEAR, S.A., SPAIN.
53. Рябчиков С.Я. Повышение износостойкости породоразрушающего инструмента различными физическими способами. Обзор МГП «Геоинформмарк», М.: 1993.-36 с.:ил.
54. Соловьёв Н.В. Геологоразведочный породоразрушающий инструмент на основе алмазов сверхтвёрдых минералов./ Н.В. Соловьёв, Д.Н. Башкатов, Л.К. Горшков, А.Я. Третьяк, В.И. Власюк, Р.К. Богланов, А.П. Загора, Ю.Е. Будюков, В.И. Спирин, А.И. Осецкий, А.И. Исонкин. Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ), 2009-334 с.
55. Соловьёв Н.В. Основы конструирования алмазного породоразрушающего инструмента./Н.В. Соловьёв Н.В., В.Ф. Чихоткин, В.И. Власюк, Р.А. Ганджумян и др. – М.: МГГА, 2000. – 111 с.:ил.
56. Совершенствование технологии алмазного бурения с применением комплекса КССК и других технических средств конструкции ЦНИГРИ на месторождениях благородных металлов Таджикистана. Отчёт о НИР (заключ.) ОЭИ ЦНИГРИ; Руководитель Ю.Е. Будюков–ГРО 1830078211; Инв. № 02830078211 – Тула, 1983.
57. Спирин В.И. Новые направления создания алмазного породоразрушающего инструмента./В.И. Спирин, Д.М. Левин. Тул. гос. ун-т. – Тула.: 2000. – 149 с.:ил.

58.Спирин В.И. , Будюков Ю.Е., Нескоромных В.В., Петенев П.Г., Пушмин П.С., Кубасов В.В. Патент RU № 148333 БИ № 34, 2014 г. на полезную модель «Алмазная коронка для бурения».

59. 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.

60.Спирин В.И. Анализ результатов работы алмазных коронок, подвергнутых криогенной обработке./В.И. Спирин, Ю.Е. Будюков, В.В. Кубасов. Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник», № 2, М. 2013 с.16-21.

61.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.

62.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.

63.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 научн.-техн. конф.; под общ.ред. В.М. Панарина. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2014. , с.76-81.

64.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 научн.-техн. конф.; под общ.ред. В.М. Панарина. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2014. , с.81-84.

65.Спирин В.И. Влияние смачиваемости алмаза металлом на работоспособность породоразрушающего инструмента./ В.И. Спирин, Ю.Е. Будюков, В.В. Кубасов. Породоразрушающий и металлообрабаты-вающий

инструмент - техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов – Вып.17 – Киев: ИСМ, НАН Украины, 2014, 15-18.

66.Спирин В.И. Интенсификация технологических процессов в аппарате с вихревым слоем при производстве алмазного породоразрушающего инструмента./ В.И.Спирин, Ю.Е. Будюков, В.В. Кубасов. XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» в период с 08 по 10 апреля 2015г., Москва, МГРИ-РГГРУ.

67. Спирин В.И. Остаточные напряжения в матрицах алмазных коронок./ В.И. Спирин, В.В. Кубасов., Ю.Е. Будюков.Приоритетные направления науки и технологий: тезисы докладов XVI международной научн.-техн. конф.; под общ.ред. В.М. Панарина. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2015г.с.87-89.

68. Справочник по бурению геологоразведочных скважин. СПб.-Л.:ООО «Недра»,2000-712 с.:ил.

69. Садовский Г.И. Основы физики горных пород. Геологическая характеристика Норильских месторождений/ Садовский Г.И., Ваулин Л.Л., Анапольский Е.А. и др. – Норильск, Норильский вечерний индустриальный институт, 1975г., 151 с.

70. Сулакшин С.С. Бурение геологоразведочных скважин. – М, «Недра», 1994-432 с.

71.Третьяков И.П., Пиваваров М.С. особенности оваллизации синтетических алмазов в вихревом слое магнитных полей. Сб. Алмазы, НИИМАШ, 1973, № 7

72. Хартман и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. – М.: Мир, 1977. – 340 с.:ил.

73.Ципин Н.В. Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента. – Киев, Наукова Думка, 1983. – 192 с.:ил.

74.Чихоткин В.Ф. Исследование техники и технологии бурения геологоразведочных скважин и разработка нового поколения алмазного породоразрушающего инструмента.-М.:ОАО «ВНИИОЭНГ», 1997.- 241 с.:ил.

75. Черников В.И. Магнитные измерения. Под ред. проф. С.И. Кондорского. М.изд. МГУ, 1963, 285 с.
76. Шамшев Ф.А. Технология и техника разведочного бурения./Ф.А. Шамшев, С.Н. Тараканов, Б.Б. Кудряшов, Ю.М. Парийский, А.М. Яковлев – М.: Недра, 1983. – 565 с.:ил.
- 77.Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972. – 302 с.:ил.
- 78.Шрейнер Л.А. Физические основы механики горных пород. – М.: Гостоптехиздат, 1950.
- 79.Эйгелес Р.М. Разрушение горных пород при бурении. – М.: Недра, 1970. – 232 с.:ил.
- 80.Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов. Издательство «Наука» Главная редакция физико-математической литературы.
- 81.LongyearGeneralBulleition №96, Bulletins №24SQ? 24LG, 70, 91, 92, 93, 301, 304, 307, 311, 308.
- 82.1.LummusI.L.Drilling optimization.-J.of Petr. Tech,November, 1970.p 128-145.
- 83.Rowlands D. Some basic aspects of drilling.“Prog.Jst.Anst. - №Z Conf. Cteomech, Melburne, 1971, Vol 1”, Sydney, 1971, 222-231.

Приложение А

текст программы по Моделированию износа алмазной
буровой коронки

(расчет работы силы трения)

Приложение А

Программа

«Моделирование износа алмазной

буровой коронки:

расчет работы силы трения»

Руководство пользователя и инструкция по эксплуатации
(документ объединенный)

1. Общие сведения о программе

Программа «Расчет работы силы трения».

Имя файла программы **CrownBit.exe**.

Языкразработки: ObjectPascalдлясредыразработкиDelphi-7 Enterprise Edition ©

BorlandSoftware Corporation.

Для визуализации результатов расчета используется компонент Chartот TeeChartStandard 4.

2. Установка и рабочие файлы программы

Для установки программы не требуется специальных операций. Рекомендуется создать отдельную папку и скопировать в нее файл программы. У пользователя должны быть полные права на доступ к этой папке. *Не рекомендуется устанавливать программу на системное устройство!* Вместе с файлом программы может копироваться инициализационный файл **CrownBit.ini**. Если инициализационный файл отсутствует или удален, он будет автоматически создан при первом запуске программы, а при необходимости обновлен пользователем (подробнее см. п. 8).

При работе программы могут создаваться и использоваться файлы данных. Это текстовые файлы; имена, расширения (типы) и месторасположения файлов задаются пользователем произвольно (подробнее см. п. 8).

При создании отчета с результатами вычислений создается временный файл **temp.bmp**. Этот файл может быть удален в любой момент, что не сказывается на функционировании программы.

Отчет с результатами вычислений формируется как документ Word. Документ автоматически не сохраняется, решение о его сохранении принимается пользователем.

3. Назначение программы

Программа предназначена для определения максимальных значений удельной работы трения как функции текущего радиуса буровой коронки и анализа влияния на максимальную удельную работу трения других параметров коронки (α , K_i и проч.).

4. Методика расчета

Методика расчета основана на следующих зависимостях, приведенных в работе [1]: уравнение профиля коронки

$$y_i = \alpha(R_i - R_0)^2, \quad y' = 2\alpha(R_i - R_0),$$

вспомогательная функция

$$V_i = \left(\sqrt{1 + y_i'^2}\right)^{-1},$$

распределение нормального давления вдоль радиуса алмазной коронки

$$q = \frac{d_i V_i}{\sum_{i=1}^n K_i d_i V_i^2} Q,$$

удельная работа трения

$$A_T = 2\pi f q R,$$

где $f=0.3$ – коэффициент трения;
 $Q = \{16000, 20000\}$ Н – осевая нагрузка;
 $\alpha = 30..50$ – параметр уравнения профиля коронки;
 $n = 9$ – количество рядов коронки;
 $i = \{1..n\}$ – номер ряда;
 R_i – радиус i -того ряда, м;
 $R = \{0.022 .. 0.038\}$ м – значения радиуса коронки;
 $R_0 = 0.02$ м – внутренний радиус коронки;
 $d_i = \{0.0011\}$ м – диаметр алмазного зерна в ряду;
 $K_i = \{36, 36, 36, 36, 24, 32, 32, 32, 32\}$ – количество алмазов в ряду.

Вычисление работы A_T производится при заданном или при изменяющемся в заданных пределах значении R . Если вычисления производятся для ряда значений R , то фиксируется максимальное значение работы A_{max} и соответствующее значение R .

5. Условия применения

Для выполнения программы необходим персональный компьютер офисного класса. Программа функционирует в среде операционной системы Windows (WindowsXP \ Windows 7).

Для формирования отчета с результатами вычислений на компьютере должен быть установлен текстовый процессор Word из пакета MicrosoftOffice.

Пользователь программы должен обладать навыками работы в ОС Windows.

6. Порядок работы с программой

Окно программы представляет собой форму с четырьмя управляющими вкладками.

Работа с программой включает следующие основные шаги.

1. *Запуск программы.* Выполняется одним из принятых в ОС Windows способов.
2. *Ввод и корректировка исходных данных.* Данные для расчета вводятся в поля формы на вкладке «Исходные данные» (рис. 1). В зависимости от настроек поля формы могут быть - пустыми;
 - содержать исходные данные тестового примера;
 - содержать исходные данные последнего расчета.

Кнопки на вкладке позволяют: начать расчет, заполнять поля ввода из файлов, очищать поля ввода, очищать поля вывода результатов.

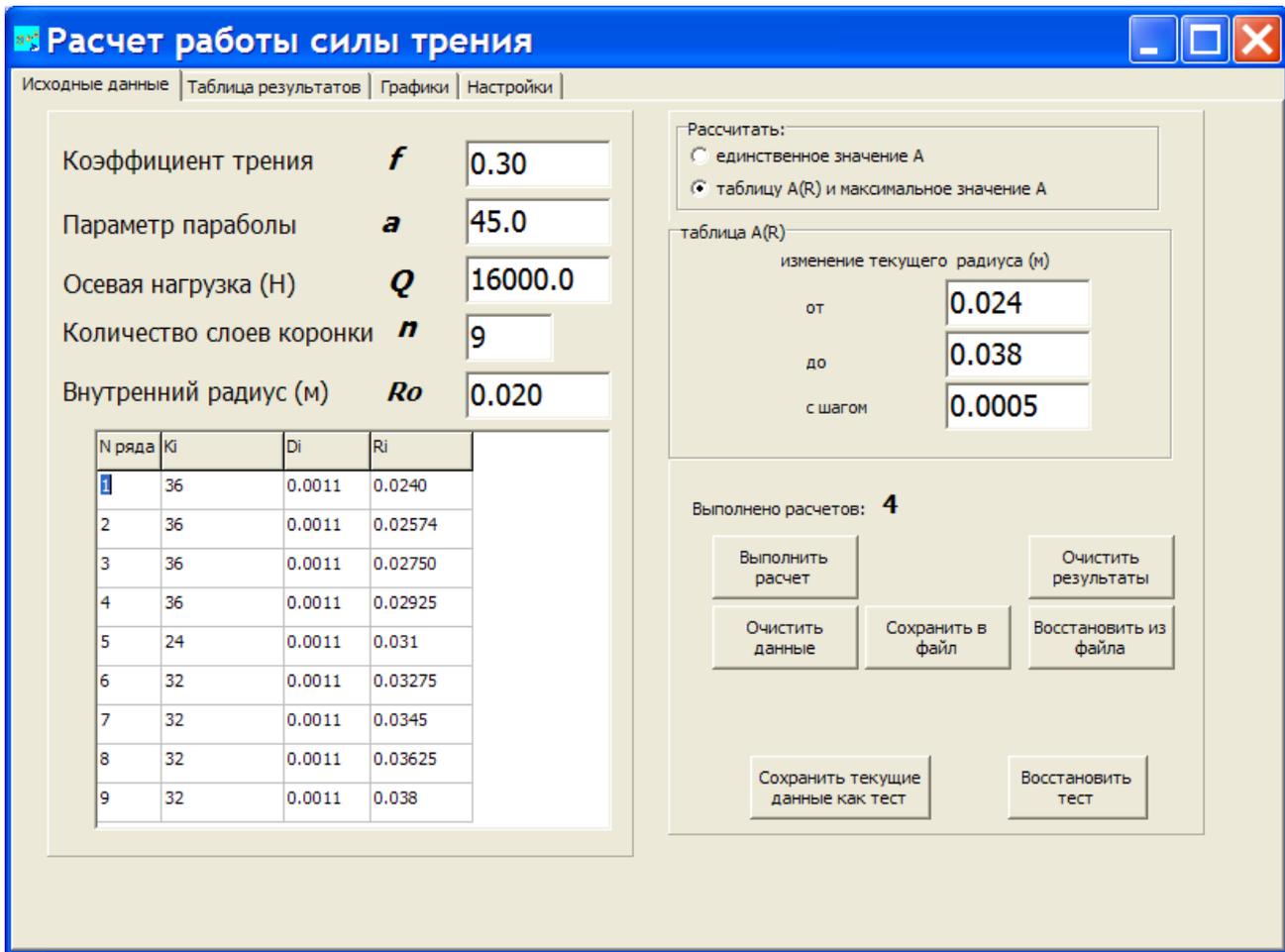


Рисунок 1. Вкладка "Исходные данные."

3. *Выполнение расчета.* Для выполнения расчета с текущим набором исходных данных нажимается кнопка «Выполнить расчет» на правой панели вкладки «Исходные данные». Число выполненных расчетов отображается на панели. Число выполненных расчетов ограничено 5 вариантами из соображений возможности представления результатов на одном графике. Для проведения следующей серии расчетов необходимо предварительно нажать кнопку «Очистить результаты» для формирования нового отчета.
4. *Просмотр и фиксация результатов.* После завершения вычислений автоматически активизируется вкладка «Таблица результатов» (см. рис.2). На вкладке размещаются:
 - таблица значений функций $q=f(R)$, $A_T=f(R)$;

- таблица, содержащая полученные максимальные значения работы A_{max} при соответствующих значениях радиуса R для каждого варианта расчета. В нижней части вкладки «Таблица результатов» расположена кнопка «Отчет», позволяющая сформировать отчет с результатами вычислений.

Замечания. 1) В таблицу $q, A_T(R)$ помещаются результаты от 1 до 5 последовательно выполненных расчетов. Новые столбцы значений добавляется справа от полученных ранее.

R	q(R)1	A(R)1	q(R)2	A(R)2	q(R)3	A(R)3	q(R)4	A(R)4
0.0240	75.698	3.425	88.419	4.000	101.422	4.588	94.975	4.297
0.0245	75.402	3.482	87.367	4.035	98.701	4.558	93.225	4.305
0.0250	74.994	3.534	85.960	4.051	95.246	4.488	90.939	4.285
0.0255	74.454	3.579	84.165	4.046	91.111	4.379	88.103	4.235
0.0260	73.762	3.615	81.970	4.017	86.419	4.235	84.753	4.154
0.0265	72.901	3.641	79.388	3.966	81.338	4.063	80.965	4.044
0.0270	71.858	3.657	76.459	3.891	76.055	3.871	76.846	3.911
0.0275	70.627	3.661	73.244	3.797	70.747	3.667	72.520	3.759
0.0280	69.205	3.653	69.818	3.685	65.559	3.460	68.112	3.595
0.0285	67.600	3.632	66.262	3.560	60.598	3.255	63.732	3.424
0.0290	65.823	3.598	62.656	3.425	55.935	3.058	59.470	3.251
0.0295	63.894	3.553	59.070	3.285	51.606	2.870	55.390	3.080
0.0300	61.838	3.497	55.564	3.142	47.623	2.693	51.536	2.914
0.0305	59.682	3.431	52.182	3.000	43.982	2.529	47.932	2.756
0.0310	57.454	3.357	48.956	2.861	40.668	2.376	44.586	2.605
0.0315	55.184	3.277	45.905	2.726	37.659	2.236	41.497	2.464

A_{max}

1. $A_{max}=3.66102$ при $R=0.0275$ 2. $A_{max}=4.05076$ при $R=0.0250$ 3. $A_{max}=4.58821$ при $R=0.0240$ 4. $A_{max}=4.30528$ при $R=0.0245$

Отчет

Рисунок 2. Вид вкладки "Таблица результатов"

Для управления просмотром используются полосы вертикальной и горизонтальной прокрутки. Значения A_{max} и R приводятся в нижней строке вкладки.

2) Кнопка «Отчет» позволяет создать документ с исходными данными и результатами вычислений. Исходные данные и результаты каждого из 5 выполняемых вариантов расчета помещаются в один документ Word. Созданный документ автоматически сохраняется в стартовой папке программы под именем Report-Дата-Время, где Дата и Время соответствуют времени выполнения первого расчета в очередном сеансе работы.

На вкладке «Графики» результаты расчетов представляются в форме графиков $q(R)$, $A_T(R)$. (см. рис. 3 -5). Переключение между отображением графика $A_T(R)$ и графика $q(R)$ производится кнопкой «Показать ...» в нижней части вкладки.

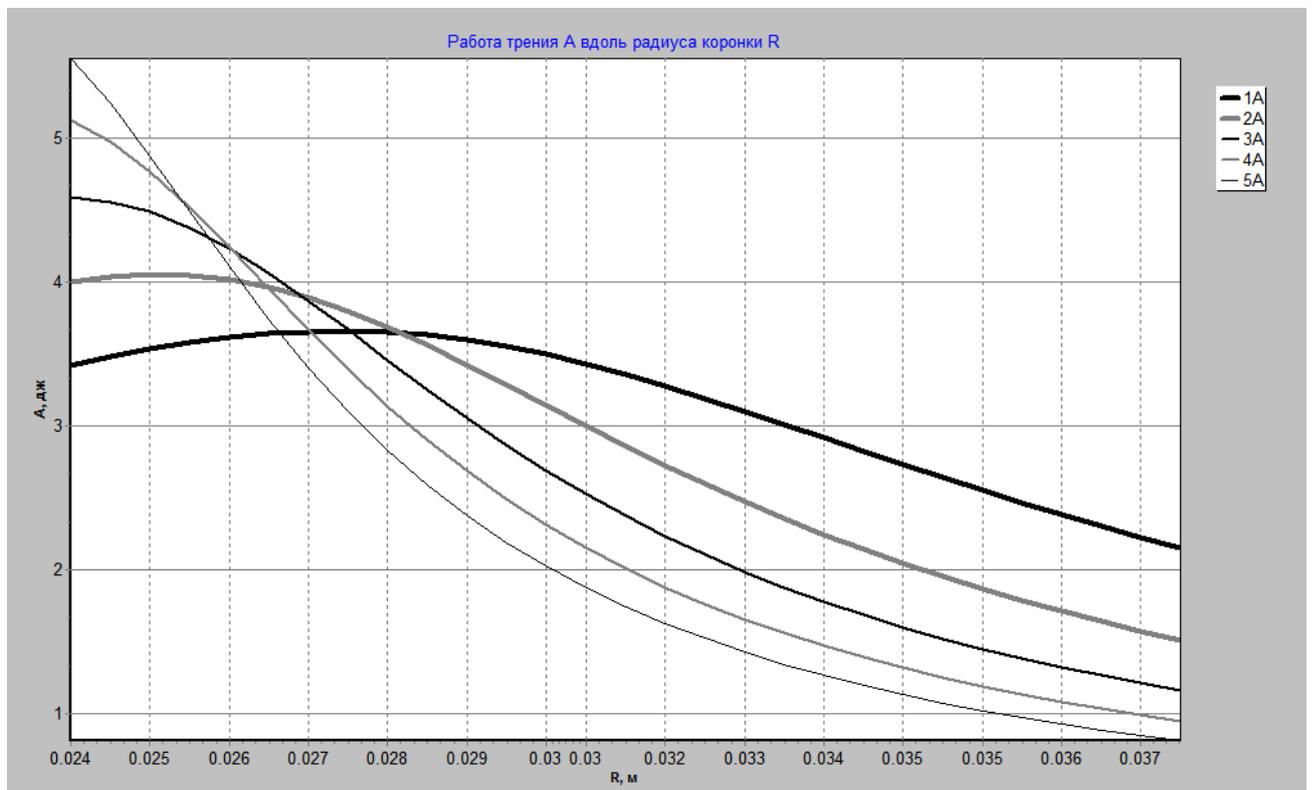


Рисунок 3 Отображение зависимости $A(R)$ (тоновая легенда)

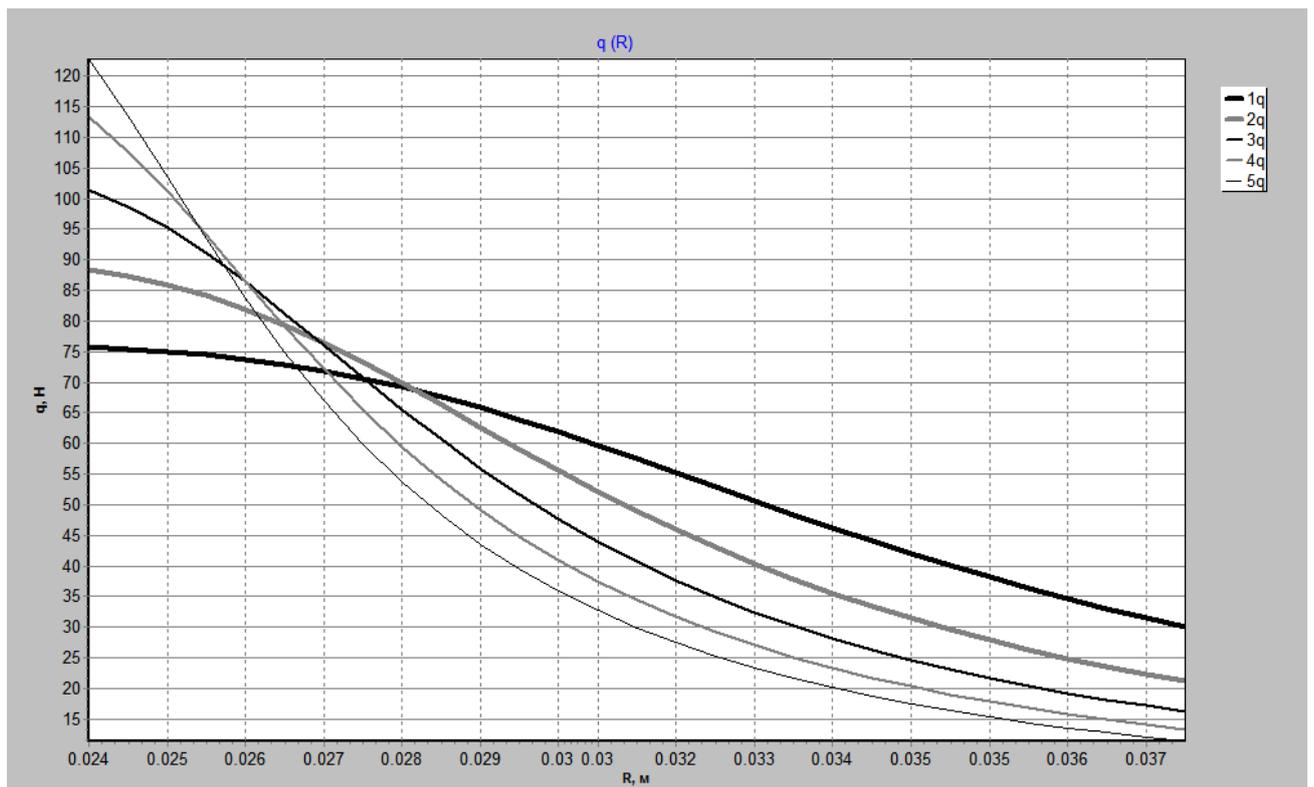


Рисунок 4 Отображение зависимости $q(R)$ (тоновая легенда)

«Легенда» графиков расположена в правом верхнем углу вкладки и связывает номер варианта с тоном или цветом графика:

- 1 – толстая черная или синий
- 2 – толстая серая или зеленый
- 3 – черная или красный
- 4 – серая или коричневый
- 5 – тонкая черная или малиновый

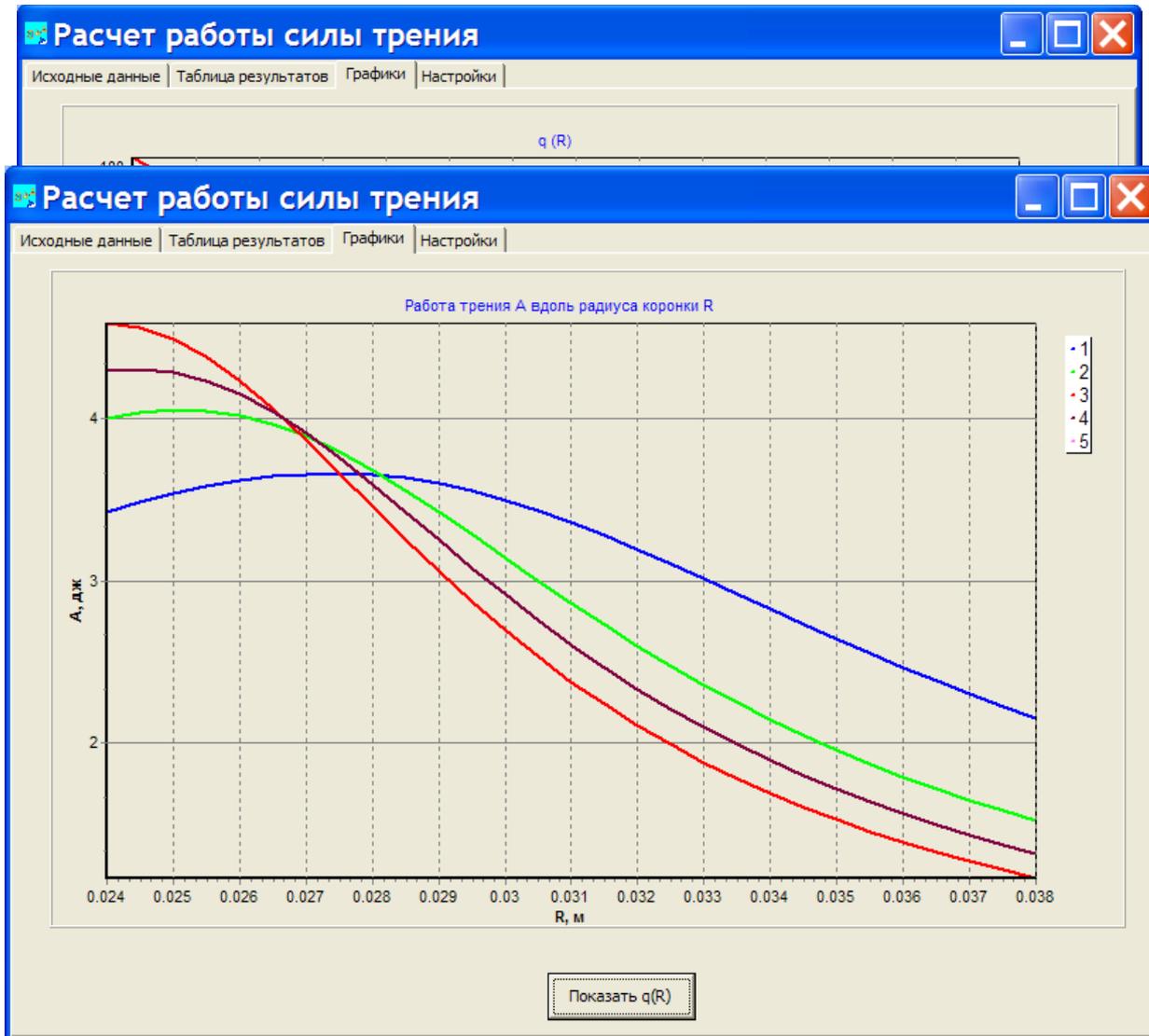
5. *Настройка программы.* Выполняется для изменения способа ввода исходных данных при запуске программы и сохранения данных и настроек при выходе из нее (см. рис.7).

7. Ввод исходных данных в программу

Данные для расчета вводятся поля на вкладке «Исходные данные» (см. рис. 1). Обозначения и физический смысл данных соответствуют указанным в п.4. величинам. Все размерные данные вводятся в системе СИ. Для разделения целой и дробной части действительных чисел используется символ *точка* (.). Ввод любых символов кроме цифр и точки заблокирован. Переключатель «Рассчитать» (в верхней части правой панели) позволяет переключаться между вычислением единственного значения работы A при заданном радиусе R (для тестирования расчета) и вычислением таблицы значений $A(R)$ (основной режим).

Для сохранения введенных данных как тестовых («эталонных») или рабочих используются кнопки «Сохранить текущие данные как тест» и «Сохранить в файл». Для использования ранее сохраненных данных используются кнопки «Восстановить тест» и «Восстановить из файла».

Рисунок 6. Вкладка "Графики", отображение зависимости $A(R)$ (цветная легенда)



Кнопка «Очистить данные» очищает все поля формы.

Чтобы обеспечить отображение результатов расчета нескольких вариантов на одном графике, для каждой группы вариантов расчета блокируется ввод пределов и шага изменения радиуса. Изменение этих данных становится возможным после нажатия кнопки «Очистить результаты».

8. Источники данных

Для сокращения времени подготовки данных они могут быть сохранены как тестовые («эталонные») и \ или как рабочие.

Тестовые данные сохраняются в инициализационном файле **CrownBit.ini**, который всегда располагается в той же папке, в которой находится программа.

Для загрузки и сохранения тестовых данных используются кнопки «Сохранить текущие данные как тест» и «Восстановить тест» в нижней части правой панели вкладки «Исходные данные». Может существовать только один набор тестовых данных. В файле **CrownBit.ini** вместе с тестовыми данными сохраняются настройки программы.

Для сохранения и загрузки рабочих данных используются кнопки «Сохранить в файл» и «Восстановить из файла» на правой панели вкладки «Исходные данные». При нажатии этих кнопок открываются стандартные диалоги сохранения и открытия файлов, позволяющие пользователю задать произвольные имена и папки для хранения файлов с рабочими наборами данных. Количество файлов с рабочими наборами данных не ограничено. Настройки программы в этих файлах не сохраняются.

Структура инициализационного и рабочих файлов описана в приложениях 1 и 2.

9. Результаты расчета

Результаты расчета отображаются на вкладках «Таблица результатов» (рис.2) и «Графики» (рис. 3-6.) .

Вкладка «Таблица результатов» отображает таблицу $q, A_T(R)$ для 1..5 вариантов расчета. Все варианты рассчитываются при одинаковом диапазоне и шаге изменения радиуса R .

Для каждого варианта расчета определяется значение A_{max} и соответствующее значение R . Полученные значения A_{max} , R и номера вариантов отображаются в таблице в нижней части вкладки.

Для отображения графиков функций $q, A(R)$ служит вкладка «Графики». Для перехода между отображением графика $A(R)$ и графика $q(R)$ служит кнопка «Показать ...» на вкладке «Графики».

Для формирования отчета с результатами вычислений служит кнопка «Отчет» на вкладке «Таблица результатов». Отчет формируется в виде документа Word и включает:

- страницу исходных данных (формируется отдельная страница для каждого варианта в серии расчетов), включающую: дату и время расчета, номер варианта, собственно исходные данные варианта;
- таблицу значений $q(R), A(R)$;
- таблицу максимальных значений $A(R)$ для каждого варианта в серии;
- графики $q(R), A(R)$.

При формировании отчета нужно иметь в виду следующие особенности:

- полученный после нажатия кнопки «Отчет» документ остается открытым, пока не будет закрыт (с сохранением или без сохранения) пользователем;
- если будет сформирован, а затем закрыт отчет, то исходные данные и результаты следующей серии расчетов будут помещаться в новый документ;
- если будет сформирован отчет, а затем продолжена или начата новая серия расчетов, то страницы с исходными данными будут добавляться в уже сформированный отчет. При этом результаты новых расчетов будут добавлены в отчет только после нажатия кнопки «Отчет».

Вид отчета (фрагмент) приведен в приложении 3.

10. Настройка программы

Вкладка «Настройка» (см. рис.7) служит для указания способа загрузки исходных данных при запуске программы и сохранения данных при выходе из нее.

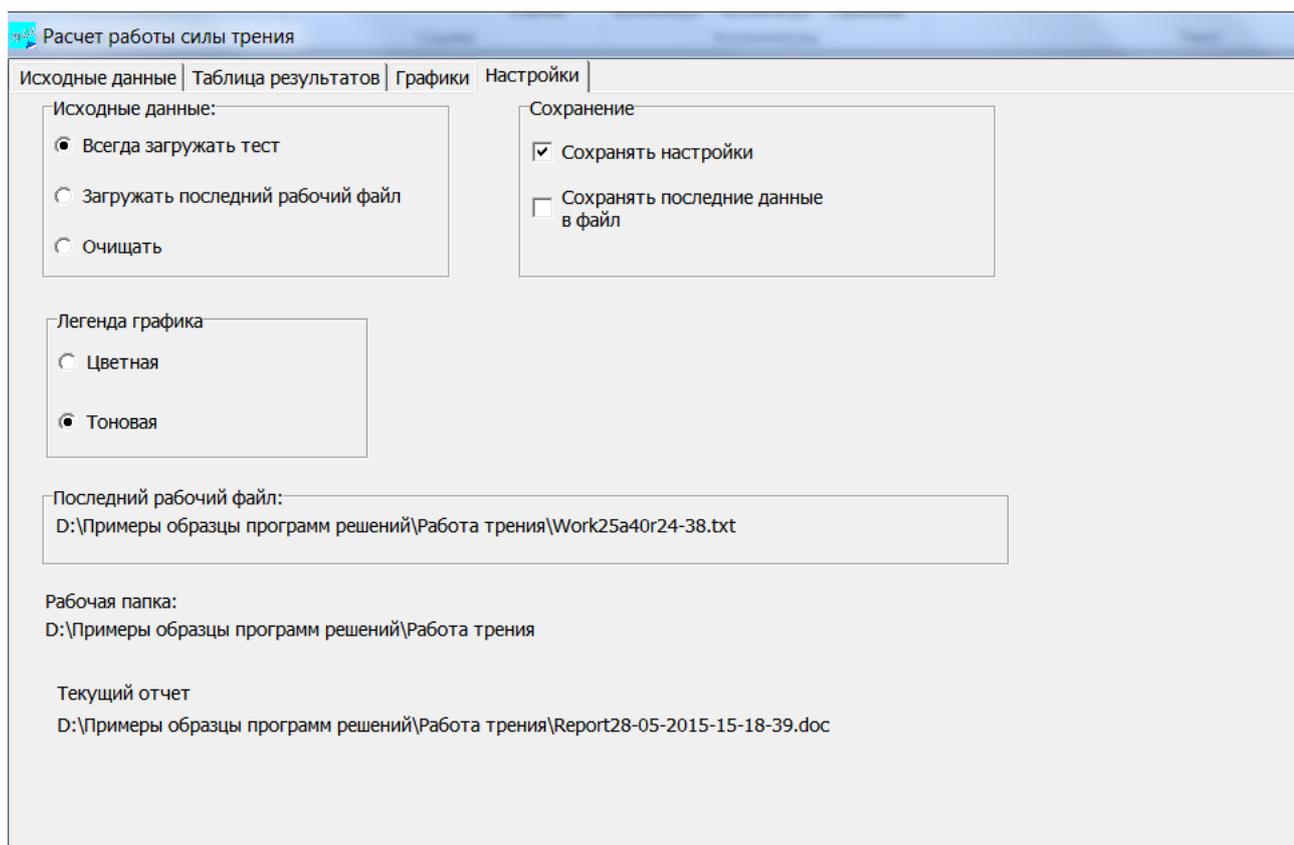


Рисунок 7 Вкладка "Настройка"

Переключатель «Исходные данные» определяет один из трех способов заполнения формы при запуске программы:

- заполнение данными тестового примера;
- заполняться данными из последнего сохраненного рабочего файла;
- очистка всех полей.

Флажки группы «Сохранение» определяют необходимость сохранения текущих настроек и данных при выходе из программы.

Переключатель «Легенда графика» служит для переключения цветового решения легенды графиков результатов между тоновым и цветной. Изменить легенду можно только перед расчетом. При выполнении каждой серии расчетов переключатель блокируется.

На вкладке также указывается полное имя (включая путь) последнего сохраненного рабочего файла, полное имя рабочей папки – той папки, в которой находится файл программы и полный путь к последнему документу с отчетом.

Замечания. 1) Если не установлен флажок «Сохранять настройки», то для сохранения настроек необходимо на вкладке «Исходные данные» выполнить «Сохранить текущие данные как тест». При этом в инициализационном файле будут сохранены как настройки, так и исходные данные.

2) При сохранении настроек сохраняется и установка для переключателя «Рассчитать», расположенного на вкладке «Исходные данные».

11. Сообщения программы

При выполнении программы возможна выдача предупреждающих и диагностических сообщений. Список сообщений (в алфавитном порядке), их причины и необходимые действия пользователя приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сообщения программы

<i>Текст сообщения</i>	<i>Причина</i>	<i>Действия пользователя</i>
Возможно, пропущены данные или неверный символ в данных!	Не удалось использовать данные из полей формы для расчета. Возможно, одно из полей формы не заполнено или в файле вместо десятичной точки введена запятая.	Исправить данные
Допустимо выполнение 5 вариантов расчета без очистки результатов!	Было выполнено пять вариантов расчета, кнопка «Расчитать» блокируется	Создать отчет и выполнить очистку результатов.
Еще не выполнен расчет!	Кнопка «Отчет» нажата до того как выполнен расчет	Перейти на вкладку «Исходные», нажать «Выполнить расчет», затем – «Отчет» на вкладке «Таблица результатов»
Задано мало рядов: N	Заданное число рядов алмазов в коронке ≤ 1	Исправить данные
Не достаточно данных для столбца $K_i \setminus D_i \setminus R_i$	В инициализационном или рабочем файле строка с количеством алмазов или с диаметрами алмазов или с радиусом рядов содержит меньше элементов, чем заданное количество рядов.	Скорректировать данные в файле.
Нет данных для графика!	Была нажата кнопка «График» на вкладке «Результаты» прежде, чем был выполнен расчет	Перейти на вкладку «Исходные данные», выполнить расчет и затем построить график.
(1) Не удалось создать отчет!	Ошибка при создании документа с отчетом. Возможно, не установлен Word или у пользователя нет прав для записи данных в папку с программой..	Убедиться, что у пользователя есть права на запись в папку с программой. Проверить работоспособность программы на компьютере с установленным MSOffice.
(2) Не удалось заполнить таблицу отчета!	Возникла ошибка при выводе в отчет таблицы результатов.	Проверить работоспособность Word. Повторить последнюю серию расчетов.
(3) Не удалось заполнить отчет!	Возникла ошибка при выводе в отчет исходных данных варианта.	Повторить последнюю серию расчетов.
(4) Не удалось открыть отчет!	Возможно, файл с текущим отчетом был удален.	Проверить работоспособность Word. Повторить серию расчетов, затем открыть отчет.
(5) Не следует закрывать отчет!	Это предупреждение. Пользователь перешел в просмотр отчета, после чего отчет был закрыт.	Не требуется.
Ошибка в данных: $R_t < R_o$	Задано не корректное соотношение текущего	Исправить данные

	радиуса и внутреннего радиуса коронки	
Ошибка инициализации Controls	Неопознанная ошибка при обработке параметров настройки в инициализационного файла	Проверить настройки программы и сохранить текущие данные как тест
Ошибка инициализации Data [имя файла]	Неопознанная ошибка при обработке инициализационного или рабочего файла	Заполнить поля формы корректными данными и сохранить их как тест или в рабочий файл
Ошибка преобразования в строке N	Не удалось построить график из-за неверных данных в таблице результатов.	Очистить данные и повторить расчет
Слишком много данных для столбца Ki\Di\Ri	В инициализационном или рабочем файле строка с количеством алмазов или с диаметрами алмазов или с радиусом рядов содержит больше элементов, чем заданное количество рядов.	Скорректировать данные в файле.
Закончить работу? Ok Cancel	Закрывается окно программы	Выбрать кнопку Ok для завершения работы или кнопку Cancel для отказа от окончания работы

Источники.

1. Ю. Е. Будюков. Моделирование износа алмазных буровых коронок
2. Ю.Е. Будюков, В.В. Кубасов, В.И. Спирин, А.Ю. Алексеев, А.В. Якушин. «Характер износа алмазной коронки». Приоритетные направления науки и технологий. Доклады XVII Всероссийской научн. –техн. конф. Тула: Из-во «Инновационные технологии», 2015г.

Приложение 1. Структура инициализационного файла

Инициализационный файл (*ini*-файл) создается и обновляется программой после нажатия кнопки «Сохранить текущие данные как тест» на вкладке «Исходные данные» или при выходе из программы, если на вкладке «Настройки» установлено «Сохранять настройки». В некоторых случаях может потребоваться корректировка файла. Она может быть выполнена с помощью любого текстового редактора. Данный раздел содержит сведения, необходимые для автономного создания или коррекции *ini*-файла.

Инициализационный файл программы располагается в той же папке, в которой располагается программа. Имя файла: **CrownBit.ini**. Для программы может существовать только один *ini*-файл, его имя не может быть изменено. Отсутствие *ini*-файла не нарушает работоспособность программы.

Файл включает два раздела; раздел настроек программы [controls] и раздел тестовых данных [test]. Строки разделов представляют собой пары:

<имя>=<значение>

При записи значений необходимо соблюдать следующие правила:

- порядок строк произвольный, в каждой строке только одна пара «имя-значение»;
- разделителем целой и дробной части действительных чисел является точка;
- элементы последовательностей (количество алмазов в ряду, диаметр алмазов ряда, радиусы рядов) отделяются друг от друга символом «точка с запятой (;).

В разделе [**controls**] содержатся значения ниже перечисленных параметров настройки, которые устанавливаются при запуске программы.

cntrInpMod – определяет, как будут заполняться поля ввода при запуске программы: **0** – поля ввода заполняются данными тестового примера, которые содержатся в *ini*-файле, **1** – поля заполняются данными из последнего сохраненного рабочего файла, **2** – поля ввода очищаются;

cntrCalcMod – определяет вид расчета: **0** – выполняется единичный расчет A_T при заданном значении R_T , **1** – рассчитывается таблица $A(R)$ для заданного диапазона ($R_{min}..R_{max}$) изменения радиуса с шагом $delR$;

cntrSaveContr – определяет необходимость сохранения настроек при выходе из программы: **0** – настройки не сохраняются (для сохранения изменений настроек требуется на вкладке «Исходные данные» нажать кнопку «Сохранить текущие данные как тест»), **1** – при выходе из программы текущие настройки сохраняются в *ini*-файле;

cntrSaveFile – определяет будут ли сохраняться текущие значения расчетных данных в рабочем файле: **0** – расчетные данные не сохраняются, **1** – при выходе из программы текущие значения расчетных данных сохраняются в рабочем файле (если такой файл был создан в текущем или в одном из предыдущих сеансов работы);

cntrPlotColor – определяет вид легенды графиков: **0** – цветная легенда, **1** – тоновая;

LastWorkFile – определяет полное имя (включая путь и расширение) последнего созданного рабочего файла.

В разделе [**test**] содержатся тестовые («эталонные») расчетные данные. Имена параметров соответствуют введенным в п.4. обозначениям.

f – коэффициент трения;

a – параметр уравнения профиля;

Q – осевая нагрузка;

n – количество рядов коронки;

Ro – внутренний радиус коронки;

Rt – значение радиуса коронки для расчета единичного значения A_T ;

Rmin, Rmax, delR – пределы и шаг изменения радиуса для построения таблицы $A(R)$;

k, d, r – наборы значений соответственно количества алмазов в ряду, диаметра алмаза, радиуса ряда. Число элементов в каждом наборе должно равняться **n**.

В табл.2 приведен пример *ini*-файла программы CrownBit.

Таблица 2. Пример инициализационного файла

```
[controls]
cntrInpMod=0
cntrCalcMod=1
cntrSaveContr=1
cntrSaveFile=1
LastWorkFile=C:\Работа трения\work100a2.txt
cntrPlotColor=1
[test]
f=0.30
a=40.00
Q=16000.0
n=9
Ro=0.020
Rt=0.020
Rmin=0.024
Rmax=0.038
```

```
delR=0.0005
K=36;36;36;36;24;32;32;32;32
d=0.0011;0.0011;0.0011;0.0011;0.0011;0.0011;0.0011;0.0011;0.0011
r=0.0240;0.02574;0.02750;0.02925;0.031;0.03275;0.0345;0.03625;0.038
```

Приложение 2. Структура рабочего файла данных

Рабочие файлы данных служат для сохранения расчетных данных с целью их повторного ввода при запуске программы или в ходе ввода данных. Может создаваться произвольное количество рабочих файлов, имя и расположение рабочих файлов произвольны и задаются пользователем.

Рабочий файл с данными создается при нажатии кнопки «Сохранить в файл» на вкладке «Исходные данные». При этом открывается стандартный диалог сохранения файлов, позволяющий выбрать папку и задать имя сохраняемого файла. Если на вкладке «Настройка» установлен флаг «Сохранять последние данные в файл», то при выходе из программы данные в последнем из созданных рабочих файлов будут обновлены.

Если в настройках программы указано «Загружать последний рабочий файл», то при запуске программы расчетные данные будут взяты из этого файла.

Любой ранее созданный файл данных может использоваться для получения значений расчетных данных. Для ввода данных из рабочего файла используется кнопка «Восстановить из файла» на вкладке «Исходные данные».

Рабочий файл включает единственный раздел **[test]**, полностью совпадающий с таким же разделом *ini*-файла.

В таблице 3 приведен пример рабочего файла данных.

Таблица 3. Пример рабочего файла

```
[test]
f=0.30
Q=16000.0
a=40.0
Rt=0.020
n=9
Rmin=0.024
Rmax=0.038
delR=0.0005
Ro=0.020
K=18;18;18;18;12;16;16;16;16
d=0.0011;0.0011;0.0011;0.0011;0.0011;0.0011;0.0011;0.0011;0.0011
r=0.0240;0.02574;0.02750;0.02925;0.031;0.03275;0.0345;0.03625;0.038
```

Приложение 3. Пример отчета

Далее показан фрагмент отчета, полученного при выполнении программы. Показан только один из четырех вариантов исходных данных, страницы с таблицами и графиками результатов в отчете имеют горизонтальную ориентацию, графики размещаются на новой странице.

03.08.2011 11:13:16, вариант 4

Расчет работы силы трения

Исходные данные:

Коэффициент трения f 0.30
Параметр профиля a 45.0
Осевая нагрузка Q 16000.0
Количество рядов коронки n 9
Внутренний радиус R_0 0.020

№ ряда	K_i	D_i	R_i
1	36	0.0011	0.0240
2	36	0.0011	0.02574
3	36	0.0011	0.02750
4	36	0.0011	0.02925
5	24	0.0011	0.031
6	32	0.0011	0.03275
7	32	0.0011	0.0345
8	32	0.0011	0.03625
9	32	0.0011	0.038

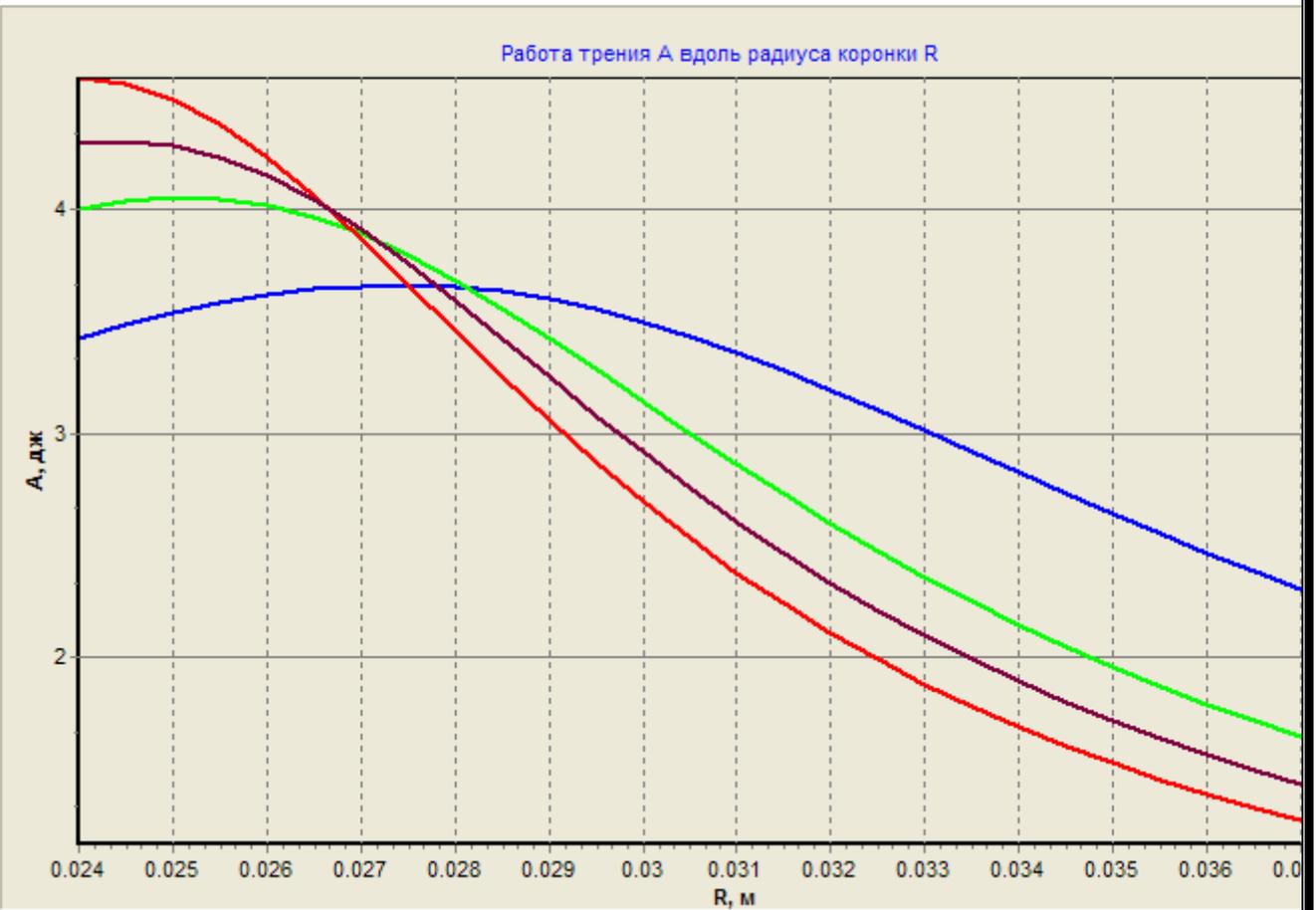
Значения $q(R)$, $A(R)$. Диапазон изменения R : от 0.024 до 0.038

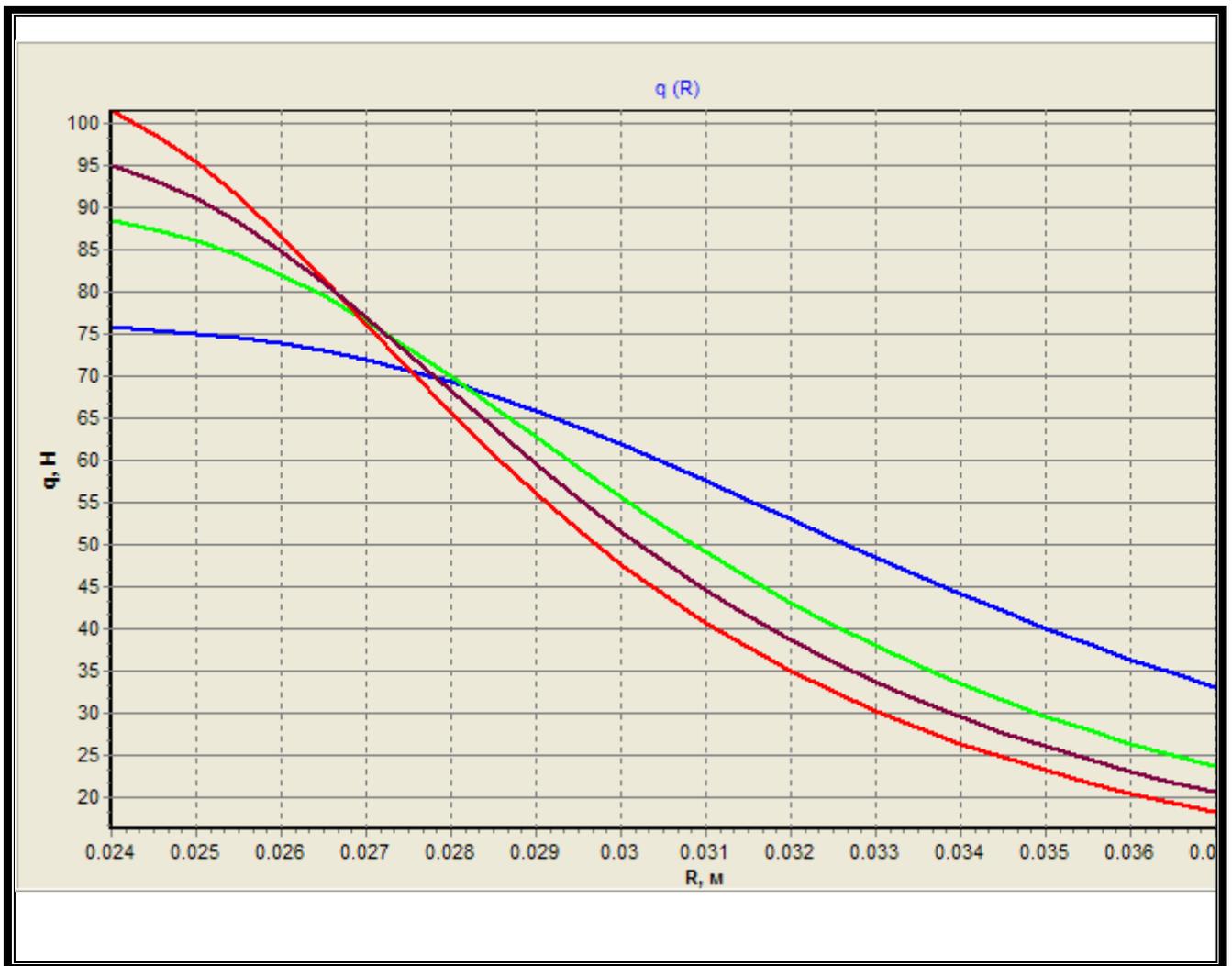
R	$q(R)1$	$A(R)1$	$q(R)2$	$A(R)2$	$q(R)3$	$A(R)3$	$q(R)4$	$A(R)4$
0.0240	75.698	3.425	88.419	4.000	101.422	4.588	94.975	4.297
0.0245	75.402	3.482	87.367	4.035	98.701	4.558	93.225	4.305
0.0250	74.994	3.534	85.960	4.051	95.246	4.488	90.939	4.285
0.0255	74.454	3.579	84.165	4.046	91.111	4.379	88.103	4.235
0.0260	73.762	3.615	81.970	4.017	86.419	4.235	84.753	4.154
0.0265	72.901	3.641	79.388	3.966	81.338	4.063	80.965	4.044
0.0270	71.858	3.657	76.459	3.891	76.055	3.871	76.846	3.911
0.0275	70.627	3.661	73.244	3.797	70.747	3.667	72.520	3.759
0.0280	69.205	3.653	69.818	3.685	65.559	3.460	68.112	3.595
0.0285	67.600	3.632	66.262	3.560	60.598	3.255	63.732	3.424
0.0290	65.823	3.598	62.656	3.425	55.935	3.058	59.470	3.251
0.0295	63.894	3.553	59.070	3.285	51.606	2.870	55.390	3.080
0.0300	61.838	3.497	55.564	3.142	47.623	2.693	51.536	2.914
0.0305	59.682	3.431	52.182	3.000	43.982	2.529	47.932	2.756
0.0310	57.454	3.357	48.956	2.861	40.668	2.376	44.586	2.605
0.0315	55.184	3.277	45.905	2.726	37.659	2.236	41.497	2.464
0.0320	52.899	3.191	43.040	2.596	34.929	2.107	38.656	2.332
0.0325	50.624	3.101	40.363	2.473	32.455	1.988	36.050	2.208
0.0330	48.381	3.009	37.872	2.356	30.211	1.879	33.661	2.094
0.0335	46.187	2.917	35.560	2.245	28.174	1.779	31.475	1.988
0.0340	44.056	2.823	33.418	2.142	26.322	1.687	29.473	1.889
0.0345	42.000	2.731	31.437	2.044	24.637	1.602	27.639	1.797

0.0350	40.025	2.641	29.604	1.953	23.100	1.524	25.958	1.713
0.0355	38.137	2.552	27.910	1.868	21.697	1.452	24.416	1.634
0.0360	36.337	2.466	26.344	1.788	20.413	1.385	22.999	1.561
0.0365	34.627	2.382	24.895	1.713	19.235	1.323	21.695	1.493
0.0370	33.006	2.302	23.553	1.643	18.154	1.266	20.494	1.429
0.0375	31.472	2.225	22.309	1.577	17.159	1.213	19.386	1.370
0.0380	30.022	2.150	21.156	1.515	16.241	1.163	18.362	1.315

Максимальные значения A(R)

1. A_{max}=3.66102 при R=0.0275	2. A_{max}=4.05076 при R=0.0250	3. A_{max}=4.58821 при R=0.0240	4. A_{max}=4.30528 при R=0.0245
--	--	--	--





Приложение Б

Акт производственных испытаний модернизированных
алмазных коронок от 06.04.2015г
К-41СВМ и алмазных коронок-разбурников Р1-93РМ
производства АО «Тульское НИГП»

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «ПетроБур», к.т.н.



В.С. Прокопенко

«06» апреля 2015г.

А К Т

производственных испытаний модернизированных алмазных коронок К-41СВМ и алмазных коронок-разбурников Р1-93РМ производства АО «Тульское НИГП» на основании договора № 18-01 на изготовление и поставку научно-технической продукции от 15.01.2015г. между АО «Тульское НИГП» и ООО «ПетроБур»

Мы, нижеподписавшиеся, зав. сектором буровых работ ООО «ПетроБур» А.Ю. Ридер и ведущий специалист ООО «ПетроБур» Н.Е. Тихонов составили настоящий акт о том, что модернизированные алмазные коронки К-41СВМ и коронки-разбурники Р1-93РМ, разработанные и изготовленные в АО «Тульское НИГП», прошли производственные испытания при бурении плановых скважин в твёрдых трещиноватых и окварцованных породах VII – X категории по буримости на рациональных режимах снарядами со съёмными керноприёмниками (КССК) в ООО «Норильскгеология». При этом за базу испытаний приняты лучшие алмазные коронки К-41 и шарошечные долота В93-К (для коронок-разбурников). Результаты испытаний приведены в нижеследующей таблице.

Тип инструмента	Количество отработанного инструмента, штг.	Проходка на инструмент, м	Категория пород по буримости	Выход керна, %	Средняя механическая скорость бурения, м/ч	Расход алмазов, кар/м
Р1-93РМ	3	150,1 ✓	VII- IX	-	2,5	0,12
Долото В93-К	4	60,3	VII- IX	-	2,1	-
К-41-3СВМ	7	98,1 ✓	VIII-X	89	1,86	0,31
К-41	7	50,2	VIII-X	87	1,45	0,52

Анализ данных таблицы показывает, что применение модернизированных коронок К-41-3СВМ вместо стандартных коронок К-41 эффективнее: по стойкости на 95 %, по механической скорости на 28 %, по расходу алмазов на 68 %, применение коронок-разбурников Р1-93РМ (по базе сравнения – самое эффективное при разбуривании скважин шарошечное долото В93-К) эффективнее: по стойкости на 149 %, по механической скорости на 19 %.

Таким образом, в результате испытаний установлено, что модернизированные алмазные коронки К-41СВМ и коронки - разбурники Р1-93РМ имеют более высокие эксплуатационные показатели по сравнению с базовым инструментом.

Подписи:  А.Ю. Ридер

 Н.Е. Тихонов