

На правах рукописи

БУЧКОВСКИЙ Евгений Владимирович

Повышение эффективности бурения глубоких разведочных скважин снарядами со съёмными керноприёмниками на основе применения модернизированных алмазных коронок.

Специальность 25.00.14 – технология и техника геологоразведочных работ.

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена на кафедре Современных технологий бурения скважин имени проф. Б.И. Воздвиженского в государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ-РГГРУ

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Николай Владимирович Соловьёв.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Леонид Артемьевич Лачинян

кандидат технических наук
Петров Игорь Петрович

Ведущее предприятие: ФГУГП «Гидроспецгеология»

Защита диссертации состоится 22 февраля 2012г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д212.121.05 при Государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ-РГГРУ

Адрес: 117997 , Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, аудитория 4-15^Б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ.

Автореферат разослан 21 января 2012г.

Учёный секретарь
диссертационного совета, к.т.н.



Назаров А.П.

Актуальность работы.

Методика и технология бурения скважин на твердые полезные ископаемые до глубин 1000-1500м разработаны теоретически и освоены практически достаточно хорошо, что подтверждается высокими технико-экономическими показателями бурения таких скважин. Однако ряд новых проблем, связанных с освоением технологии бурения глубоких горизонтов начинает проявляться уже с глубин 1500-1700м, поэтому и особенности бурения таких скважин рассматриваются для интервалов глубин 1500-3500м. На глубинах свыше 1500м начинают в возрастающей мере проявляться факторы горного давления: рост прочностных свойств магматических и метаморфических пород, понижение способности к пластической деформации этих пород по сравнению с осадочными породами; возрастание гидростатического давления, затрудняющее очистку забоя от продуктов разрушения; зависимость отбора кондиционного керна в глубоких скважинах от правильного выбора плотности бурового раствора и соответствия конструкции керноприемного устройства реальным геологическим условиям.

Необходимо увеличение ресурса алмазного породоразрушающего инструмента, которого при бурении глубоких скважин является явно недостаточно: ресурс коронки в этих условиях применения по сравнению с бурением верхних горизонтов снижается в 1,5-3,0 раза, что вызвано как дополнительным износом породоразрушающего инструмента при проведении спускоподъемных операций, так и возрастанием прочностных свойств горных пород. Имеются и другие проблемы, сдерживающие широкое развитие глубокого геологоразведочного бурения: обеспечение сохранности ненарушенной структуры керна, максимальная защита его от разрушающих факторов при бурении и подъеме на поверхность; разработка рецептур промывочных жидкостей для глубоких горизонтов скважин, параметры которых учитывали бы факторы горного давления, температуры горных пород на этих горизонтах и специфику бурения, связанную с малыми кольцевыми зазорами в скважине.

Анализ факторов горного давления и результатов бурения глубоких скважин показывает сложность разведки бурением глубоких горизонтов и требует проработки ряда технологических вопросов их проходки.

Цель работы.

Повышение технико-экономической и геологической эффективности бурения глубоких геологоразведочных скважин.

Идея работы.

Совершенствование процесса алмазного бурения глубоких геологоразведочных скважин на основе создания и применения модернизированного алмазного породоразрушающего инструмента с повышенным ресурсом для снарядов со съёмными керноприемниками.

Задачи исследований.

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта бурения глубоких геологоразведочных скважин.
2. Оценка факторов, влияющих на износ алмазных коронок при спускоподъёмных операциях (СПО).
3. Исследование и моделирование износа алмазных буровых коронок.
4. Исследование закономерностей работы алмазных коронок и их модернизация по усилению защиты матрицы от интенсивного износа при СПО.
5. Модернизация алмазных коронок для бурения мягких неустойчивых пород.
6. Разработка математической модели скоростной углубки скважины.
7. Установление рационального режима алмазного бурения модернизированными алмазными коронками для КССК-76 и оценка технико-экономической эффективности бурения с их применением.

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 применением современных методов прикладной математики. Опытные данные обрабатывались методами математической статистики с применением ПЭВМ.

Научная новизна исследований.

1. Установлены экспериментальные зависимости показателей работоспособности алмазной коронки и углубки за один оборот от глубины скважины.
2. Получена зависимость коэффициента износа $K_{и}$ при спускоподъёмных операциях от глубины скважины, который возрастает с увеличением глубины скважины.
3. Получена зависимость диаметра алмазного зерна в подрезных слоях матрицы коронки от действующего осевого усилия и параметров физико-механических свойств горных пород.
4. Установлена зависимость работы трения за один оборот алмазной коронки от осевой нагрузки и ее конструктивных параметров.
5. Получена аналитическая зависимость удельного веса материала защитной пленки от параметров промывочной жидкости, площади кольцевого сечения скважины и механической скорости бурения.

Практическая ценность диссертации.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований:

1. Разработана методика расчета работы трения в зависимости от радиуса алмазной коронки, которая позволяет определить конструктивные параметры алмазных коронок с увеличенной стойкостью.
2. Предложена эффективная конструкция алмазной коронки, способствующая сохранности алмазного вооружения матрицы при спускоподъемных операциях в глубоких скважинах.
3. Разработана и внедрена в производство новая конструкция промывочных каналов алмазных коронок для бурения в «стреляющих» горных породах: аргиллитах, роговиках, базальтах и др., способствующая сохранности керна и повышению производительности бурения
4. Уточнены рекомендации по технологии бурения глубоких скважин комплексами снарядов со съёмными кернаприемниками.
5. Разработаны критерии оптимальной продолжительности рейса при бурении снарядами со съёмными кернаприемниками..

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Защищаемые научные положения и практические рекомендации обоснованы необходимым объемом теоретических и экспериментальных исследований, а также проверкой положений, выводов и рекомендаций в условиях максимально приближенных 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 РГГРУ имени Серго Орджоникидзе « Новые идеи в науках о земле»

Публикации Основные положения диссертационной работы изложены в 12 опубликованных работах, поданы две заявки на предполагаемые изобретения и полезные модели, которые находятся на рассмотрении в Федеральную службу по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, по одной из которых получен патент.

Объем и структура диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 67 наименований. Диссертация содержит 16 таблиц и 18 рисунков.

Во введении обоснованы актуальность и научно-техническое значение повышения эффективности бурения глубоких разведочных скважин для выявления промышленных запасов твердых полезных

ископаемых. Определены цель и задачи диссертационной работы, представлены основные защищаемые положения и результаты реализации работы

В главе 1 на основе анализа теории и практики проходки глубоких разведочных скважин в нашей стране и за рубежом определены основные направления повышения эффективности бурения глубоких разведочных скважин снарядами со съёмными керноприёмниками.

В главе 2 изложена методика проведения комплексных исследований.

Глава 3 посвящена выбору и совершенствованию конструкций алмазного породоразрушающего инструмента для бурения глубоких разведочных скважин снарядами со съёмными керноприёмниками.

В главе 4 изложены результаты исследований по совершенствованию технологии бурения глубоких разведочных скважин.

В главе 5 дана технико-экономическая и геологическая оценка применения новой технологии бурения глубоких скважин с применением модернизированных алмазных коронок.

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

Содержание работы.

В своей работе автор опирался на результаты исследований по изучению влияния глубины скважин на напряженно-деформированное состояние системы забой – алмазная коронка по выбору и совершенствованию конструкций алмазного породоразрушающего инструмента и технологии бурения глубоких разведочных скважин, выполненные многочисленными учеными и крупными специалистами: Воздвиженским Б.И., Шамшевым Ф.А., Уткиным И.А., Волковым С.А., Остроушко И.А., С.А., Кардышем В.Г., Кудряшовым Б.Б., Козловским Е.А., Башкатовым Д.Н., Калининым А.Г. Сулакшиным С.С., Эйгелесом Р.М., Власюком В.И., Соловьевым Н.В., Царицыным В.В., Горшковым Л.К., Корниловым Н.И. Курочкиным П.Н., Онициным В.П., Лачиняном Л.А., В.П., Морозовым Ю.Т., Афанасьевым И.С., Арцимовичем Г.В., Будюковым Ю.Е., В.П. Онициным, Спириным В.И., Богдановым Р.К., Рябчиковым С.Я., Осецким А.И. Куликовым В.В., Яковлевым А.А., Дж. Камингом, Кацуро, Сасаки, Тойхико Хирото и рядом других.

Теории и практике бурения снарядами со съёмными керноприёмниками посвящены работы Боголюбского К.Л., Зиненко В.П., Кирсанова А.Н., Касаточкина А.В., Сладкова В.И., Блинова Г.А., Григорьева В.Г., Никанорова А.М., Панина Н.М., Васильева В.И.,

Пономарева П.П., Каулина В.А., Зорина В.Н., Мендыбаева К.М., Жаркова С.Н., Липатникова В.П., Красовского В.П., Никулина В.Я., Сачивко Г.Н., Денисова М.А., Жарова А.С., Плавского Д. Н., Кужального В.М., Бергштейна О.Ю., Великосельского М.А., Вугина Р.Б., Щербакова М.Н., Гинзбурга И.М. и др.

Выполненные по вышеуказанным вопросам исследования позволили сформулировать следующие основные защищаемые положения.

Первое защищаемое научное положение. При определении ресурса алмазной коронки для бурения глубоких разведочных скважин, необходимо учитывать выявленные нами зависимости показателей, характеризующих работоспособность алмазных коронок от глубины скважины.

Анализ теоретических разработок и производственных данных позволил выявить и классифицировать по систематизационным признакам факторы, влияющие на износ коронок при спускоподъемных операциях. Для формализации сведений о факторах, определяющих износ коронок при СПО в процессе бурения глубоких разведочных скважин КССК-76 принят метод ранжирования факторов (априорное ранжирование).

Результаты априорного ранжирования факторов, влияющих на износ алмазных коронок при СПО в процессе бурения скважин КССК-76 представлены в табл. 1.

Результаты априорного ранжирования факторов Таблица 1.

Факторы и их №№ k	Условные номера экспертов, m								Сумма рангов	Отклонение суммы рангов	$(\Delta_k)^2$	Занимаемое место	Вес фактора
	1	2	3	4	5	6	7	8					
	Ранги оценки a_{km}												
Диаметр коронки (k=1)	3	3	4	3	3	4	3	4	27	-21	441	3	0,14
Диаметр корпуса коронки (k=2)	2	1	2	2	1	2	2	2	14	-34	1156	2	0,15
Выпуск алмазов (k=3)	9	9	10	10	11	9	11	9	78	30	900	11	0,01
Качество алмазов коронки (k=4)	4	4	3	4	4	3	4	3	29	-19	361	4	0,12
Глубина скважины (k=5)	5	5	6	5	6	5	6	5	43	-5	25	5	0,11
Диаметр расширителя (k=6)	7	8	7	7	8	7	8	6	58	10	100	7	0,07
Наличие защитных элемент. матрицы (k=7)	1	2	1	1	2	1	1	1	10	-38	1444	1	0,17

Диаметр стабилизатора (k=8)	11	11	11	11	10	11	9	10	84	36	1296	10	0,03
Наличие уступов в скважине (k=9)	8	7	8	8	7	8	5	11	62	14	196	8	0,06
Твёрдость горной породы (k=10)	10	10	9	9	9	10	10	8	75	27	729	9	0,05
Время СПО (k=11)	6	6	5	6	5	6	7	7	48	0	0	6	0,09
ИТОГО:	$\sum_{k=1}^k \Delta_k$ 528								S=6648		1,00		

Важной задачей развития техники и технологии бурения скважин глубиной свыше 1500 м является совершенствование существующего алмазного породоразрушающего инструмента, эффективность применения которого с увеличением глубины не снижалась бы. Для этого с использованием материалов ОАО «Тулское НИГП», СКБ НПО «Геотехника», ВИТРа, и ВНИИБТ исследованы некоторые закономерности работы и износа алмазных коронок К-16 при бурении КССК-76 глубоких скважин (свыше 2000 м) в условиях Норильской ГРЭ. При бурении использовались буровые установки ЗИФ-1200 МР, СКБ-8. Разрез скважин был представлен породами V-IX категориями по буримости.

При отработке алмазных коронок тщательно контролировалось их состояние, замерялись наружный и внутренний диаметры и высота матрицы перед началом и окончанием каждого рейса, и работоспособность коронок оценивалась по среднему ресурсу коронки L , расходу алмазов q и углубке за один оборот коронки.

Графики приведенные на рис.1 свидетельствуют о том, что имеются определенные зависимости ресурса коронки, расхода алмазов и углубки за один оборот от глубины скважины. Эти показатели с ростом глубины скважины в условиях Норильской экспедиции резко ухудшаются: в интервале бурения скважины 1000-2750 м уменьшаются ресурс коронки на 67%, углубка за один оборот на 78%, а расход алмазов возрастает на 52%. Причём коэффициент буримости пород K (представляющий собой отношение текущей углубки за один оборот к базовой углубке за один оборот) возрастает с увеличением глубины скважины, что совпадает с изменением аналогичного показателя при бурении Кольской сверхглубокой скважины (12000м) в интервале глубин 0,5÷5,0км. Это объясняется дополнительным износом коронок при проведении спускоподъёмных операций и ухудшением условий удаления с поверхности забоя частиц выбуренной породы, а также увеличением твердости горных пород.

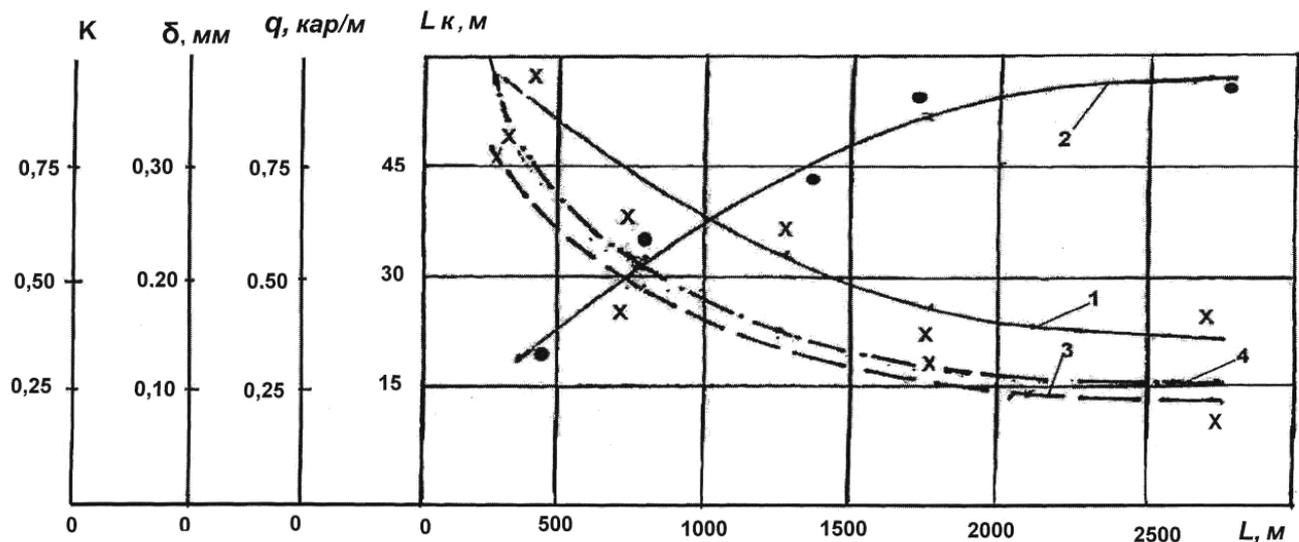


Рис. 1 Изменение показателей работоспособности алмазных коронок К-16 и коэффициента буримости K с глубиной скважины L при бурении в Норильской ГРЭ:

1- ресурс коронок; 2 – расход алмазов; 3 – углубка за один оборот;
4 – коэффициент буримости горной породы

Для подтверждения закономерности повышения твердости горных пород с увеличением глубины скважин, нами проанализированы результаты исследований Норильского индустриального института и ОАО «Туйское НИГП».

Мы считаем, что при СПО в глубоких скважинах наружные подрезные алмазы коронки, двигаясь по стенке скважины, подвергаются абразивному износу вследствие прямого динамического контакта со стенками скважины. При бурении в условиях абразивных пород Норильских месторождений при СПО происходит дополнительный износ коронки по наружному диаметру на 0,2-0,4 мм.

Для оперативной оценки износа алмазных коронок при СПО введено понятие коэффициента K_u износа коронок, который представляет собой отношение пути пробега подрезных алмазов коронки при СПО к пути трения этих алмазов при бурении коронкой

$$K_u = \frac{L_{СПО}}{L_\delta} = \frac{2L \cdot N h_0}{\pi d \cdot L_K} \quad (1)$$

где $L_{СПО}$ – путь пробега подрезных алмазов при СПО, м;

L_δ - путь трения алмазов при бурении, м;

L – глубина скважины, м;

N – количество рейсов при бурении, шт;

V_K – механическая скорость бурения, м/с;

n – частота вращения, s^{-1} ;

d – диаметр коронки, м;

L_K – ресурс коронки, м;

h_0 – углубка коронки за один оборот, м.

В соответствии с формулой (1) коэффициент износа K_u прямо пропорционален глубине скважины, количеству рейсов, углубке за один оборот коронки и обратно пропорционален диаметру коронки и её ресурсу. Поэтому алмазную коронку целесообразно обрабатывать за один рейс.

На рис. 2 приведены графики зависимости K_u от глубины скважины, рассчитанной по формуле (1) для условий бурения КССК-76 с коронкой К-16 соответственно с защитными элементами матрицы и без них.

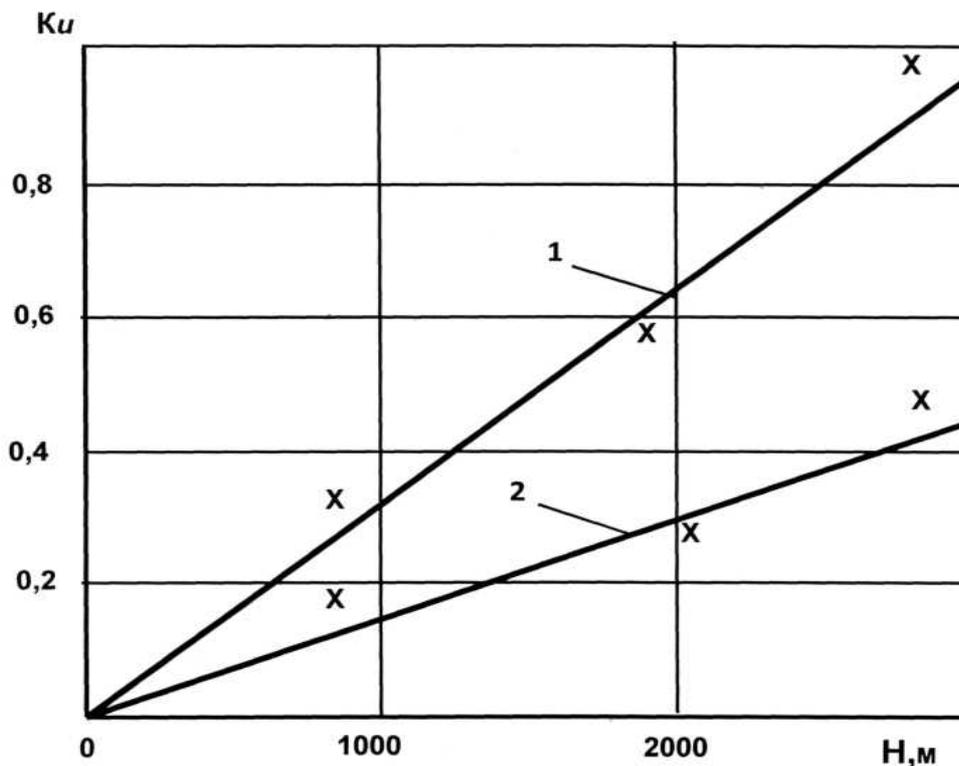


Рис. 2. Зависимость коэффициента износа K_u при спускоподъёмных операциях от глубины скважины
1 – для коронок без защитных элементов матрицы;
2 – для коронок с защитными элементами матрицы

Как видно из графиков, представленных на рис. 2 коэффициент износа с защитными элементами в два раза меньше аналогичного показателя для коронок без защитных элементов, что свидетельствует о высокой эффективности применения защитных элементов для предохранения коронок от износа при СПО

С учётом этого проводились исследования по совершенствованию конструкций алмазных коронок для бурения КССК-76.

Второе защищаемое научное положение. Применение специальных алмазных коронок, у которых диаметр корпуса выбран по установленной зависимости, а породоразрушающая часть покрыта защитными износостойкими элементами специальной конструкции обеспечивает полную сохранность этого инструмента при дохождении его до забоя и эффективное разрушение им породы при бурении на глубоких горизонтах, а использование предложенных специальных алмазных ступенчатых буровых коронок обеспечивает изоляцию керна от контактной промывочной жидкостью при бурении слабых, сыпучих и трещиноватых пород.

Необходимо заметить, если матрица алмазной коронки будет иметь защитные элементы, то при спуске снаряда она не будет изнашиваться, а износ её будет происходить только при подъёме и общий износ уменьшится.

На износостойкость алмазного породоразрушающего инструмента (коронки) значительное влияние оказывает форма его рабочего торца. Поэтому нами аналитически рассмотрено влияние ступенчатой формы торца на распределение контактного давления и работы трения вдоль радиуса алмазной коронки, обуславливающей в основном износостойкость инструмента. Получено аналитическое выражение для работы трения за один оборот алмазной коронки в виде:

$$A_T = \frac{2\pi f R Q \cdot d_i \cdot V_i}{\sum_1^n K_i \cdot d_i \cdot V_i^2}, \quad (1)$$

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

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.

С применением зависимости (1) и формулы распределения нормального давления вдоль радиуса коронки произведены расчёты нормального давления и работы трения для алмазной коронки при осевой нагрузке 1600Н, общем количестве объёмных зёрен 212 штук и различным количеством объёмных зёрен, контактирующих с забоем при условии, что $y' = 0$. Данные расчетов использованы для построения графиков приведенных на рис. 3.

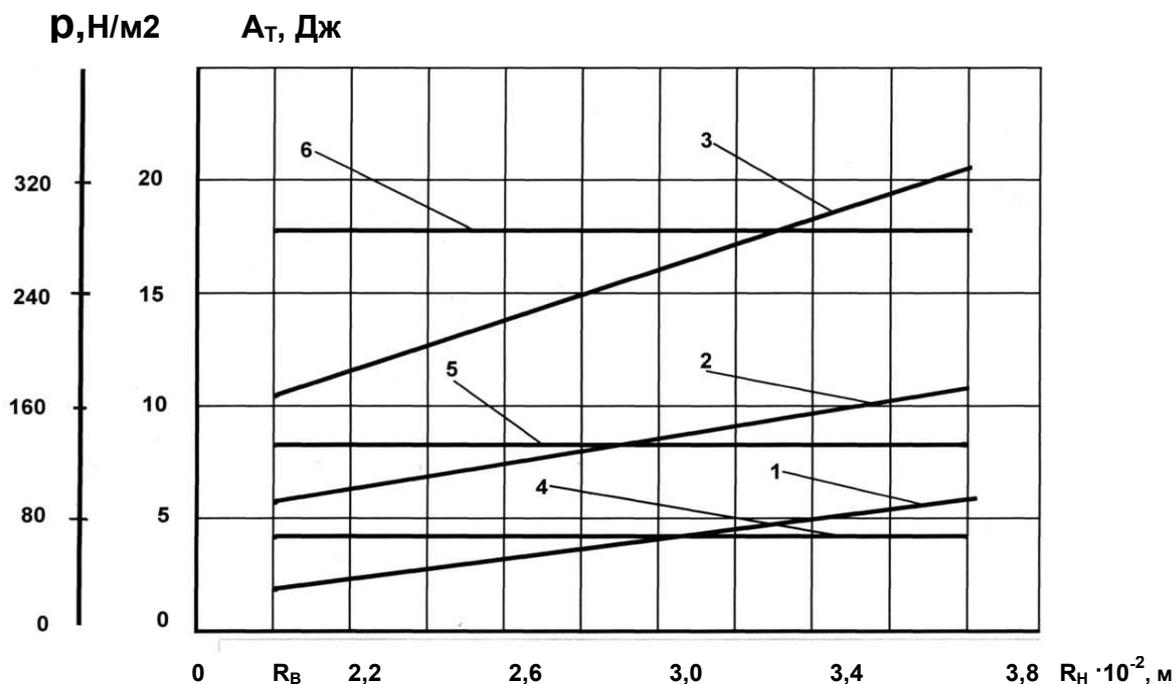


Рис. 3 Зависимость давления (p) и работы трения (A_T) от радиуса ступенчатой коронки при различных значениях количества зерён алмазов, контактирующих с забоем.

- а) 1,2,3 – работы трения при количестве контактирующих зерён 100,50, и 25% соответственно от общего количества объёмных зерён;
 б) 4,5,6 – нормального давления при количестве контактирующих зерён 100,50 и 25% соответственно от общего количества объёмных зерён.

Анализируя полученные графики зависимостей рис.3, можно отметить, что уменьшение количества алмазных зерён, одновременно вступающих в контакт с забоем приводит к значительным перегрузкам отдельных алмазов. Кроме того, при уменьшении количества контактирующих с забоем алмазов в 2 и 4 раза по сравнению с их общим количеством удельные нагрузки на алмазные зёрна возрастают соответственно в 2 и 4 раза, что способствует интенсификации износа алмазных зерён всего объёмного слоя коронки.

Наибольшее значение работы трения при бурении коронками 17А4-76 наблюдается при величине радиуса $R = (3,0 \div 3,8)10^{-2} м$, т.е. на ступенчатой части матрицы коронки при различных числах алмазных зерён, находящихся в контакте с забоем – 100, 50 и 25% от их общего количества в инструменте. Это приводит к более интенсивному износу ступенчатой части матрицы относительно её пилота, что подтверждается характером износа алмазных ступенчатых коронок 17А4, отработанных в Норильской ГРЭ,

Необходимо, чтобы число алмазов, вступающих в контакт с горной породой было постоянным и возможно большим или равным его объёмному количеству в инструменте. Для этого следует повышать точность изготовления однослойного породоразрушающего инструмента, добиваясь максимального уменьшения разновысотности алмазов,

расположенных по одной окружности, а также секторов матрицы коронки и качественного нарезания резьбы коронки и расширителя.

С целью получения равномерной стойкости коронки по всему рабочему торцу необходимо армировать ступенчатую часть матрицы алмазами более высокого качества, чем алмазы её пилотной части.

В ОАО «Тулское НИГП» разработана оригинальная и высокопроизводительная технология изготовления алмазных коронок в графитопластмассовых формах, позволяющая исключить разновысотность алмазов и секторов коронок в процессе их термо и механической обработки. Поэтому коронки 17А4 производства этой организации работают по режиму, характеризующемуся графиками 1 и 4 рис. 2 и аномального износа при бурении практически не имеет. Что нельзя отметить, рассматривая работу алмазных коронок других поставщиков, технология изготовления инструмента которых менее совершенна и как следствие коронки имеют разновысотность алмазов и секторов и повышенный износ при бурении.

На основании аналитического рассмотрения процесса очистки забоя от выбуренной породы и разрушенных частиц плёнки нами найдена зависимость, выражающая условие выноса на поверхность промывочной жидкостью разрушенных частиц плёнки.

$$\gamma_n < \gamma_t + \left(W - d_{шт} \frac{\tau_o}{\eta} \psi(a) \right) \frac{F_\phi (\gamma - \gamma_t) \cdot \epsilon}{F_3 \cdot V_M}, \quad (2)$$

где W - скорость восходящего потока промывочного агента, м/с;

γ_n - удельный вес материала плёнки, Н/м³;

γ_t - удельный вес промывочной жидкости, закачиваемой в скважину, Н/м³;

$d_{шт}$ - диаметр частицы разрушенной плёнки, м;

τ_o - динамическое напряжение сдвига, МПа;

η - коэффициент структурной вязкости

$$\psi(a) = \frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{a}}{\lambda} - 1 \right),$$

где $a = d_{шт} / d_o$, d_o - диаметр нетонущей частицы, м;

λ - коэффициент пропорциональности;

F_ϕ - площадь кольцевого сечения скважины, м²;

γ - удельный вес промывочной жидкости в кольцевом пространстве, Н/м³;

F_3 - площадь забоя скважины, м²;

V_M - механическая скорость бурения, м/с;

ϵ - коэффициент, учитывающий винтообразное движение частиц ($\epsilon = 1,25 \div 1,27$).

Формула (2) выражает условие выноса на поверхность промывочной жидкости разрушенных частиц защитной плёнки.

На основе проведенных исследований износа алмазных коронок в Норильской ГРЭ с целью предотвращения износа коронок при СПО предложена на уровне полезной модели специальная алмазная коронка Рис.4, у которой диаметр корпуса выполнен по установленной зависимости, а породоразрушающая часть покрыта защитными износостойкими элементами специальной конструкции.

$$d_K = Kd_M, \quad (3)$$

где d_K - наружный диаметр корпуса коронки, м;

K - опытный коэффициент ($K=1,001\div 1,005$)

d_M - диаметр матрицы коронки, м;

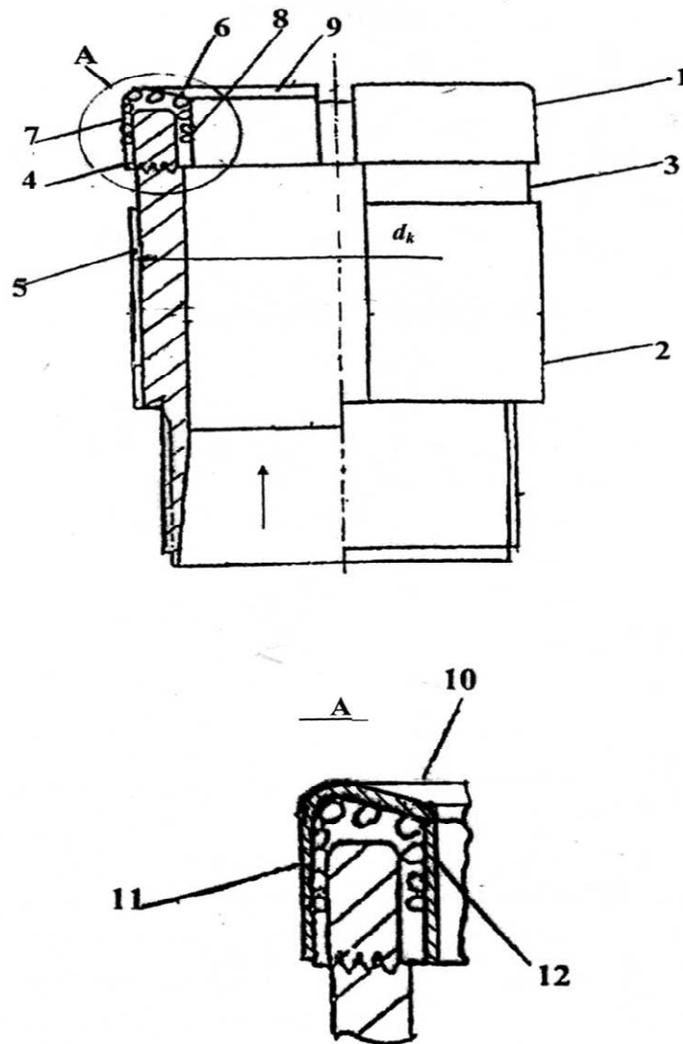


Рис. 4. Алмазная буровая коронка

1 – матрица; 2 – корпус; 3 – проточка; 4 – промывочный канал; 5 – продольный канал; 6 – торцевые алмазы; 7 – наружные подрезные алмазы; 8 – внутренние подрезные алмазы; 9- сектор; 10 – плёнка; 11 – плёнка наружная; 12 – плёнка внутренняя.

При бурении слабых, сыпучих и трещиноватых пород необходимо обеспечить изоляцию керна от контакта с промывочной жидкостью. В результате проведенных исследований предложена на уровне изобретения алмазная ступенчатая буровая коронка (Рис.5), у которой торцевые цилиндрические каналы имеют выход непосредственно на рабочий торец, а диаметр торцевого канала определяется по формуле

$$d = \sqrt{\phi S (2gh)^{0,5} / \pi nV}, \quad (4)$$

где d - диаметр дополнительного цилиндрического промывочного канала, м;

ϕ - коэффициент скорости потока;

S - суммарная площадь поперечных сечений дополнительных цилиндрических промывочных каналов алмазной коронки, м²;

g - ускорение свободного падения, м/с²,

h - напор промывочной жидкости, МПа;

n - количество дополнительных цилиндрических промывочных каналов в алмазной коронке, шт;

V - скорость истечения промывочной жидкости, м/с.

Применение алмазных коронок, диаметр дополнительного цилиндрического промывочного канала, которых определяется по зависимости (4) позволяет повысить сохранность керна и механическую скорость бурения.

Для эффективного разрушения горной породы необходимо, чтобы крупность торцевых алмазов породоразрушающего инструмента соответствовала физико-механическим свойствам буровых пород. На основании проведенных исследований с применением гипотезы контуров А.Ф. Кичигина и др. найдена зависимость для определения рационального диаметра алмазного зерна коронки.

$$d = \frac{P(1 + Y^2)}{h\sqrt{2E\sigma_p}}, \quad (5)$$

где d - диаметр алмазного зерна, м;

P - сила, действующая на алмазные зёрна, даН;

Y - коэффициент Пуассона;

h - величина упругого прогиба породы, м;

E - модуль упругости горной породы, МПа;

σ_2 - предельное напряжение горной породы при растяжении, МПа.

Расчётные значения по формуле (5) диаметра алмазного зерна для горных пород Норильского региона составляет для пород V-VI, VI-VIII и VIII-IX категорий соответственно: 20-10, 30-20 и 50-30 штук на карат.

С учётом этого необходимо подбирать алмазные коронки применительно к конкретным горным породам, согласно физико-механическим свойствам последних.

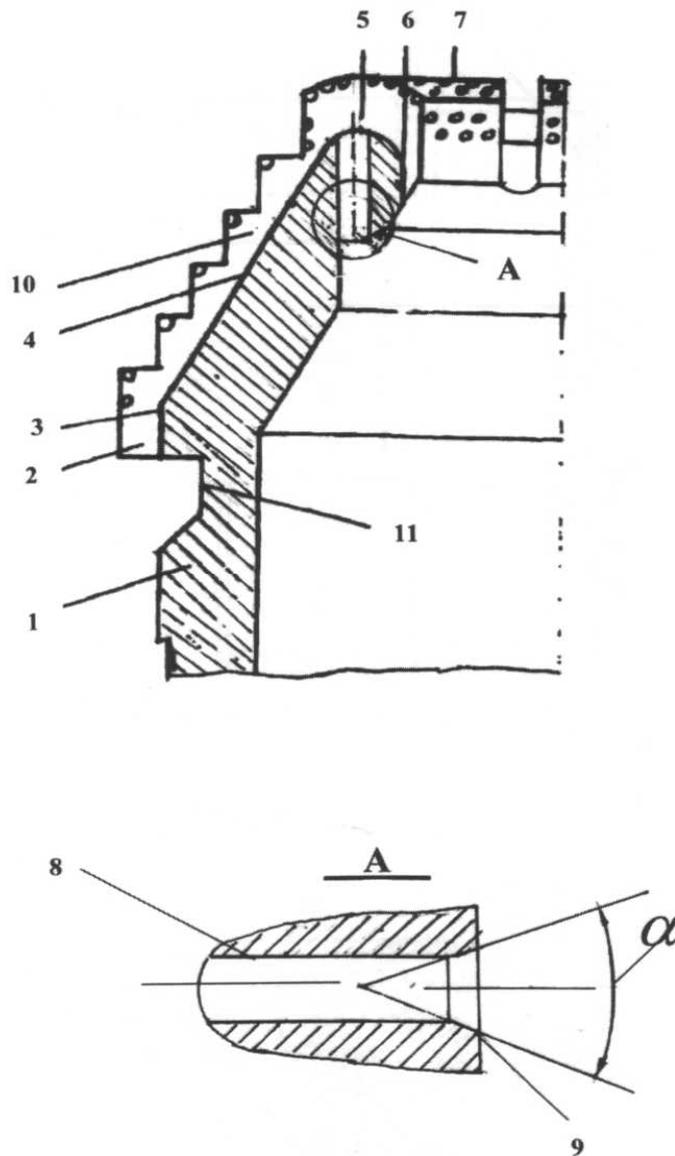


Рис. 5. Алмазная ступенчатая буровая коронка
 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – наружные каналы; 4 – наклонные каналы; 5 – торцевые каналы; 6 – внутренние каналы; 7 – пилот; 8 – цилиндрические каналы; 9 – входные кромки; 10 – сектор; 11 – кольцевая проточка.

Третье защищаемое научное положение. Разработанные на основании проведенных исследований специальный алмазный инструмент и технология его применения обеспечивают комплексное решение задач эффективного бурения глубоких скважин с получением kernового материала повышенного качества.

Конечным итогом бурения разведочных скважин является получение достоверной геологической информации при минимальных затратах времени и материально-технических ресурсов с помощью наиболее совершенных технических средств.

Разработанная автором технология дополняет керноалмазосберегающую технологию ВИТРа и ОАО « Тульское НИГП» за счет применения нового специального алмазного породоразрушающего инструмента. На основе проведённых теоретических и экспериментальных исследований для конкретных горно-геологических условий Норильской ГРЭ получены зависимости для определения механической скорости бурения:

- начальной механической скорости

$$V_0 = \frac{0,05K_T \cdot L_K \cdot D \cdot n \cdot P}{P_0 \cdot d_0 \cdot m \cdot b}, \quad (6)$$

- текущей механической скорости

$$V_t = V_0 \cdot e^{-\sqrt{Lt}}, \quad (7)$$

- средней механической скорости

$$V_c = \frac{H}{T}, \quad (8)$$

$$\text{где } H = \int_0^t V_0 \cdot e^{-\sqrt{Lt}} \cdot dt = \frac{2V_0}{L} \left[1 - e^{\sqrt{Lt}} \left(t\sqrt{L-1} \right) \right],$$

где V_0 , V_t , V_c – механическая скорость бурения начальная, текущая и средняя соответственно, м/с;

L – опытный коэффициент;

T – время работы коронки на забое до её износа в пределах времени $0-t$.

где K_T – постоянная, выражающая отношение длины рабочих секторов коронки по окружности среднего радиуса к длине этой окружности;

L_K – коэффициент, учитывающий условия разрушения горной породы в скважине принимается $L_K = 0,5 \div 1,2$;

D – наружный диаметр коронки, м;

n – частота вращения снаряда, c^{-1} ;

P – осевая нагрузка на инструмент, ДаН;

P_0 – предел текучести породы, МПа;

d_0 – диаметр алмаза, м;

m – количество алмазных зерен, расположенных по среднему радиусу коронки, шт.;

b – толщина алмазосодержащей матрицы, м.

Основные параметры процесса алмазного бурения установлены с учётом обеспечения очистки забоя, износа алмазного вооружения коронки и температурных условий на забое скважины. Расчётами и замерами температуры торца алмазных коронок установлено, что максимальная температура при бурении на глубинах 2000-3000 м не выходит за пределы, угрожающие проведению технологических операций.

В ООО «Норильскгеология» при нашем участии был испытан новый алмазный породоразрушающий инструмент конструкции ОАО «Тульское НИГП» и РГГРУ: алмазные коронки с рациональными геометрическими параметрами промывочных каналов (типов К-30-0; 17А4-0; К-16-0) – заявка на изобретение № 2011104875; алмазные коронки, у которых диаметр корпуса определён по установленной зависимости, и матрица покрыта защитными износостойкими элементами специальной конструкции – патент на полезную модель № 103838.

При экспериментальном бурении по блоку гранодиорита и диорита был прослежен характер изменения механической скорости от чистоты вращения снаряда при бурении коронками 17А4-0, К-16-0 и установлено, что с увеличением частоты вращения снаряда механическая скорость бурения этими коронками возрастает почти пропорционально росту частоты вращения.

Однако темп возрастания механической скорости при бурении коронками 17А4-0 и К-16-0 по диориту выше, чем при бурении по гранодиориту. Так же в стендовых условиях был прослежен характер изменения механической скорости от изменений осевой нагрузки и установлено, что с возрастанием осевой нагрузки механическая скорость растет как при бурении коронками 17А4-0 так и коронками К-16-0, причем темп возрастания механической скорости при бурении по диориту выше, чем при бурении по гранодиориту.

По данным хронометражных наблюдений при бурении в производственных условиях на Талнахском месторождении плановых скважин (данные ОАО «Тульское НИГП») построены график зависимости механической скорости от частоты вращения снаряда и осевой нагрузки.

Из которых следует, что при бурении опытными алмазными коронками К-30-0, 17А4-0, К-16-0 механическая скорость возрастает почти пропорционально росту частоты вращения снаряда, однако темп ее роста при бурении по аргелиту и по базальту несколько выше, чем при бурении по долериту.

Анализ данных по влиянию осевой нагрузки на эффективность алмазного бурения показывает, что с увеличением осевой нагрузки механическая скорость возрастает, и затем темп ее роста замедляется и даже падает. Прекращение роста механической скорости бурения установлено при значении осевой нагрузки соответственно для аргиллитов – 14-15кН, базальтов 16-18кН, долеритов 18-20кН.

При внедрении нового алмазного породоразрушающего инструмента на ряде объектов в Норильской ГРЭ производилась оптимизация бурения. Применялся метод задания параметров режима бурения, исходя, из величины, оптимальной углубки за один оборот при которой обеспечивается заданная механическая скорость при минимальном расходе алмазов, что приводит к снижению стоимости 1м бурения. Количество промывочной жидкости, подаваемой на забой, принималось из расчета

2,5+3,5 л/мин на 1см² площади кольцевого пространства между стенками скважины и бурильной трубой.

С учетом проведенных лабораторных, производственных исследований и практического опыта бурения плановых скважин были рекомендованы и внедрены режимы бурения приведенные в табл. 2. Для соответствующего типа алмазного породоразрушающего инструмента (коронки).

Таблица 2.

**Рекомендуемые типы коронок и параметры режима бурения
КССКА-76 в ООО «Норильскгеология»**

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
1	2	3	4	5	6
VI-VIII	I-II	17A4 (17A4-0)	1250-1400	400-500	40-60
	III-IV	17A4 (17A4-0)	800-1200	200-350	50-70
VIII-IX	I-II	K-16 (K-16-0)	1500-2000	450-500	40-60
	III-IV	K-16 (K-16-0)	900-1300	200-300	50-70
V-VII	I-II	K-30 (K30-0)	800-900	450-500	40-60
	III-IV	K-30 (K30-0)	600-800	200-300	50-80

Результаты испытаний в Норильской ГРЭ экспериментальных образцов новых коронок K-30-0, 17A4-0, K-16-0 в сопоставлении с данными обработки стандартных коронок приведены в табл.3.

Результаты сравнительных испытаний алмазных коронок. Таблица 3.

Тип коронок	Количество отработанных коронок, шт.	Проходка на коронку	Средневзвешанная категория пород	Выход керна	Средняя механическая скорость, м/ч	Расход алмазов, кар/м
K-30-0	5	120,5	6,5	98	1,92	0,10
K-30	10	85,7	6,5	89	1,53	0,14
17A4-0	5	73,5	7,3	95	1,74	0,24
17A4	8	56,6	7,3	80	1,58	0,32
K-16-0	5	54,2	8,2	92	1,51	0,37
K-16	8	40,3	8,2	81	1,15	0,49

Как видно из данных таблицы 3 ресурс опытных коронок К-30-О, 17А4-О, К-16-О значительно выше аналогичного показателя базовых коронок К-30, 17А4, К-16 соответственно на: 41,30,34%, при этом средняя механическая скорость бурения коронками К-30-О, 17А4-О, К-16-О возрастает соответственно на: 25, 11,31%. Выход керна при бурении опытными коронками К-30-О, 17А4-О, К-16-О повысился соответственно на 9,15 и 11% по сравнению с бурением базовыми коронками.

Для определения оптимального момента снятия алмазной коронки (что особенно важно при бурении глубоких скважин КССК) принят экономический критерий, на основе которого получено выражение для конечной механической скорости бурения и углубки на коронку, соответствующих моменту прекращения рейса по предложенному критерию. На основе данных испытаний специальных алмазных коронок в Норильской ГРЭ разработаны рекомендации по технологии бурения с их применением.

Применение новой технологии бурения глубоких разведочных скважин наряду с высокими производительностью, качеством работ и экологической безопасностью позволили получить значительный годовой экономический эффект – 279 818 руб.

Основные выводы и рекомендации

1. Произведена классификация факторов, влияющих на износ алмазных коронок при спуско-подъёмных операциях в процессе бурения глубоких скважин КССК-76 по систематизационным признакам и с применением метода априорного ранжирования факторов, позволившая системно подойти к оценке факторов и выделить из них основные, которые позволили определить направления исследований по модернизации алмазного породоразрушающего инструмента с целью повышения его работоспособности и качества бурения.

2. Расчётами установлено, что в условиях глубокой скважины подрезные алмазы при спуско-подъёмных операциях и соответственно бурении проходят сопоставимый путь, что обуславливает их повышенный износ.

3. Разработана математическая модель износа рабочего торца алмазной коронки, с применением которой проведено исследование динамики её износа и установлено, что при уменьшении количества контактирующих с забоем алмазов в 2 и 4 раза по сравнению с их общим количеством удельные нагрузки на алмазные зёрна возрастают соответственно, а наибольшее значение работы трения при бурении ступенчатыми коронками наблюдается на периферии ступенчатой части матрицы при различных числах алмазов, находящихся в контакте с забоем, что вызывает повышенный износ коронки.

4. На основании применения гипотезы контуров установлена взаимосвязь диаметра алмазного зерна в коронке с осевой нагрузкой на него, упругими (коэффициент Пуассона, величина упругого прогиба,

модуль упругости) свойствами породы и предельным напряжением горной породы на растяжение, позволяющая производить выбор алмазных коронок для конкретных геолого-технических условий так, чтобы крупность торцевых алмазов их соответствовало физико-механическим свойствам буримых пород.

5. Проведена оценка температурного режима алмазной коронки при бурении и установлено, что максимальная температура на глубине 2000-3000 м не выходит за пределы, угрожающие проведению технологических операций.

6. Применение разработанных коронок, характеризующихся наличием защитных элементов у матрицы коронки и оптимальным диаметром её корпуса позволяет существенно уменьшить износ алмазо-содержащей матрицы при СПО.

7. Разработанные нами алмазные коронки с промывкой, выходящей под торец и рациональным распределением её потока в коронке, позволяют обеспечить сохранность с ненарушенной структурой керна и его кондиционный выход при бурении горных пород ниже средней твердости.

8. На основании проведённых исследований разработаны и внедрены технические решения и технико-технологические рекомендации по выбору рациональных конструкции и технологии бурения глубоких разведочных скважин алмазными модернизированными коронками с повышенным ресурсом, обеспечивающие высокие производительность, качество и экологическую безопасность разведочного бурения, которые могут быть применены для модернизации алмазного породоразрушающего инструмента к зарубежным комплексам снарядов со съёмными кернаприёмниками.

9. Установлена зависимость, определяющая изменение механической скорости бурения во времени от режимных параметров, физико-механических свойств буримых горных пород с учётом напряжённого состояния забоя от взаимодействия с породоразрушающими элементами алмазных коронок, которая позволяет установить рекомендации по выбору рациональных конструктивных параметров алмазного породоразрушающего инструмента, применительно к конкретным геолого-техническим условиям производства геологоразведочных работ.

10. Подтверждена зависимость между прочностью на одноосное сжатие характеристик горных пород и глубиной залегания (доломита, ангидрита, базальта, мергеля, роговика и др.).

11. Разработанные рекомендации по совершенствованию технологии бурения разведочных скважин с применением модернизированных алмазных коронок внедрены в производство при бурении разведочных скважин в Норильской ГРЭ с получением значительного экономического эффекта.

Для совершенствования технологии бурения глубоких разведочных скважин необходимо:

- дальнейшее развитие теоретических и экспериментальных методов исследований механизма разрушения горных пород единичным алмазным резцом и инструментом в комплекте;

- разработка компьютерных технологий проектирования и выбора породоразрушающего инструмента, а также режимов бурения с его применением.

Основные положения работы изложены в публикациях, 4 из которых – в рецензируемых и рекомендованных ВАКом изданиях.

1. Бучковский Е.В. Совершенствование конструкции алмазных коронок с целью повышения эффективности бурения глубоких разведочных скважин. «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка». -2012г. -№1.

2. Бучковский Е.В. Повышение эффективности бурения глубоких разведочных скважин КССК-76. «Разведка и охрана недр». -2012, -№2.

3. Бучковский Е.В. Совершенствование конструкции алмазных коронок на основе анализа работы трения при бурении. Горный информационно-аналитический бюллетень — ГИАБ. – 2012г.

4. Бучковский Е.В., Будюкова Т.Ю. Анализ факторов износа бурового породоразрушающего инструмента. Горный информационно-аналитический бюллетень — ГИАБ. – 2012г.

5. Бучковский Е.В. Обоснование параметров модели и результатов моделирования формирования воронки в условиях неустойчивых пород кровли [V] международная научно-практическая конференция «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых» 6-9 апреля М: РГГРУ, 2010 – с 63.

6. Будюков Ю.Е., Бучковский Е.В.. Моделирование температурного режима работы алмазной коронки при бурении глубоких скважин. Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады VIII Всероссийской научно-технической конференции; под общ. ред. Э.М. Соколова- Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2010 - с. 184-185.

7. Будюков Ю.Е., Власюк В.И., Соловьёв Н.В. Бучковский Е.В. Условие сохранения целостности керна при бурении глубоких скважин. Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады VIII Всероссийской научно-технической конференции; под общ. ред. Э.М. Соколова- Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2010 – с. 188-190.

8. Будюков Ю.Е., Бучковский Е.В. Моделирование износа алмазных буровых коронок. Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады VIII Всероссийской научно-технической

конференции; под общ. ред. Э.М. Соколова- Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2010 - с. 190-196.

9. Бучковский Е.В. Особенности технологии алмазного бурения глубоких разведочных скважин снарядами со съёмными керноприёмниками. Доклады X международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» 12-15 апреля М: РГГРУ, 2011.

10. Будюков Ю.Е., Бучковский Е.В. Зависимость прочности горных пород от глубины их залегания. Доклады X международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» 12-15 апреля М: РГГРУ, 2011.

11. Бучковский Е.В., Будюков Ю.Е., Власюк В.И., Рудой О.В. Анализ опыта бурения глубоких разведочных скважин КССК-76 в Норильском районе. Приоритетные направления развития науки и технологий: Доклады IX Всероссийской научно-технической конференции; под общ. ред. Э.М. Соколова- Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2011.

12. Бучковский Е.В., Будюков Ю.Е., Власюк В.И., Спирин В.И., Соловьёв Н.В. Новый высокоэффективный алмазный породоразрушающий инструмент. Приоритетные направления развития науки и технологий: Доклады IX Всероссийской научно-технической конференции; под общ. ред. Э.М. Соколова- Тула: Изд-во «Инновационные технологии» - 2011.

13. Бучковский Е.В., Будюков Ю.Е., Власюк В.И., Спирин В.И., Соловьёв Н.В. Алмазная буровая коронка для бурения глубоких скважин. Приоритетные направления развития науки и технологий: Доклады IX Всероссийской научно-технической конференции; под общ. ред. Э.М. Соколова-Тула: Изд-во «Инновационные технологии» - 2011.

14. Бучковский Е.В., Будюков Ю.Е. Износ алмазных коронок при спуско-подъёмных операциях в процессе бурения глубоких скважин. Доклады X Всероссийской научно-технической конференции; под общ. ред. Э.М. Соколова – Тула: Из-во «Инновационные технологии» - 2011.

Патенты на изобретения и полезные модели.

15. Будюков Ю.Е., Власюк В.И, Спирин В.И., Соловьёв Н.В., Бучковский Е.В. «Алмазная буровая коронка». Патент на полезную модель № 103838, 2010г.

16. Будюков Ю.Е., Власюк В.И, Спирин В.И., Соловьёв Н.В., Бучковский Е.В. «Алмазная ступенчатая буровая коронка». Заявка на изобретение № 2011 104875, 2011г.