



ДОЙНИКОВ Юрий Андреевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ
ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН
В УСЛОВИЯХ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

Автореферат диссертации
на соискание учёной степени кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре горных машин и электромеханических систем
ФГБОУ ВПО "Иркутский государственный технический университет"

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Беляев Александр Евгеньевич

Официальные оппоненты: **Гилев Анатолий Владимирович**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Горные машины и комплексы" ФГАОУ ВПО "Сибирский федеральный университет";

Малеев Николай Геннадьевич
кандидат технических наук, первый заместитель генерального директора – технический директор ООО "Компания "Востсибуголь"

Ведущая организация: ОАО "Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов" (Иргиредмет).

Защита состоится **29 мая 2012 г. в 10:00** часов на заседании диссертационного совета Д 212.073.04 при ФГБОУ ВПО "Иркутский государственный технический университет" по адресу: г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, корпус "К", конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
ФГБОУ ВПО "Иркутский государственный технический университет".

Автореферат разослан 27 апреля 2012 г.

Отзывы на автореферат (два экземпляра, заверенные организацией)
направлять в адрес диссертационного совета:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Д 212.073.04;

e-mail: ds04@istu.edu;

факс: (3952) 405085

Учёный секретарь диссертационного совета

докт. техн. наук, профессор



Н.Н. Страбыкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Горно-геологические условия эксплуатации оборудования определяют направления разработки высокоэффективных технологий на всех этапах горного производства. Многолетняя мерзлота и сложноструктурное строение вскрышных породных массивов характерны для алмазосодержащих месторождений Якутии, где температура в зимние месяцы достигает -50°C , а средняя годовая – не превышает минус $10\div 15^{\circ}\text{C}$. Это предопределяет весьма неблагоприятные условия бурения, обслуживания станка и работы смежных механизмов горного производства.

Бурение скважин на алмазородных карьерах Севера является одной из основных и трудоёмких технологических операций. Расходы на бурение в себестоимости добычи достигают 30 %. Буримые породы отличаются специфическими особенностями, которые исключают возможность механического перенесения опыта бурения из других регионов и обуславливают сравнительно низкие технико-экономические показатели проходки скважин. Совершенствование технологии бурения в сложноструктурных многолетнемерзлых породах кимберлитовых месторождений Якутии является важной задачей повышения эффективности добычи полезного ископаемого.

Разработка принципиально новых технических решений в направлении создания специального бурового инструмента и обоснования параметров технологии подготовки взрывных скважин в условиях сложноструктурных мёрзлых пород позволяет существенно улучшить технико-экономические показатели добычи алмазосодержащего сырья. Решению этой актуальной научно-технической задачи и посвящена диссертационная работа.

Цель работы заключается в обосновании способов и средств интенсивной проходки скважин в условиях мёрзлых сложноструктурных пород кимберлитовых месторождений Якутии.

Идея работы основывается на принципе разрушения пород крупным сколом режущим и комбинированным буровым инструментом при поддержании температурного баланса в затрубном пространстве, обеспечивающего стабильную транспортировку продуктов разрушения из скважины сжатым воздухом.

Научные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Технология бурения взрывных скважин на алмазородных карьерах Якутии определяется необходимостью контроля температурного баланса на забое скважины и выбора, в зависимости от этого, рационального режима бурения и типа породоразрушающего инструмента.

2. Разрушение мерзлых пород в условиях кимберлитовых карьеров Севера наиболее эффективно режущим и режуще-шарошечным буровым инструментом. Определены конструктивные параметры и обоснован параметрический ряд рекомендуемых долот.

3. Технология бурения скважин в условиях многолетнемерзлых сложноструктурных пород обеспечивается применением долот со сменными резцами, работающими в режиме крупного скола, при охлаждении сжатого воздуха, подаваемого для очистки скважины, специальными техническими средствами.

Методы исследований. В работе использованы комплексные методы исследований, включающие анализ и обобщение ранее выполненных работ по разрушению мерзлых пород и транспортированию продуктов разрушения из скважины; изучение напряжённого деформационного состояния массива на забое скважины и влияние на процесс бурения конструктивных параметров буровых долот. Все решения и рекомендации исследований подтверждены положительными результатами представительных производственных испытаний и широкого промышленного применения разработанных конструкций буровых долот.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечены комплексным подходом к оценке исследований с погрешностью результатов работы не более 20 %. Исследования и рекомендации работы подтверждены широкими промышленными экспериментами, выполненными непосредственно в условиях карьеров АК "АЛРОСА", и промышленным использованием разработанных конструкций буровых долот.

Научная новизна результатов исследований:

- теоретически обоснованы основные принципы технологии разрушения мёрзлых сложноструктурных пород крупным сколом режущими и режуще-шарошечными буровыми долотами;
- установлено, что производительность бурения взрывных скважин в условиях мёрзлых кимберлитовых месторождений зависит от величины затрубного пространства, определяемого типоразмером бурового инструмента и поддержанием необходимого температурного баланса на забое скважины;
- разработаны способы регулирования и стабилизации процесса очистки забоя скважины оптимизацией температурного режима путём охлаждения сжатого воздуха, подаваемого для очистки скважины от продуктов разрушения;
- теоретически обоснованы конструктивные параметры рабочих органов режущих и комбинированных долот для бурения мёрзлых пород сложного структурного строения.

Практическое значение результатов работы заключается в разработке:

- инженерной методики технологии бурения взрывных скважин на алмазорудных карьерах Якутии;
- параметрического ряда режущих и комбинированных долот в диапазоне диаметра скважин, применяемых на карьерах АК "АЛРОСА";
- технологии изготовления режущих буровых долот на основе применения стандартных сменных режущих элементов;
- технических устройств для охлаждения продувочного агента и стабилизации температурного режима очистки скважины от буровой мелочи.

Реализация результатов работы:

- апробирована и реализована на практике принципиально новая технология бурения взрывных скважин в условиях кимберлитовых месторождений Якутии;
- апробирован способ стабилизации бурения мёрзлых пород применением охладительных установок на станках шарошечного бурения.

В настоящее время на карьерах АК "АЛРОСА" в промышленных масштабах используются разработанные конструкции буровых режущих долот типа РД-160ШП, РД-215,9 и РД-244,5, обеспечивающие значительный технико-экономический эффект.

Личный вклад автора. Основные результаты рассматриваемой работы и их реализация выполнены при непосредственном участии и руководстве соискателя. Автор диссертации, работая старшим мастером буровзрывного участка карьера «Удачный», занимался совершенствованием буровых работ. В должности начальника карьера «Юбилейный», а затем директора Айхальского и Мирнинского ГОКов, непосредственно участвовал в планировании, постановке и проведении исследований и промышленных экспериментов, направленных на конкретную разработку и реализацию различных типов режущих и режуще-шарошечных буровых долот; при его участии разработаны способы и средства охлаждения скважин, обоснованы основные положения технологии бурения скважин в условиях кимберлитовых месторождений Якутии, о чем свидетельствуют акты реализации основных положений работы. В последующем автор участвовал в ходе проведения исследований и практической реализации их результатов, что подтверждается широкой публикацией работ соискателя в периодической печати и актами внедрения результатов исследований.

Апробация работы. Материалы исследований докладывались и получили одобрение на: Международной научно-практической конференции "Мирный-2001" (г. Мирный, 2001 г.); Международном совещании "Современные методы оценки технологических свойств труднообогатимого и нетрадиционного минерального сырья благородных металлов и алмазов и прогрессивные технологии их обработки" (Иркутск, 2004 г.); Конгрессе обогатителей стран СНГ

(г. Москва, 2005 г.); Международной научно-практической конференции "Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитзоны" (г. Якутск, 2005 г.).

Объём и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, содержит 148 страниц текста, в том числе 9 таблиц и 17 иллюстраций, списка литературы из 83 наименований и 8 приложений на 20 страницах.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, общим объёмом 5,0 усл. п. л., в том числе 8 работ в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК. Общий объем публикаций соискателя, включая два патента, составляет 18 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель исследований, научная новизна, практическая значимость работы, научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено состояние изученности проблемы, сформулированы цели и задачи исследований.

Исследованиями влияния физико-механических свойств на разрушаемость горных пород с учётом их температурных характеристик занимались: Л.И. Барон, А.Е. Беляев, В.С. Воздвиженский, В.С. Владиславлев, В.М. Горячкин, Б.Б. Кудряшов, Б.Н. Кутузов, И.П. Мельничук, В.А. Перетолчин, М.М. Протодяконов, Е.З. Позин, Ю.Ф. Потапов, Ю.И. Протасов, А.К. Сидоренко, А.И. Спивак, Н.Н. Страбыкин, А.Ф. Суханов, В.С. Федоров, Н.А. Цитович, Р.М. Эйгелес и др.

Существенный вклад в разработку теории и создание специального бурового инструмента для разрушения сложноструктурных, в том числе многолетнемерзлых мёрзлых пород внесли: А.Е. Беляев, Д.Н. Башкатов В.Д. Буткин, Ю.Е. Воронов, А.В. Гилев, В.М. Горячкин, Я.Н. Долгун, Б.А. Катанов, В.Н. Кисурин, Ю.М. Коледин, Г.М. Осипов, А.А. Перегудов, В.А. Перетолчин, М.И. Протасов, Н.Н. Страбыкин, А.В. Телешов, С.С. Филиппов, Е.В. Чудогашев, Ю.П. Шеметов, О.В. Чернецкий и др.

Значимыми являются работы по определению расхода воздуха на продувку скважин, в которых приводятся исследования А.Е. Беляева, Н.П. Елманова, А.И. Кирсанова, Б.Б. Кудряшова, Б.Н. Кутузова, А.Т. Лактионова, А.О. Межлумова, Н.С. Макурина, В.А. Перетолчина, Ю.Ф. Рыбакова, Б.С. Филатова и др.

Начало изучению температурного режима скважин, буримых в мёрзлых породах с продувкой, было положено работами И.П. Елманова, А.И. Кирсанова, А.В. Марамзина, А.А. Рязанова.

Этому вопросу посвятили свои работы: А.С. Бронзов, Г.С. Грязнов, И.М. Кутасов, А.Н. Щербань, также известны исследования Б.Б. Кудряшова, А.И. Кирсанова, В.С. Литвиненко, В.К. Чистякова, В.Т. Седова.

На карьерах АК "АЛРОСА", расположенных в северном регионе России, применяются буровые станки отечественного и импортного производства: СБШ-250МНА, СБШ-190/250, D75-KS TAMROK, DM-M2, SKF, при этом коэффициент использования станков составляет от 0,51 до 0,7, а выход горной массы с 1 м скважины – от 32,49 м³ до 39,06 м³. Эти показатели подчёркивают имеющиеся резервы повышения эффективности добычи алмазосодержащего сырья как за счёт увеличения коэффициента использования станков, так и за счёт увеличения их производительности.

Специфика бурения скважин в условиях алмазородных карьеров обусловлена: сложностью строения уступов и неоднородностью пород, низкими температурами, наличием многолетней мерзлоты, высокой обводненностью пород и наличием илисто-глинистых отложений. Сложное строение уступов затрудняет выбор параметров бурового инструмента, снижает эффективность разрушения породы на забое скважины и приводит к ухудшению показателей бурения.

Вскрышные уступы верхних горизонтов представлены мергелями, алевролитами, глинистыми, известковыми и доломитизированными песчаниками. Анализ физико-механических свойств вскрышных пород показывает, что 60÷80 % пород имеют невысокую прочность с коэффициентом крепости 2÷6 по шкале М.М. Протодяконова, а остальные – 6÷12. В зоне многолетней мерзлоты находится 90 % вскрышных пород алмазородных месторождений Севера. Температура пород оказывает существенное влияние на их прочность. Многолетнемерзлым влажным породам свойственен неустойчивый температурный режим. Они весьма чувствительны к внешним воздействиям. Даже при малых колебаниях температуры значительно изменяются их физико-механические свойства. Это обусловлено возникновением переходных процессов в порах мёрзлой породы – при любом повышении температуры часть воды переходит из твёрдой фазы в жидкую, нарушая структуру буримых пород, что приводит к усложнению процесса очистки скважины и бурения в целом. Бурение шарошечными долотами в таких условиях оказывается низкоэффективным.

Это определяет проблему исследований, видимую в необходимости разработки принципиально новой технологии бурения скважин, выборе и обосновании параметров специальных исполнитель-

ных органов и технических средств бурения скважин в условиях кимберлитовых месторождений.

Исходя из состояния изученности проблемы, сформулированы **цели и задачи исследований** диссертации:

- анализ горно-геологических и геомеханических особенностей залегания кимберлитовых месторождений Якутии;
- исследование специфики воздействия бурового инструмента на сложно-структурный мёрзлый забой;
- исследование условий движения разрушенных мёрзлых пород в затрубном пространстве;
- обоснование параметров новой технологии бурения взрывных скважин в условиях кимберлитовых месторождений Якутии.

Во второй главе рассмотрены вопросы закономерностей процесса разрушения мёрзлых и вязких пород.

Эффективность работы режущего бурового долота зависит от свойств породы, режима бурения и параметров долота. К параметрам долота, которые оказывают влияние на процесс бурения, относятся геометрия инструмента, сетка резания, размеры и форма корпуса.

Геометрия инструмента определяет эффективность воздействия долота на породу. В долотах со сменными резцами речь идёт о геометрии резцов, длине линии контакта с забоем, размещении резцов в корпусе по диаметру скважины и по высоте долота. Характерными геометрическими параметрами резца (рис. 1) являются передний α , задний γ углы и вылет ρ режущей кромки. Длина линии контакта резцов с забоем и их расположение в корпусе связаны с выбором сетки резания.

Сетка резания определяет схему обработки забоя как по его площади, так и по высоте. Она характеризуется количеством и взаимным расположением резцов и линий резания.

Размеры и форма корпуса влияют на прочность долота и эффективность очистки призабойной зоны от продуктов разрушения. Размеры корпуса по диаметру определяют степень перекрытия скважины инструментом, которая характеризуется коэффициентом перекрытия $k = S_1/S$, где S_1 и S – площади поперечного сечения инструмента и скважины. С увеличением коэффициента перекрытия уменьшается площадь $S_{\text{приз}}$ проходных окон призабойной зоны, по которым буровая мелочь удаляется из забоя. Площадь $S_{\text{приз}}$ проходных окон призабойной зоны должна приниматься из условия примерного равенства расходов воздуха $F_{\text{пр}}$ на очистку призабойной зоны и $F_{\text{з.н.}}$ на транспортирование буровой мелочи по затрубному пространству.

При бурении скважин с продувкой высота долота как параметр может не ограничиваться. Форма же корпуса влияет на величину сопротивлений движению буровой мелочи. Ширина продувочных окон долота должна приниматься максимально возможной. Форма корпуса и расположение резцов в долоте должны обеспечивать минимальные аэродинамические сопротивления, исключать вихревые движения воздуха и возникновение встречных потоков, обеспечивать хороший обдув забоя и беспрепятственность движения продуктов разрушения в затрубное пространство. В целях уменьшения сопротивлений движению воздушного потока целесообразно принимать лучевое расположение резцов.

Принципиальное значение имеет правильный выбор диаметра D_0 продувочного отверстия долота. С уменьшением диаметра продувочного отверстия возрастают потери давления ΔP_0 в долоте, однако это оправдывается повышением скорости истечения воздуха $V_{ист}$ и эффективности очистки призабойной зоны от буровой мелочи.

Изложенные принципы выбора параметров режущего бурового долота положены в основу при разработке конструкций нового режущего бурового инструмента.

Стремление к повышению эффективности бурения и расширению области применения режущего бурового инструмента, привело к реализации идеи использования в режущих долотах сменных резцов. В работе предложены конструкции режущих долот с использованием сменных серийных резцов с конической державкой (рис. 1).

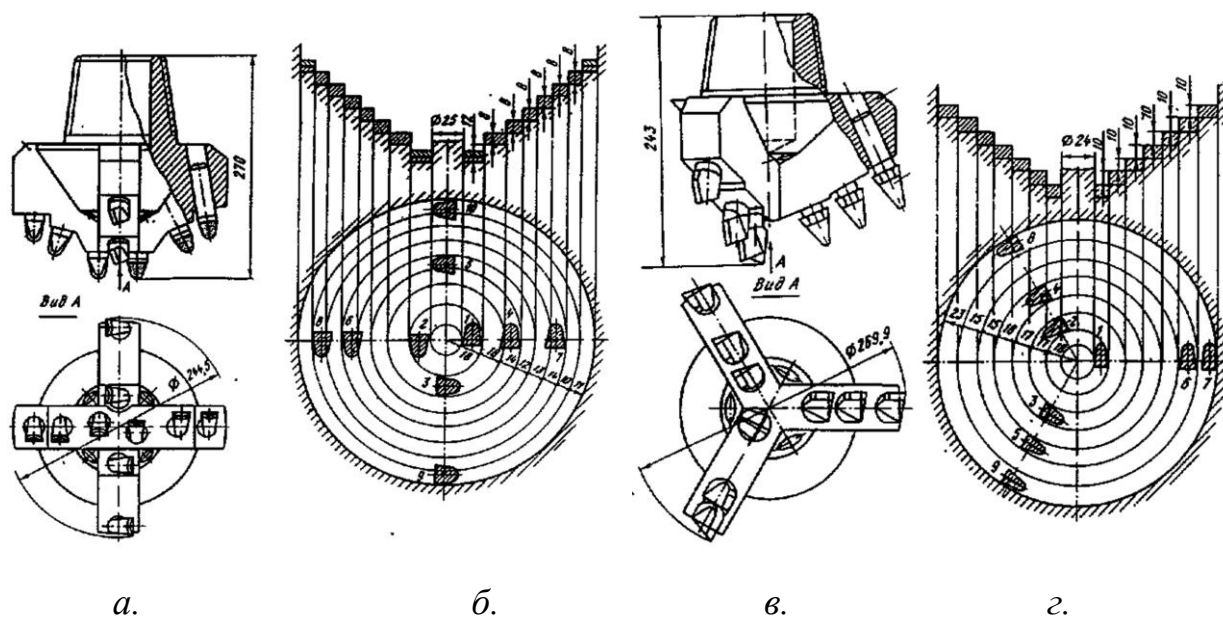


Рис. 1. Режущие долота для бурения с продувкой:

а – 3РД 244,5; *в* – РД 269,9; *б* и *г* – сетки резания

Для режущего долота большое значение имеет правильный выбор величины вылета ρ режущей кромки. Он влияет на вписываемость резца в прорезаемую им канавку. Если резец не вписывается в канавку, то во взаимодействии с забоем принимает участие весь корпус резца, что вызывает увеличение сил трения резца о породу и снижение эффективности разрушения забоя. Это, в свою очередь, обуславливает снижение скорости бурения и быстрый выход резца из строя. В специальных резцах для режущих долот нужно принимать такой рациональный вылет ρ_p , при котором обеспечивается наилучшая вписываемость резца в прорезаемую канавку (см. рис. 2, в).

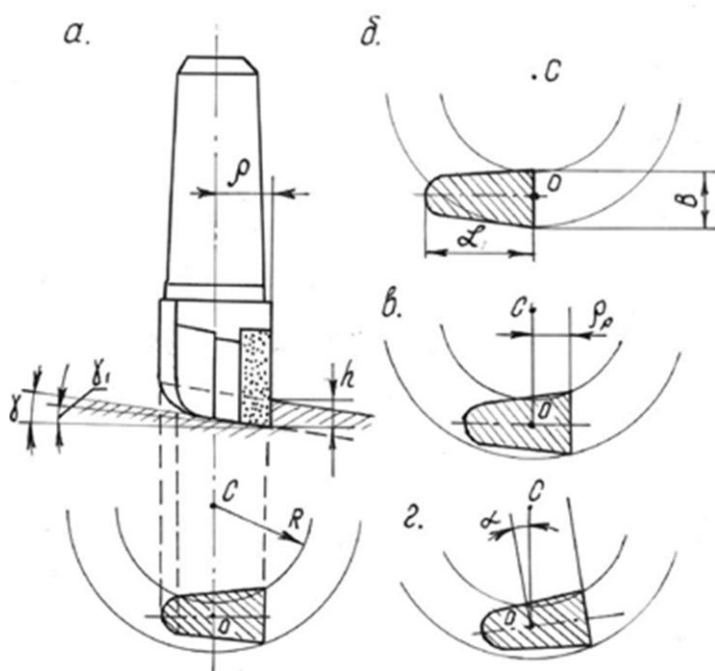


Рис. 2. Влияние вылета режущей кромки на вписываемость резца:

а - РК-8Б; *б* - ШБМ2с-1-1-04;

в - РБ-1э; *г* - И-90В

Задний угол γ режущей кромки резца должен приниматься таким, чтобы обеспечивалось вписывание резца по задней грани. Угол внедрения резца в породу γ_1 определяется соотношением скоростей подачи V_n и резания $V_p = 2\pi Rn$.

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{V_n}{V_p} = \frac{V_n}{2\pi Rn}.$$

Нормальная работа долота обеспечивается, если задний угол режущей кромки $\gamma > \gamma_1$. В табл. 1 приведены значения угла внедрения γ_1 в зависимости от радиуса вращения R и скорости подачи V_n . При этом частота вращения n принята равной 100 мин^{-1} .

Таблица 1

Величина угла внедрения γ_1

Скорость подачи V_n , м/мин	Радиус вращения R , мм					
	10	15	20	50	100	200
0,5	4°30'	3°	2°15'	54'	27'	13'
1,0	9°	6°	4°30'	1°50'	55'	27'
1,5	13°30'	9°	6°45'	2°45'	1°20'	40'
2,0	17°40'	12°	9°	3°40'	1°55'	1°

Изложенные принципы явились основой разработки параметрического ряда буровых долот режущего типа диаметром $160 \div 280$ мм, обеспечивающих создание оптимальных условий разрушения породы на забое в соответствии с требованиями технологического процесса (табл. 2).

В настоящее время организован выпуск режущих долот с продувкой РД-160ШП, ЗРД-215,9 и ЗРД-244,5.

Исследованиями доказано, что долота со сменными резцами, работающие в статическом режиме резания с пневмотранспортированием буровой мелочи, обеспечивают наибольший эффект в условиях разрушения мёрзлых пород. Резцы режущего долота внедряются в породу под действием статической нагрузки и при вращении срезают стружку, что сопровождается периодическим эффектом скола породы. При этом основная часть разрушенной породы отделяется от забоя в результате скалывания. Скалывание является наименее энергоёмким способом разрушения. Особенно это эффективно при бурении вязких, глинодержущих пород.

В третьей главе излагаются результаты исследований процесса транспортирования разрушенной породы с забоя скважины и в затрубном пространстве.

Процесс бурения скважины включает в себя две последовательные операции – разрушение породы на забое и удаление продуктов разрушения из призабойной зоны и затрубного пространства скважины. При этом эффективность удаления буровой мелочи из скважины должна соответствовать интенсивности её образования на забое.

Для расчёта потребного на транспортирование буровой мелочи расхода воздуха и определения производительности компрессора необходимо установить *основные характеристики движения потока буровой мелочи*. Частица буровой мелочи, находящаяся в восходящем воздушном потоке, испытывает на себе подъёмную силу струи воздуха, величина которой зависит от скорости потока V (скорости обтекания), плотности струи, размеров частицы и её формы. Для перехода частицы буровой мелочи во взвешенное состояние, необходимо, чтобы подъёмная сила струи достигла величины веса частицы. Это происходит при достижении воздухом так называемой критической скорости движения $V_{кр}$. С увеличением диаметра частицы снижается эффективность передачи энергии от потока воздуха и переход частицы во взвешенное состояние происходит при большой критической скорости движения воздуха. При этом каждому классу крупности буровой мелочи соответствует своя величина критической скорости движения воздуха $V_{кр}$.

Таблица 2

Параметрический ряд долот режущего типа

Параметры	Т И П Ы Д О Л О Т														
	РД-160ШП	1РД-190	1РД-215,9	3РД-215,9	РД-243	1РД-244,5	2РД-244,5	3РД-244,5	4РД-244,5	5РД-244,5	РД-244,5И	РД-269,9Э	РД-269,9	1РД-269,9	РД-280
Диаметр буримой скважины, мм	160	190	216	216	243	245	245	245	245	245	245	270	270	270	280
Расположение резцов по диаметру	4х лучевое	4х лучевое	4х лучевое	4х лучевое	4х лучевое	4х лучевое	2х лучевое	4х лучевое	3х лучевое	4х лучевое	4х лучевое	3х лучевое	3х лучевое	4х лучевое	4х лучевое
Тип резцов	ШБМ1С	И-902	РК-8Б	РК-8Б	РК-8Б	РК-8Б	Лопасть	РК8Б	ШБМ2С	РК8Б	И-90В	ШБМ-2С	ШБМ2С	ШБМ2С	РБ-1Э
Число линий резания	5	6	7	6	7	7	-	8	7	8	8	7	7	8	9
Число резцов	6	8	8	8	8	8	-	10	8	10	9	8	9	10	10
Скорость бурения, м/мин:															
механическая	до 1,5	до 1,2	до 1,2	до 2,5	до 1,5	до 1,2	до 1,5	до 1,5	до 2,0	до 2,0	До 2,0	до 1,05	до 1,5	до 1,5	до 1,5
техническая	до 0,6	до 0,7	до 0,7	до 1,5	до 0,6	до 0,7	до 0,9	до 0,9	до 1,2	до 1,0	До 1,2	до 0,47	до 0,9	до 0,9	до 0,9
Крепость пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова, f	до 6	до 7	до 7	до 7	до 7	до 7	до 4	до 7	до 7	до 7	до 7	До 7	до 7	до 7	до 7
Стойкость корпуса долота, м	До 1500	до 3000	до 3000	до 3000	до 2000	до 3000	до 2000	до 3000	до 2000	до 2500	до 3000	до 3000	до 2000	до 3000	до 3000
Расход резцов, шт/м	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03		0,03	0,03	0,03	0,03	0,035	0,032	0,035	0,03
Основные размеры, мм:															
высота	156	276	290	222	275	275	224	270	244	270	320	267	242	264	222
толщина (диаметр по корпусу)	154	275	210	204	230	234	180	238	234	240	232	260	260	260	269
ширина (диаметр по резцам)	160	200	216	216	243	245	245	245	245	245	245	270	270	270	280
Масса	12	18	22	15	25	29	18	21	19		28		21	25	30

Перемещение потока буровой мелочи по затрубному пространству обеспечивается вследствие наличия перепада давления воздуха у устья и забоя скважины.

Перепад давления в скважине ΔP зависит от интенсивности образования буровой мелочи и глубины бурения и по опытным данным находится в пределах $0,01 \div 0,04$ МПа.

Движение потока буровой мелочи в скважине является стеснённым. Стеснённость определяется ограниченной площадью сечения призабойного и затрубного пространств и концентрацией частиц в потоке воздуха, которая может быть охарактеризована коэффициентом объёмной концентрации:

$$S = V_m/V_n,$$

где V_m – объем образующейся буровой мелочи;

V_n – объем потока, который буровая мелочь занимает.

Наблюдения показывают, что при движении частиц в стеснённых условиях переход их во взвешенное состояние происходит при меньшей критической скорости движения воздуха.

Влияние стеснённости на движение частиц изучалось многими исследователями и для определения коэффициента стеснённости K_c предложен ряд эмпирических зависимостей. Наибольшее соответствие экспериментальным данным даёт зависимость, отражающая связь коэффициента стеснённости с концентрацией частиц в потоке, в виде:

$$K_c = (1-S)^2.$$

Для нормальной работы пневмотранспортной системы станка необходимо, чтобы $S < S_{кр}$. Установлено, что транспортирование происходит успешно при S до 0,01. Поэтому можно считать, что надёжная очистка скважины от буровой мелочи будет обеспечиваться при величине коэффициента объёмной концентрации $S \leq 0,01$.

С целью транспортирования частицы воздуху необходимо придать дополнительную, избыточную скорость $V_{изб}$, величина которой должна быть такой, чтобы обеспечивалось своевременное удаление буровой мелочи из зоны её образования и затрубного пространства.

Определять теоретически величину необходимой избыточной скорости затруднительно. Применительно к режущему буровому инструменту можно считать, что величина избыточной скорости связана со скоростью стружкообразования на максимальном радиусе вращения. Если представить, что стружка, снимаемая резцом, является сливной, то скорость подъёма её вверх по передней грани резца будет равняться линейной скорости движения резца. Избыточная

скорость воздуха должна быть не менее этой скорости. В соответствии с этим избыточная скорость воздуха принята равной линейной скорости на резцах $V'_{изб} = \pi \cdot D \cdot n$, т.е. максимальной скорости стружкообразования. Здесь D – диаметр бурения; n – частота вращения долота. С учётом уменьшения скорости за счёт сжатия воздуха:

$$V_{изб} = V'_{изб} (P_0 + \Delta P)/P_0 = V'_{изб} (1 + 10 \Delta P) = \pi \cdot D \cdot n (1 + 10 \Delta P).$$

Зависимость избыточной скорости воздуха от диаметра бурения и частоты вращения можно сохранить и при других типах долот, в том числе шарошечных.

Избыточная скорость воздуха является расчётной для определения общего расхода воздуха при транспортировании буровой мелочи по затрубному пространству и распространяется на частицы всех размеров.

Полученные характеристики движения потока буровой мелочи являются основой для расчёта необходимого для продувки скважины расхода воздуха с целью эффективной очистки её от образующейся буровой мелочи и определения необходимых параметров компрессорной установки станка.

Качественная очистка забоя скважины зависит от теплового баланса системы, поскольку при разрушении забоя и трении инструмента выделяется тепло, вызывающее оттайку и налипание на инструмент буровой мелочи. Тепло, образующееся при разрушении забоя, поглощается буровой мелочью и инструментом, нарушая условия выноса продуктов разрушения, дестабилизируя процесс бурения.

Мощность N , подводимая к забою скважины и реализуемая при разрушении, складывается из мощностей: N_0 , затрачиваемой на образование новых поверхностей, $N_{ТР}$ – преодоление сил трения при работе долота, N_d – на упругие деформации и N_ϕ – на физические эффекты. При инженерных расчётах затратами мощности на упругие деформации и физические эффекты можно пренебречь и считать, что $N = N_0 + N_{ТР}$. Нагрев частиц буровой мелочи будет происходить только за счёт работы, совершаемой при разрушении породы и образовании новых поверхностей, а нагрев бурового инструмента – за счёт работы, затрачиваемой на преодоление сил трения долота о породу и трения в опорах шарошек. Отдельное влияние имеет передача теплоты от продувочного потока сжатого воздуха, поступающего на очистку скважины.

При разрушении забоя выделяется тепло, которое распределяется между буровым инструментом Q' и частицами буровой мелочи Q'' . Оно влияет на температуру продувочного воздуха, вызывая оттайку породы:

$$Q = Q' + Q''.$$

Для исключения оттайки буровой мелочи необходимо поддерживать температурный режим на забое скважины на уровне 0 °С. Это может быть достигнуто подачей на забой продувочного воздуха с отрицательным значением температуры:

$$Q = 1000 \cdot N \cdot K_1 \cdot f_D^{-1} \cdot (\rho_{II} C_{II} V)^{-1} \cdot \alpha_1^{-1},$$

где N – подведённая мощность к забою скважины, кВт; K_1 – коэффициент, учитывающий потери тепла; f_D – площадь долота, м²; ρ_{II} – плотность пород, кг/м³; C_{II} – удельная теплоёмкость пород, Дж/(кг·°С); V – механическая скорость бурения, м/с; α_1 – коэффициент теплообмена между долотом и продувочным воздухом, Вт/(м²·°С).

Наиболее простым и эффективным является охлаждение воздуха путём его теплообмена с атмосферным воздухом, что в условиях карьеров Якутии может быть обеспечено на протяжении большей части года. Для поддержания требуемого температурного режима в процессе бурения скважин разработаны батарейные и радиаторные охладители с учётом требуемых параметров теплообменных процессов. Температура воздуха на выходе из теплообменника должна поддерживаться на уровне:

$$t'_2 = t'_1 - K_4 \cdot F_H (t_{BH} - t_{HAP}) \cdot (G \cdot C_P)^{-1},$$

где t'_1 – температура потока сжатого воздуха на входе в теплообменник, °С; K_4 – коэффициент теплопередачи; F_H – наружная площадь теплообмена, м²; t_{BH} – средняя температура воздуха внутри труб теплообменника; t_{HAP} – средняя температура наружного воздуха; G – массовый расход воздуха; C_P – удельная теплоёмкость воздуха, Дж/(кг·°С).

На этих принципах разработаны специальные конструкции охлаждающих устройств, промышленные испытания которых дали положительные результаты.

В четвертой главе обобщены результаты исследований и приведены итоги промышленных испытаний предлагаемых решений.

Решение вопросов ресурсосбережения при бурении взрывных скважин на алмазородных карьерах АК "АЛРОСА" обеспечивается реализацией комплекса научно-технических мероприятий, заключающихся в разработке: принципов выбора и расчёта параметров буровых долот; конструкций режущих долот с

продувкой скважин сжатым воздухом; конструкций комбинированных режуще-шарошечных долот; параметрического ряда режущих и комбинированных долот; устройств для нормализации температурного режима бурения скважин; инженерной методики бурения скважин.

Режущие долота для бурения с продувкой на сегодня единственный инструмент, способный решить в АК "АЛРОСА" проблему бурения верхних горизонтов при вскрытии, реконструкции или разноске бортов карьера. Подобная проблема возникла при отработке трубки "Юбилейная" Айхальского ГОКа, когда столкнулись со значительными таликовыми зонами, распространяющимися до 300 м по всему рудному телу, где обычными шарошечными долотами бурили лишь 1–2 скважины в смену.

Для бурения скважин диаметра до 160 мм станками со шнеко-пневматическим удалением буровой мелочи (СБР, БТС) разработано и нашло широкое применение на карьерах Мирнинского и Нюрбинского ГОКов АК "АЛРОСА" режущее долото 1РД-160ШП. При бурении станком БТС-150 в условиях карьера Нюрбинского ГОКа эти долота показали проходку на долото в 1,5 раза, а техническую скорость бурения – в 1,3 раза более высокую по сравнению с используемыми на карьере долотами РК 160-3. Для бурения с продувкой скважин на россыпных месторождениях применялись также долота 3РД-215,9 на станках 6СБШ-200/32 и ДМ-45НР. Нюрбинский ГОК ежегодно наращивает потребление режущих долот 3РД-244,5. Перспективы их применения увеличиваются с началом разработки новых алмазородных месторождений.

На карьере "Юбилейный" АК "АЛРОСА" режущие долота типа РД на 215,9 и 244,5 мм с очисткой скважины сжатым воздухом применяются с 1988 г. и до настоящего времени. Использование их позволило увеличить сменную производительность станков в 2,2 раза и снизить расход буровых долот в 20÷40 раз. При этом снижаются запылённость атмосферы при выдаче бурового шлама и вибрация в кабине бурового станка.

При разработке трубки "Интернациональная" и разноске бортов трубки "Мир" столкнулись ещё с одной трудностью – переслаиванием пород по крепости. Поскольку каждый тип шарошечных долот предназначен для определённого, довольно узкого диапазона крепости пород, шарошечные долота не обеспечивали эффективного бурения основной массы пород. Для данных условий были разработаны и на карьерах "Мир" и "Интернациональный" испытаны *комбинированные режуще-шарошечные долота типа РШД*.

Комбинированные долота РШД-215,9, РШД-244,5 и РШД-244,5ТЗ прошли широкую промышленную проверку на различных горнодобывающих предприятиях, в том числе на карьерах Мирнинского ГОКа. При этом установлено, что в диапазоне изменения коэффициента крепости от 4 до 12 скорость

бурения комбинированными долотами в $1,5 \div 2$ раза выше, а энергоёмкость процесса бурения в $2 \div 2,5$ раза ниже, чем шарошечными.

На основании расчётов теплообменных процессов в скважине для охлаждения продувочного воздуха разработаны специальные холодильные установки батарейного и радиаторного типов. Они были изготовлены и испытаны в условиях Айхальского ГОКа АК "АЛРОСА". Применение их обеспечило устойчивое снижение температуры на выходе из долота до минус $4 \div 6$ °С и сокращение случаев нарушения режимов очистки скважин от буровой мелочи. В процессе испытаний было установлено, что производительность станков СБШ-250 МНА при этом увеличивается в среднем в 1,5 раза, а расход долот сокращается в 1,3 раза. Стоимость бурения скважины снижается в 1,4 раза.

На основании анализа условий и накопленного опыта бурения на алмазородных карьерах Якутии разработана *инженерная методика новой технологии бурения скважин*, утверждённая руководством Мирнинского ГОКа и ИрГТУ. Инженерная методика включает в себя ресурсосберегающие технологии бурения скважин на карьерах, описанные выше. Она широко апробирована и внедрена на карьерах Айхальского, Мирнинского и Нюрбинского ГОКов.

Комплексное использование предложенных технических решений позволит усовершенствовать условия труда, интенсифицировать проходку взрывных скважин и улучшить технико-экономические показатели добычи алмазосодержащего сырья в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно – квалификационную работу, в которой *предлагается новое техническое решение актуальной задачи* – обоснования параметров технологии процесса бурения скважин в условиях мёрзлых сложноструктурных породных массивов кимберлитовых месторождений Якутии, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Основные научные и практические результаты работы, полученные лично соискателем, состоят в следующем:

1. Выявлены закономерности технологии бурения взрывных скважин и выдачи продуктов разрушения из затрубного пространства в условиях карьеров кимберлитовых месторождений АК "АЛРОСА".
2. Разработана конструкция режущего инструмента со сменными резцами серийного производства для бурения мёрзлых пород в режиме крупного скола.

3. Разработана конструкция режуще-шарошечных долот для бурения взрывных скважин в условиях перемежающихся по крепости пород.
4. Разработан типоразмерный ряд режущего и режуще-шарошечного инструмента в соответствии с требованиями ведения буровзрывных работ на карьерах АК "АЛРОСА".
5. Доказано, что поддержание необходимого размера затрубного пространства для равномерной выдачи продуктов разрушения должно обеспечиваться охлаждением воздуха, подаваемого для очистки скважины.
6. Разработаны и практически реализованы специальные устройства для охлаждения забоя скважины.
7. Разработана инженерная методика и доказана эффективность специальной технологии бурения скважин в условиях алмазородных карьеров Якутии исполнительными органами принципиально нового типа.
8. Режущие буровые долота нашли промышленное применение на карьерах Мирнинского, Айхальского и Нюрбинского ГОКов АК "АЛРОСА" и работают с высокой эффективностью.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

- в изданиях перечня, рекомендуемого ВАК РФ:

1. Дойников Ю.А. Совершенствование исполнительных органов буровых станков в условиях карьеров АК "АЛРОСА" / Ю.А. Дойников // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. – 2012. – № 4. – С. 77–80.
2. Дойников Ю.А. Ресурсосберегающие технологии бурения взрывных скважин на алмазородных месторождениях / Ю.А. Дойников, А.Е. Беляев // Горный журнал. – 2012. – № 4. – С. 42–44.
3. Дойников Ю.А. Алгоритм обработки экспериментальной информации стационарного случайного процесса / А.Е. Беляев, Ю.А. Дойников // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 12. – С. 89–92.
4. Дойников Ю.А. Стабилизация процесса бурения мёрзлых пород оптимизацией температурного режима очистки скважины от буровой мелочи / Ю.А. Дойников, А.Е. Беляев, Н.Н. Страбыкин // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 2010. – № 5. – С. 61–67.
5. Дойников Ю.А. Разработка параметрического ряда буровых долот режущего и комбинированного типов / Ю.А. Дойников, А.Е. Беляев, Н.Н. Страбыкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 1. – С. 37–41.
6. Дойников Ю.А. Обоснование оптимальных параметров пневмотранспортирования продуктов разрушения при бурении скважин с очисткой сжатым воздухом / Ю.А. Дойников, А.Е. Беляев // Вест. Чит. гос ун-та. – 2010. – № 1. – С. 11–16.

7. Дойников Ю.А. Совершенствование технологии бурения взрывных скважин на алмазородных месторождениях / Ю.А. Дойников, А.Е. Беляев, Н.Н. Страбыкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 6. – С. 54–56.
8. Дойников Ю.А. Опыт применения режущих долот с продувкой скважин / Ю.А. Дойников, С.С. Лаврентьев, С.Г. Киртянов // Горный журнал. – 1995. – № 2. – С. 33–36.

- в научных изданиях и сборниках трудов:

9. Дойников Ю.А. Условия и специфика бурения скважин на алмазородных карьерах Якутии / Ю.А. Дойников, А.Е. Беляев // Сб. научн. тр. научно-техн. конф. – Новочеркасск: Изд-во НПИ. – 1999. – С. 63–68.
10. Дойников Ю.А. Геометрические параметры режущих долот со сменными резцами. / Ю.А. Дойников, В.А. Перетолчин, А.Е. Беляев // Рациональное природопользование при освоении ресурсов Сибирского региона. Иркутск: Изд-во ИрГТУ. – 1998. – С. 69–76.
11. Дойников Ю.А. Опыт применения эмульсионных взрывчатых веществ на карьере «Юбилейный» Айхальского ГОКа / Ю.А. Дойников, В.Ф. Костырин, А.А. Юркевич, В.В. Забула // Сб. Актуальные проблемы разработки кимберлитовых месторождений. – М.: Издательский дом «Руда и металлы». – 2002. – С.75–80.