Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Горного дела, геологии и геотехнологий
институт

Горные машины и комплексы
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.С. Морин
подпись инициалы, фамилия
« _____» _____ 2021 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04.09 - «Горные машины и оборудование»
код и наименование специальности

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗБОРНОГО БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА СО СФЕРИЧЕСКИМИ ШАРОШКАМИ

тема

Научный руководитель _____ доцент, канд. тех.наук В.Т.Чесноков
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ А.С. Арефьев
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент _____ _____ _____
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Консультанты:

Безопасность жизнедеятельности _____ А.В. Галайко
наименование раздела подпись, дата инициалы, фамилия

Экономическая часть _____ Р.Р. Бурменко
наименование раздела подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ В.Т. Чесноков
наименование раздела подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2021 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Горного дела, геологии и геотехнологий
Институт

Горные машины и комплексы
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____А.С. Морин__
подпись инициалы, фамилия
« _____» _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме _____дипломной работы_____
(бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации)

Студенту Арефьеву Андрею Сергеевичу
(фамилия, имя, отчество студента(ки))

Группа ЗГГ 14-06ГМ Направление (специальность) 21.05.04.09
(код)
«Горные машины и комплексы»
(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: Определение прочностных параметров элементов разборного бурового инструмента со сферическими шарошками

Утверждена приказом по университету №

Руководитель ВКР: Чесноков Валерий Тимофеевич, доцент, кандидат ттехнических наук, доцент кафедры «Горные машины и комплексы»
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР: 1. Объемы бурения; 2. Количество шарошечных долот; 3. Средняя проходка на долото; 4. Стоимость бурового инструмента.

Перечень разделов ВКР: 1. Содержание; 2. Введение; 3. Глава 1. Современное состояние техники бурения взрывных скважин; 4. Глава 2. Анализ эффективности эксплуатации буровых станков и инструментов на карьерах России; 5. Глава 3. Исследование напряженного состояния элементов разборного бурового инструмента со сферическими шарошками; 6. Глава 4. Технико-экономическая часть; 7. Глава 5. БЖД; 8. Заключение; 9. Список используемых источников.

Руководитель ВКР _____ В.Т. Чесноков
подпись инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению _____ А.С. Арефьев
подпись инициалы и фамилия студента

« ___ » _____ 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..……6
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНИКИ БУРЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН …….....9
1.1 Горно-геологические условия. Объемы и способы бурения на карьерах....9
1.2 Тенденции развития техники бурения горных пород……..13
1.3 Анализ развития конструкции породоразрушающих инструментов…….25
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БУРОВЫХ СТАНКОВ И ИНСТРУМЕНТОВ НА КАРЬЕРАХ РОССИИ……...34
2.1 Исследование эффективности эксплуатации буровых станков на карьерах России…….....34
2.2 Исследование эффективности эксплуатации буровых инструментов на карьерах России. ……...44
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗБОРНОГО БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА СО СФЕРИЧЕСКИМИ ШАРОШКАМИ……...52
3.1 Построение конечно-элементной модели шарошечного долота со сферическими шарошками и определение условий расчета……....53
3.2 Исследование напряженно-деформированного состояния шарошечного долота со сферическими шарошками……..59
3.3 Анализ полученных результатов……...62
ГЛАВА 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ……64
4.1 Сетевая модель выполнения работы……64
4.2 Сравнительная оценка себестоимости эксплуатации долот на Восточно-Бейском разрезе……77
ГЛАВА 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ……81
5.1 Общие требования……...82
5.2 Буровые работы……...91
5.3. Охрана труда……...93

ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..95
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ…….96

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует множество технических решений по созданию различных видов буровой техники. Однако особое применение в горнодобывающей промышленности нашли станки вращательного бурения шарошечными долотами (СБШ), шнекового бурения с резцовыми коронками (СБР), ударно-вращательного (СБУ), термического (СБО) и комбинированного (СБТМ, СБШК и др.).

Буровые работы на карьерах являются начальным и самым трудоемким процессом в технологии освоения месторождений и добычи полезных ископаемых. Наибольшее распространение на открытых горных работах получил шарошечный способ бурения. Таким способом выполняют до 82,5% всех объемов бурения. На долю шнекового бурения приходится около 17,5%, на долю ударно-вращательного – до 1%. Остальные 0,8% приходятся на термический и ударно-канатный способы. При бурении горных пород применяют три основных типа бурового инструмента: шарошечные долота, ударные буровые коронки и режущие долота.

Большим недостатком шарошечных долот является их низкая адаптируемость к изменяющимся условиям бурения (физико-механическим свойствам пород). Поэтому существует большое разнообразие долот по виду вооружения. Тяжелые энергетические и гидродинамические условия работы, а также конструктивные особенности предопределяют низкую стойкость и повышенный износ шарошечных долот. Средний срок службы шарошечных долот, по данным СКБ СТО, составляет не более 2-3 смен работы.

Проектирование новых видов буровых инструментов обеспечит увеличение их наработки на отказ, снизит энергозатраты бурового станка и как следствие позволит добиться уменьшения стоимости бурения 1 метра взрывной скважины.

Однако, в настоящее время, острым становится вопрос не проектирования долота, а создание промышленного образца, т.к. это требует значительных материальных ресурсов. Наиболее сильно, влиянию этого фактора подвержены научные школы на базе институтов. Так, для доведения конструкции долота до требуемых параметров, часто требуется создание 2-3х и более промышленных образцов.

В настоящее время, при проектировании новых видов буровых инструментов, целесообразно использовать программные средства типа CAE. Связано это с высокой доступностью этих систем, а также их относительной простотой и ценой.

CAE-продукты становятся удобнее в эксплуатации, их внедрение на предприятии позволяет производить изделия лучшего качества.

CAE системы применяются во многих отраслях промышленности:

– автомобильная промышленность;
– аэрокосмическая промышленность;
– энергетика;
– машиностроение и станкостроение;
– судостроение;
– оборонная промышленность;
– полупроводниковая промышленность;
– гражданское и промышленное строительство;
– химическая промышленность;
– производство товаров массового потребления;
– медицинская промышленность;
– телекоммуникационная отрасль;

Функции CAE систем довольно разнообразны:

– расчет установившихся и переходных процессов;
– моделирование полей физических величин;

– анализ прочности;

– расчет собственных частот и форм колебаний;

– анализ устойчивости;

– решение задач теплопередачи;

– исследование акустических явлений;

– анализ нелинейных статических процессов;

– анализ нелинейных динамических процессов;

– расчет критических частот и вибраций роторных машин;

– анализ частотных характеристик при воздействии;

– спектральный анализ.

В рамках настоящей выпускной квалификационной работы выполнен расчет и анализ напряженно-деформированного состояния элементов разборного шарошечного долота со сферическими шарошками на стадии его проектирования с использованием конечно элементных технологий моделирования в программной среде ANSYS.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНИКИ БУРЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ ГЛАВА СКВАЖИН

1.1 Горно-геологические условия. Объемы и способы бурения на карьерах

Соотношение различных способов бурения зависит от многих факторов (горнотехнических, экономических), но главным образом от горно-геологических условий и коэффициента крепости горных пород, значения которого (по шкале М.М. Протодьяконова) для вскрышных массивов на разрезах угольной промышленности России представлены в табл. 1.1.

В табл. 1.2 приведены ориентировочные данные ИГД им. А.А. Скочинского о распределении обуриваемой горной массы по крепости горных пород на карьерах СССР в доперестроечный период [1].

Таблица 1.1 Соотношение вскрышных пород с различными прочностными свойствами на разрезах угольной промышленности России [1]

Характеристика горных пород	Коэффициент крепости f	Соотношение вскрышных пород различной крепости на разрезах основных угольных разрезах Востока России, %			
		Кузбасс	Канско-Ачинский и Минусинский бассейны	Южно-Якутский бассейн	Восточно-Сибирский бассейн
Четвертичные отложения	–	16	6,3	7	32
Алевролиты и аргиллиты	3–6	15	57,4	10,5	25
Песчаники:					
крупнозернистые	3–5	5	3,8	18,1	20
среднезернистые	6–8	11	11,2	22,8	2
мелкозернистые	8–12	31	21	38,6	18
Конгломераты, галечники, крепкие известняки	8–16	22	0,3	3	3
Всего:		100	100	100	100

Таблица 1.2 Распределение обуриваемой горной массы по крепости горных пород, % [2]

Отрасль промышленности	Коэффициент крепости горных пород f			
	до 5	5–10	10–15	15–20
Угольная промышленность	54–66	24–34	10–15	2–3
Железорудная промышленность	5–13	30–36	37–54	10–16
Цветная металлургия	5–16	44–51	20–5	14–19
Промышленность нерудных полезных ископаемых	6–10	33–35	48–51	8–9

Из табл. 1.1 и 1.2 видно, что на угольных разрезах более 60 % объема буримых пород характеризуются коэффициентом крепости f ≤ 7, при бурении которых наиболее высокие технико-экономические показатели имеют долота режущего действия (РД). Однако, практически на угольных разрезах долотами РД выполняется лишь 30 – 35 % объема буровых работ, а остальные 65 – 70 % - шарошечными долотами. В других отраслях промышленности, где применяют буровые работы, доля использования РД еще меньше.

Устранение диспропорции между соотношением применяемых долот по типам (ШД, РД, и др.) и соотношением объемов разрабатываемых пород по крепости только по разрезам угольной промышленности позволяет повысить среднюю производительность буровых станков со 182 до 280 м/смену (рис. 1.1) и снизить стоимость бурения 1м скважины более чем в 1,5 раза, что характеризуется экономией материальных и энергетических ресурсов по отрасли на несколько млрд. руб.

Эти данные показывают возможность значительного расширения объема бурения резанием и повышения технико-экономических показателей буровых работ при более высоком уровне качества долот режущего действия.

До перестроечного периода в СССР объем бурения на карьерах составлял около 60 млн м скважин в год, из них на угольных разрезах – около 27–28 млн м в год, на карьерах по добыче нерудных полезных ископаемых

(горно-химическое и горно-металлургическое сырье, строительные материалы и др.) – около 15–17 млн м [3]. В 1987 г. на угольных разрезах 18,5 млн м скважин было пробурено станками шарошечного бурения и 9,5 млн м – станками шнекового бурения [4].

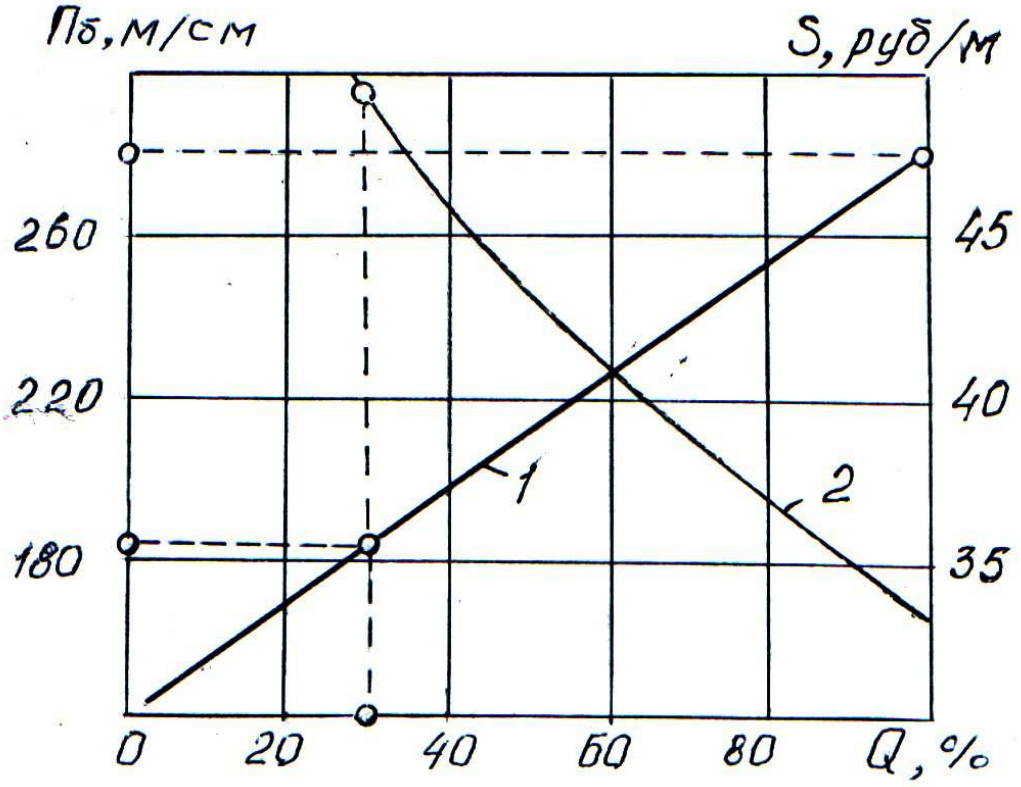


Рис. 1.1. Повышение производительности (1) и снижение стоимости (2) буровых работ на разрезах при увеличении объемов бурения долотами режущего действия

В настоящее время определить объемы бурения на карьерах России можно лишь приближенно. После распада СССР и перехода к рыночной экономике масштабы добычи угля и других полезных ископаемых открытым способом существенно снизились, но в настоящее время достаточно быстро восстанавливаются. Значительные объемы добычи цветных металлов, железных руд и угля остались в Казахстане (ССГОК, Экибастузский бассейн и др.), Средней Азии и Украине (Криворожский и другие бассейны).

Вместе с тем основные районы угледобычи находятся на Востоке России и в них происходит наращивание объемов, особенно в Кузбассе, где в ближайшие 5–7 лет объемы бурения на разрезах превысят 12–13 млн м.

В Канско-Ачинском и Минусинском бассейнах, кроме разрезов «Бородинский», «Изыхский», на которые приходились основные объемы буровых работ, возникли 27 новых развивающихся малых разрезов. С учетом Кайерканского разреза (Норильский ГМК), Каа-Хемского (республика Тыва) и других в этом регионе Центральной Сибири объемы бурения приближаются к доперестроечному периоду. В этом же регионе значительное развитие получили карьеры по добыче золота из коренных месторождений (Олимпиадинское и др.), магнезитов, свинцово-цинковых, молибденовых и других руд, а также сырья для алюминиевых заводов.

Практически не уменьшились и в настоящее время увеличиваются объемы бурения на алмазодобывающих карьерах Якутии.

В ближайшее десятилетие в России ожидаемые годовые объемы бурения на открытых горных, земляных и строительных работах превысят 60 млн м скважин, освоение которых при существующих устаревших средствах бурения потребует списочного состава буровых станков (БС) более 1500 ед. и расходования в год 160–200 тыс. буровых инструментов (БИ). Ежегодные эксплуатационные затраты могут достигнуть 6 млрд руб., из них примерно 60–65 % составят затраты на БИ.

При этом в последнее время преобладает использование долот диаметром 244,5 мм, в меньшей степени – диаметрами 269,9; 320 и 190–215,9 мм (угольные разрезы). Шарошечные долота диаметром 140–161 мм не имеют больших перспектив из-за малой стойкости опор и неконкурентоспособности по сравнению с режуще-ударным инструментом (РУИ) в крепких породах и режущими долотами в некрепких породах.

Соотношение различных способов бурения будет изменяться, их выбор будет определяться горнотехническими факторами и экономическими показателями. Решающее значение при этом имеет не только крепость пород, но и требуемый диаметр скважин, зависящий от блочности (трещиноватости) взрываемых горных массивов и рациональности вида используемого взрывчатого вещества.

1.2 Тенденции развития техники бурения горных пород

Изучению вращательного бурения горных пород посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных ученых, осветивших в той или иной степени разные стороны этого процесса.

Существенный вклад в разработку и решение вопросов, связанных с развитием техники и технологии буровых работ, внесли О.Д. Алимов, Г.В. Арцимович, Т.Г. Агошашвили, В.Д. Буткин, А.В. П.В. Борденов, Д.Н. Башкатов, Г.Д. Бревдо, К.Е. Винницкий, Л.Т. Дворников, А.А. Жуковский, К.И. Иванов, Б.Н. Кутузов, Б.А. Катанов, Л.И. Кантович, М.Г. Крапивин, Е.Д. Карпухин, Н.В. Мельников, И.Э. Наринский, П.П. Назаров, М.М. Протодъяконов, В.А. Перетолчин, Р.Ю. Подэрни, В.В. Ржевский, Н.Я. Репин, А.Ф. Суханов, Б.А. Симкин, Н.Н. Страбыкин, И.А. Тангаев, Г.С. Филиппов, В.В. Царицын, Ф.А. Шамшев, К.А. Чефранов, Е.Ф. Эпштейн и др.

В настоящее время существует множество конструктивных решений по созданию различных видов буровой техники [5 – 15 и др.].

На карьерах России применяют следующие типы буровых станков [1]:

– СБШ (станок буровой шарошечный),

– СБР (станок бурения режущими долотами),

– СБУ (станок буровой ударно-вращательный с погружными пневмоударниками),

– СБУШ (комбинированные) рассчитанные на использование шарошечных, режущих, пневмоударных и других буровых инструментов.

Есть также станки СБШ-250МНР [16], предназначенные для шарошечного бурения взрывных скважин с последующим расширением их заряжаемой части термическим расширителем с мощной высокотемпературной огнеструйной горелкой.

Однако на сегодняшний день преобладает использование шарошечного способа на долю которого приходится до 83% всех объемов бурения .

Огромную роль в развитии техники и технологии бурения на открытых горных работах сыграло освоение отечественных буровых станков типа СБШ, обладающих широкой степенью универсальности (по типу бурового инструмента и диаметру скважины) и возможностью изменения режимных параметров в широком диапазоне. Это позволило охватить наиболее широкий интервал крепости f = 4 – 20 по шкале М.М. Протодьяконова.

Накопленные опытные данные и теоретические разработки показали следующее:

– возможность значительного расширения области бурения режущими долотами скважин диаметром 160–270 мм на силовых режимах и при замене шнековой очистки пневматической и шнекопневматической;

– перспективность комбинированных буровых инструментов: режуще-шарошечных (РШИ), ударно-шарошечных (УШИ), режуще-ударных (РУИ);

– необходимость пересмотра рациональных границ использования различных способов и средств бурения с учетом изменений в экономике горной промышленности, конструкциях и качестве буровых инструментов и станков, появления новых твердых сплавов, конструкционных материалов, средств электроники и т.д.;

– условность деления буровых станков по способу бурения на СБР, СБУ и СБШ и целесообразность их классификации прежде всего по технологическому назначению при строго обоснованной типизации условий применения.

При выборе базовых моделей буровых станков и их модификаций необходимо учесть ряд изменений в технологии, горно-геологических и экономических условиях ведения горных работ (и технологических требований) [1]:

1. Четкую тенденцию к увеличению диаметра взрывных скважин, объясняемую стремлением использовать на карьерах простые гранулированные и комбинированные (смесь эмульсионных и гранулированных) ВВ как наиболее дешевые и позволяющие полностью

механизировать процесс как их приготовления, так и заряжания ими скважин. Необходимый уровень работоспособности зарядов таких ВВ (скорость детонации, удельная концентрация энергии и др.) достигается увеличением диаметра скважин.

2. Рост числа глубоких карьеров (Н > 150–300 м) и в связи с этим увеличение крепости горных пород и вероятный рост потребности в мобильных буровых станках с диаметром бурения скважин 200–220 мм из-за стесненных условий и сейсмических ограничений.

3. Вероятный рост объемов бурения глубоких (до 35–40 м) наклонных скважин в связи с расширенным освоением кранлайнов и другой экскавационной техники, позволяющей разрабатывать карьеры высокими уступами.

4. Увеличение объемов бурения на разрезах режущими, дисковыми и комбинированными долотами на повышенных скоростях подачи в связи с намеченным ростом добычи угля от 260–280 млн т в 2005 г. до 450–500 млн т в 2020 г. преимущественно открытым способом на Востоке страны.

Основные принципы построения типоразмерного ряда карьерных буровых станков, заложенные в исследованиях институтов ИПКОН РАН, ИГД им. Скочинского, НИИОГР, МГГУ, ИГД УрО РАН и др., по-видимому, не претерпят значительных изменений. Оптимизации по критерию стоимости бурения подлежат диапазоны изменения диаметра бурения на базовых моделях. При этом одним из основных факторов, определяющих стоимость бурового станка той или иной модификации, остается его масса, зависящая не только от диаметра бурения, но и от типа бурового инструмента (рис. 1.2) и способа очистки скважин [17].

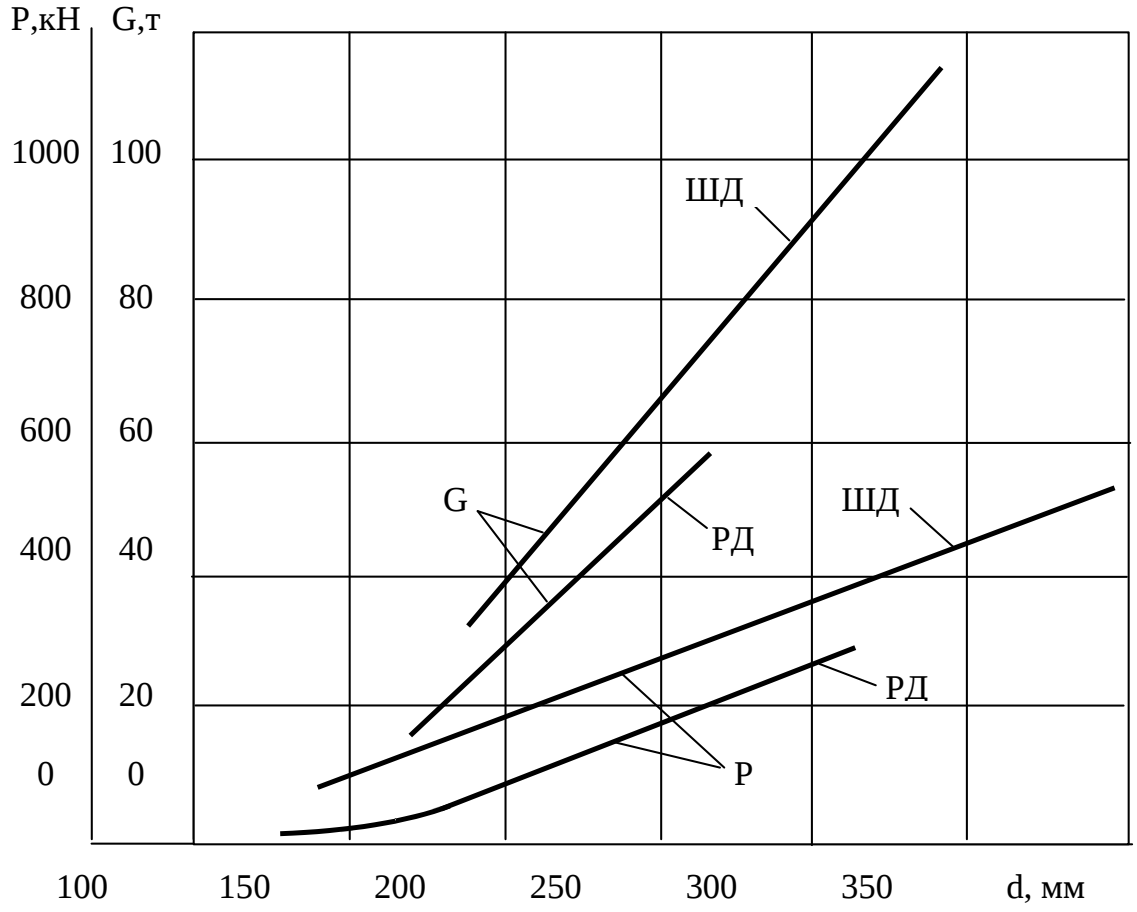


Рисунок 1.2 - Изменение массы буровых станков G и проектируемых максимальных осевых нагрузок $P_{ос}$ на долото в зависимости от диаметра скважин d и типа долота: ШД – шарошечные долота, РД – долота режущего типа

С учетом выше изложенного один из возможных ориентировочных вариантов типизации условий бурения и формирования типоразмерного ряда станков на модульном принципе их построения представлен в табл. 1.3.

Таблица 1.3 - Ориентировочная типизация условий бурения для основных модификаций буровых станков [1]

Характеристика станков по массе и диаметру d, мм, долот	Преимущественная область применения	Модификации буровых станков							Прототипы для базовых моделей
		Индекс модели	Диаметр долот, мм	Способ очистки забоя	Буровой инструмент	Максимальная осевая нагрузка, кН	Масса, т	Буровые штанги	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тяжелого типа, d = 244,5–320	Крупные рудные карьеры с преобладанием крепких пород (f > 10–12), частично угольные разрезы	I	320	Пневмати-ческий	ШД	500	100–120	Гладкост-вольные	СБШ-320 РД-10
		II	244,5 269,9	Пневматический, шнекопневматический	ШД, УШИ, ДД, РШИ, ДЗДШ	320	70–80	Гладкост-вольные, комбинированные	СБШ-250МНА
Среднего типа, d = 190–215,9	Глубокие карьеры, вскрышные породы угольных разрезов, карьеры строительных материалов	III	190–215,9	Пневматический, шнекопневматический	ШД, РД, ДД РШИ, РУИ, ДЗДШ	200	40–45	То же	СБШК-200 НВМ230
Легкого типа, d = 125–160	Угольные уступы, некрепкие породы вскрыши (f < 5)	IV	160	Шнековый	РД, ДД	70	12–15	Шнековые	СБР-160-24
	Вскрыша ряда разрезов, изверженные и метаморфические породы крупноблочного строения	V	160	Пневматический, шнекопневматический	ПУ, РД, ШД, ДД, РУИ, ДЗДШ	120	32–35	Гладкост-вольные, комбиниро-ванные	СБШ-160, СБУ-125А НВМ-185
	Малые карьеры с крепкими породами; повышенная кусковатость взорванных пород	VI	125	Пневматический	ПУ, РУИ	80–90	13–15	Гладкост-вольные	СБУ-125А, 2СБР-125

Примечание. Сокращенные обозначения: ШД – шарошечные долота; РД – режущие долота; ДД – дисковые долота, УШС – ударно шарошечные инструменты; РУИ – режуще-ударные инструменты; РШИ – режуще-шарошечные инструменты; ПУ – пневмоударные инструменты, ДЗДШ – долота с зубчато-дисковыми шарошками.

На сегодняшний день начитывается не много компаний производителей буровых станков [17], на что повлияли многочисленные слияния компаний

В настоящее время, ведущими производителями буровых станков для карьеров России являются:

– УГМК-«Рудгормаш»;

– Бузулукский завод тяжелого машиностроения;

– ИЗ-КАРТЭКС (Объединённые машиностроительные заводы.

Краткая техническая характеристика бурового оборудования [18-23] отечественных производства приведена в табл. 1.4.

Таблица 1.4 - Техническая характеристика буровых станков отечественного производства

Модель	Диаметр скважины, мм	Глубина бурения, м	Усилие подачи, кН	Скорость передвижения, км/ч	Компрессор	Привод	Масса станка, т
«Рудгормаш»							
СБШ-250/270-60	250; 270	60	350	0 – 1,3	ВНИИкомпрессормаш, Atlas Copco 32 680	электрический	90
СБШ-250-МНА32	250; 270	32; 47	350	0 – 1,8	ВНИИкомпрессормаш, Atlas Copco 32 680	электрический	85 – 90
СБШ-250МНА-32 КП	250; 270; 311	32	350	0 – 1,8	ВНИИкомпрессормаш, Atlas Copco 50 680	электрический	120
СБШ-160/200-40Д	160 - 215	40	235	0 – 1,3	ВНИИкомпрессормаш, Atlas Copco 25 700	дизель Cummins QSK 19	50
Бузулукский ЗТМ							
3СБШ-200-60	200; 250	60	300	0,75	ВНИИкомпрессормаш	электрический	700
6СБШ-200-32	200; 250	40	300	0,75	ВНИИкомпрессормаш	электрический	700
ИЗ-КАРТЭКС (ОМЗ)							
СБШ-270ИЗ	200; 270	32	450	0 – 1,47	Пензакомпрессормаш	электрический	500
СБШ-270-34	200; 270	34	350	0 – 1,47	Пензакомпрессормаш	электрический	500

В планах развития отечественной буровой техники предусматривается создание станков шарошечного бурения диметром до 320 – 350 мм; совершенствование автоматизации управления станками; осуществление бурения скважин глубиной до 20 – 25 м единой буровой штангой; освоение новых типов шарошечных долот и применение многоцелевых станков, на которых могут быть использованы различные принципы бурения.

В зарубежных фирмах по созданию буровой техники широко распространен опыт проектирования по модульному принципу (создание различных модификаций станков на основе базовых моделей). Так фирма немецкая фирма «Хаусхерр» выпускает ряд моделей станков рассчитанный на применение шарошечный, режущих и пневмоударных инструментов [24, 25].

Основными зарубежными фирмами–производителями [18, 26] буровой техники являются:

– *Atlas Copco* (с 2002 года собственник фирмы «Ingersoll-Rand»). Выпускает семейство из полностью гидрофицированных станков массой 28-169 т [5];

– *Caterpillar* (взявшая в 2011 году под контроль корпорацию «Busyrus»). Выпускает электрофицированные станки сверхтяжелого типа, а также гидрофицированные станки среднего и тяжелого типов [26];

– *Sandvik Mining and Construction*. Налажен выпуск семейства самоходных полностью гидрофицированных станков массой 33,5-145 т [34];

– *Global P&H (Harnischfeger).* Налажен фыпуск электрических и дизель-гидравлических стнков среднего и тяжелого типов [5];

– *Hausherr System Bohtechnik*. Выпускает гидравлические буровые станки массой до 40 т [5];

– *Shramm*. Выпускает ряд самоходных гидрофицированных станков до 30 т [26].

Краткая техническая характеристика бурового оборудования зарубежных фирм [27-33] приведена в табл. 1.5.

Таблица 1.5 - Техническая характеристика буровых станков зарубежных производителей

Фирма-производитель, модель	Диаметр бурения, мм	Глубина бурения, м	Бурение за один проход, м	Усилие подачи, кН	Тип привода	Масса станка, т
Atlas Copco						
DM25-SP	102 – 178	15,2	12,2	111	дизель	28
DM30	127 – 171	45	7,9	133	дизель	28
T4BH	143 – 251	54	6,8 – 8,4	133	дизель	26
DM45	149 – 229	53,3	8,5	200	дизель	41
DM50	149 – 229	54,8	8,5	222	дизель	40
DML-SP	152 – 251	18,3	15,2 – 18,3	240	дизель	45
DML	149 – 270	62,5	8,5; 9,1	267	дизель	50
PV235	152 – 251	73; 64; 54,9	12,2; 10,7; 9,15	267	дизель	58
DM-M3	251 – 311	73,2	11,3	400	дизель	104
PV271	171 – 270	32	16,8	311	дизель	84
PV275	171 – 270	59,4	11,3	311	дизель	79,4
PV351	270 – 406	41,1	19,8	534	дизель; электрический	188
Caterpillar						
MD 6240 Series	152 – 270	до 55,5	12,8 – 15,8	222	дизель	62,7
MD 6290 Series	152 – 270	до 52,7	8,6 – 11	277	дизель	54,6
MD 6420 Series	229 – 311	до 74	10,3 – 16,5	382	дизель	95,6
MD 6540 Series	229 – 381	до 85	16,5 – 20	382	электрический	131,1
MD 6640 Series	251 - 406	до 85,3	19,81	627	электрический	154
MD 6750 Series	273 - 444	39,6	18,3	733	электрический	183,7
Sandvik Mining and Construction						
D25KS	127 – 172	27	8,7	124	дизель	32,7
D245S	127 – 203	45	8,7	178	дизель	35
D45KS	152 – 229	63	8,7	200	дизель	47,6
D50KS	152 – 229	45	8,7	222	дизель	47,6
D55KS	172 – 254	17	17	200	дизель	61,2
D75KS	229 – 279	53	10,7	334	дизель	63,5

Продолжение таблицы 1.5

Фирма-	Диаметр	Глубина	Бурение за	Усилие	Тип привода	Масса

производитель, модель	бурения, мм	бурения, м	один проход, м	подачи, кН		станка, т
D90KS	229 – 381	85	12,2	400	дизель	140,6
1190E	229 – 382	85	12,2	400	дизель; электрический	145,2
DR460	251 – 311	75	12,3	356	дизель	93,4
D55SP	172 – 254	32	17	200	дизель	79,3
DR412i	216 – 311	75	18	400	дизель	101,5
Global P&H (Harnischfeger)						
P&H250XP-DL	204 – 339	85	12	422	дизель	113,4
P&H250XP-ST	204 – 339	60	19,8	422	дизель	113,4
P&H250 hard rock	204 – 339	60	19,8	490	дизель	145
P&HXPC	до 559	60	19,8	677	электрический	165
Shramm						
T450BH	до 165	38	7,6	78	дизель	19,5
T450WS	165	91,5	6,1	100	дизель	22,7
T555	165	53	6,1; 7,6	133	дизель	23,1
T685WS	165	53	6,1; 7,6	156	дизель	25,9

Анализ данных табл. 1.4, 1.5 показывает, что зарубежные фирмы предусматривают более широкий диапазон диаметров бурения, глубины бурения, мощности двигателя по сравнению с отечественными аналогами. Также видно, что зарубежные фирмы изготавливают как легкие станки с диаметром бурения менее 200 мм и массой 30–40 т, так и мощные станки для бурения скважин более 380 мм и массой от 140 т, что нельзя сказать про отечественных производителей.

На рисунке 1.3 представлены особенности проектирования станков западных фирм изготовителей [26]

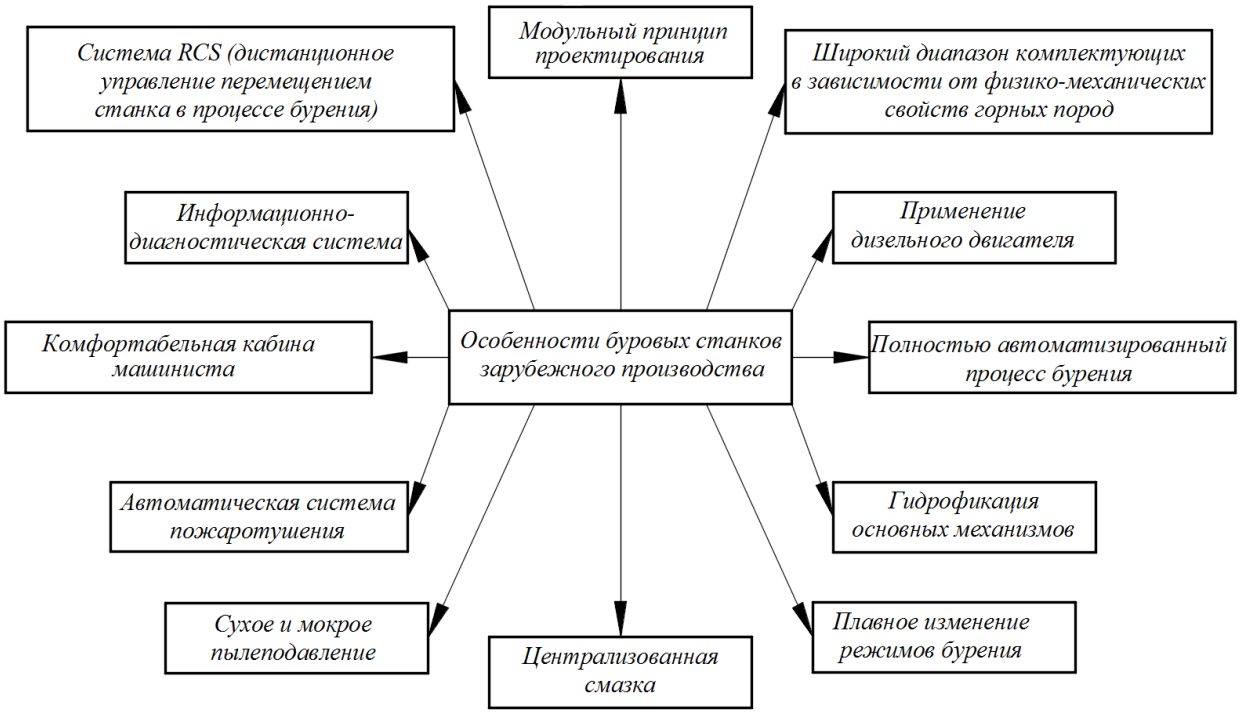


Рисунок 1.3 - Особенности станков зарубежного производства

Зарубежная буровая техника снабжена информационно-диагностической системой (ИДС) [26], особенности которой представлены на рис. 1.4.

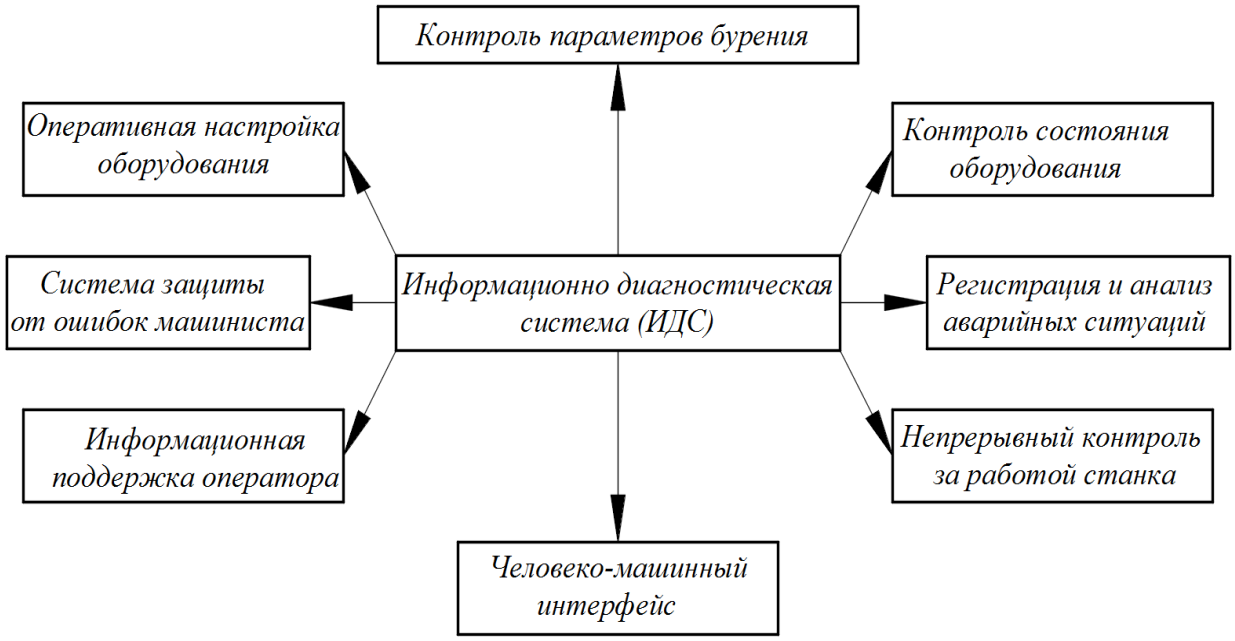


Рисунок 1.4 – Особенности информационно диагностической системы буровых станков западных фирм

В системе управления RCS [5] предусмотрено отслеживание показаний приборов с выводом на центральную панель. Кроме того, станки шарошечного бурения как отечественного, так и зарубежного производства могут оснащаться системой спутникового позиционирования GPS/ГЛОНАС. Однако следует отметить, что все существующие системы автоматики не позволяют эффективно регулировать режимные параметры в процессе бурения в зависимости от изменяющихся характеристик породного массива.

В работе [5] представлены результаты анализа энерговооруженности более чем для 20 моделей современных отечественных и зарубежных буровых станков в диапазоне веса от 40 до 150 тонн, данные которого приведены на рис.1.5.

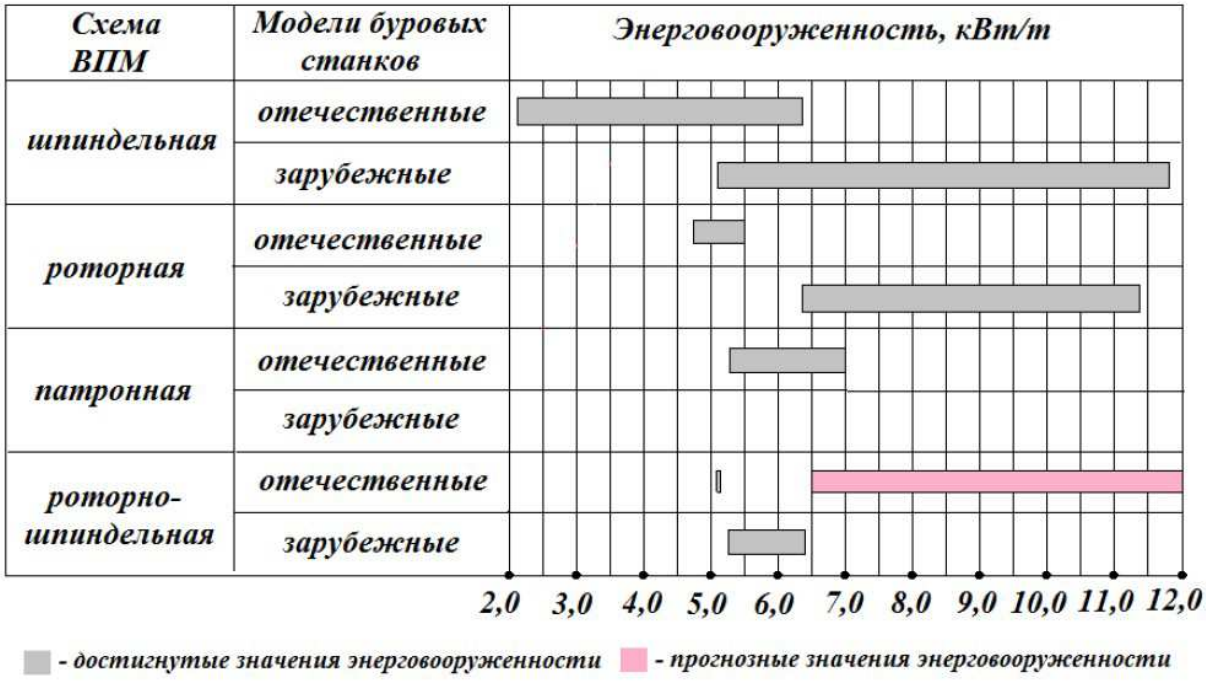


Рисунок 1.5 – Энерговооруженность буровых станков

Анализ рис. 1.5 позволяет сделать следующие выводы:

– у станков со шпиндельной схемой ВПМ отечественного производства энерговооруженность изменяется в диапазоне от 2,17 до 6,4 кВт/т, в то время как зарубежные станки со шпиндельной схемой ВПМ имеют энерговооруженность от 5,11 до 11, 75 кВт/т;

– у станков с роторной схемой ВПМ отечественного производства энерговооруженность изменяется в диапазоне от 4,79 до 5,5 кВт/т, а у зарубежных станков в диапазоне от 6,48 до 11,4 кВт/т;

– у станков отечественного производства с патронной схемой ВПМ энерговооруженность изменяется в диапазоне от 5,3 до 7,0 кВт/т;

– у станков с роторно-шпиндельной схемой ВПМ энерговооруженность изменяется в диапазоне от 5,0 кВт/т до 6,4 кВт/т.

Учитывая все преимущества зарубежной буровой техники, можно отметить ряд преимуществ отечественных буровых станков:

– неприспособленность зарубежного оборудования к климатическим условиям России (в основном в условиях Крайнего Севера);

– изготовление запасных частей и гарантийный ремонт оборудования (в том числе импортного) производится в России;

– технический персонал, способный обслуживать и ремонтировать технику (в том числе импортную), подготавливается прямо на заводах-изготовителях;

– соответствие оборудования российским стандартам и нормам.

С учетом всего отмеченного, на наш взгляд, назрела необходимость разработки и применения на карьерах универсального бурового станка со следующими характеристиками:

– создание широкого выбора станков по комплектации, глубине бурения, мощности;

– универсальный главный привод (электрический, дизель – электрический);

– с высокой степенью механизации основных и вспомогательных процессов;

– с бурением шарошечными долотами скважин диаметром 160 – 270 мм. Ограничение максимального диаметра скважин 250 – 270 мм обусловлено тем, что увеличение диаметра бурения утяжеляет буровой станок и приводит к нецелесообразности бурения скважин уменьшенного диаметра;

– с бурением скважин на 15-метровых уступах двумя штангами;

– с бурением скважин диаметром 170 – 200 мм по последним рядам на вскрыше, на приконтурных блоках и по всем рядам на руде;

– с бурением скважин диаметром 250 – 270 мм по основным рядам на вскрыше.

Таким образом, на современных карьерах основным при бурении взрывных скважин является шарошечный тип бурения. Не предвидится замены этому типу бурения и на перспективу.

На основе выполненного анализа современного состояния техники и технологии бурения взрывных скважин установлено, что в обозримом периоде времени основным способом разрушения горных пород будет оставаться механический способ. Поскольку, термический [3, 4], взрывной, гидравлический, акустический, электро-гидравлический и химический [5, 6] способы разрушения породы находятся в стадии экспериментов, которые, однако, подтверждают возможность их эффективного использования в будущем.

1.3 Анализ развития конструкции породоразрушающих инструментов

В технологии бурения на карьерах основной становится проблема бурового инструмента, поскольку именно сочетание типа инструмента и параметров режима бурения определяет способ бурения, реализуемый буровыми станками, имеющими одинаковую конструктивно-технологическую схему построения. Поэтому для успешного осуществления буровзрывных работ необходимо совершенствование уже имеющихся и разработка новых высокопроизводительных буровых инструментов.

Большой вклад в создание породоразрушающего инструмента внесли Д.Н. Башкатов, В.Д. Буткин, Б.В. Брюхов, А.Е. Беляев, В.М. Горячкин, И.К. Владимирцев, Я.Н. Долгун, В.И. Дусев, Б.А. Катанов, Ю.М. Коледин, М.Р. Мавлютов, Б.Р. Ракишев, В.С. Травкин, А.В. Телешов, Ю.П. Шеметов, О.В. Чернецкий, Е.В. Чудогашев, М.К. Якушин и др., а также ряд производственных организаций, учебных, проектных и научно-исследовательских институтов:

Институт горного дела СО РАН, ВНИИБТ, ВНИИТС, Московский государственный горный университет (МГГУ), Кузбасский государственный технический университет (КузГТУ), Иркутский государственный технический университет (ИрГТУ), Институт горного дела МЧМ РФ, Государственный университет цветных металлов и золота (ГУЦМиЗ), Институт горного дела Севера СО РАН и др.

На рис. 1.6 показаны рекомендуемые в литературе ориентировочные области эффективного использования механического инструмента в зависимости от крепости горных пород [28].

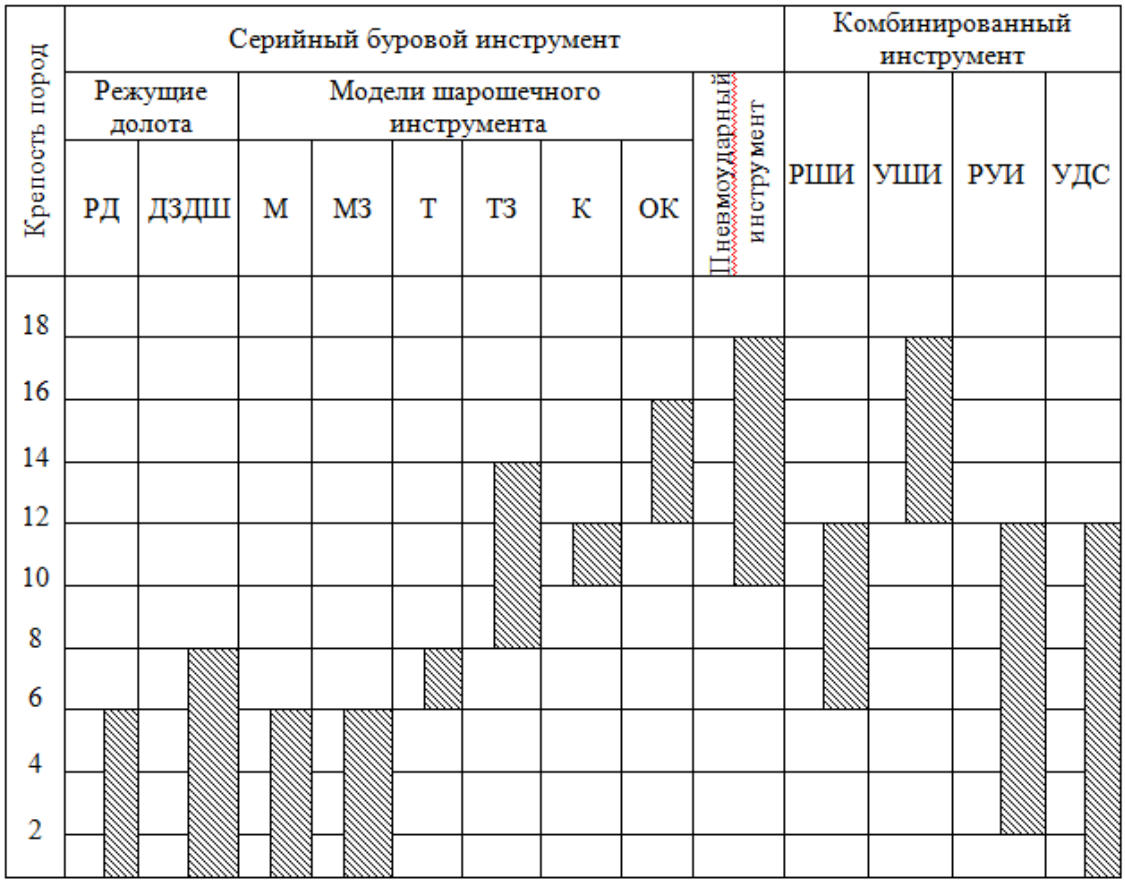


Рисунок 1.6 - Область эффективной работы бурового инструмента: РД – режущие долота с неподвижными резцами; ДЗДШ – долота с зубчато-дисковыми шарошками; РШИ – режуще–шарошечный инструмент; РУИ – режуще–ударный инструмент; УДС – ударно–дисковый снаряд; УШИ – ударно-шарошечный инструмент

Из диаграммы видно, что каждая в отдельности модель инструмента имеет довольно ограниченные границы эффективной работы (особенно шарошечных долот).

Комбинированные инструменты с дискретным или одновременным воздействием на горную породу различных породоразрушающих элементов (шарошечных, резцовых, дисковых, ударных и др.) существенно расширяют эффективную область бурения. Среди них (рис. 1.4) по области применения выделяется созданный в НИИОГР режуще-ударный инструмент (РУИ) с регулируемым интенсификатором, который, как показали испытания РУИ-160 и РУИ-216, может реализовать режимы вращательно-ударного, ударно-вращательного бурения и бурения резанием в диапазоне изменения крепости горных пород от f = 1 до f = 12.

В силу специфичности горно-технологических условий бурения на карьерах (не глубокие скважины в сложноструктурных породным массивах) буровое долото часто работает в области, не соответствующей условиям его применения, что приводит снижению технических и экономических показателей бурения.

Комбинированные инструменты с дискретным или одновременным воздействием на горную породу различных породоразрушающих элементов (шарошечных, резцовых, дисковых, ударных и др.) существенно расширяют эффективную область бурения. Среди них (рис. 1.6) по области применения выделяется созданный в НИИОГР режуще-ударный инструмент (РУИ) с регулируемым интенсификатором, который, как показали испытания РУИ-160 и РУИ-216, может реализовать режимы вращательно-ударного, ударно-вращательного бурения и бурения резанием в диапазоне изменения крепости горных пород от f = 1 до f = 12.

Буровой инструмент является самым высоконагружаемым и ответственным элементом бурового станка, за жизненный цикл которого (примерно10 лет) затраты на израсходованные долота, как правило, в несколько раз превышают стоимость самой машины [16]. Это объясняется высокой стоимостью шарошечных долот, которая за последние годы возросла в сотни раз не

пропорционально стоимости станков. Прочие затраты на бурение (стоимость машиносмены станка, включая расход электроэнергии) увеличились в десятки раз, но в меньшей степени по сравнению с затратами на долота.

Следует отметить, что горная промышленность (зарубежная и отечественная) заимствует многие разработки в области бурения, освоенные нефтяной промышленностью. Так на месторождения разрабатываемых открытым способом работы по шарошечному бурению начаты на 30–40 лет позже, чем на нефтепромыслах.

При этом в горной промышленности применяются ШД, принципы создания которых определены, как правило, условиями проходки глубоких скважин, где решающим фактором эффективности инструмента является снижение потерь времени на замену изношенного долота на большой глубине. В этом случае потери производительности от длительности подъемно-спусковых операций, сильно зависящей от износостойкости долота, не удается компенсировать увеличением скорости бурения. Это вынуждает нефтяников создавать опоры и вооружение ШД высокой стойкости, применяя сложную и затратную технологию изготовления.

Такой подход по инерции сохраняется при изготовлении долот горнорудного назначения с небольшой корректировкой конструкции, связанной с очисткой скважины сжатым воздухом вместо промывочной жидкости. Экономически это не всегда оправдывается, так как взрывные скважины имеют в десятки и сотни раз меньшую глубину, поэтому затраты времени на замену долота и степень риска при их отказе бывают ничтожны. При этом существенно меньшими бывают потери энергии в буровом ставе и затраты её на эвакуацию буровой мелочи из скважины. Однако в себестоимости 1 м взрывных скважин затраты на шарошечные долота в крепких породах в 2–6 раз и более (в зависимости от диаметра и крепости пород) превышают остальные затраты из-за высокой стоимости ШД, которая не компенсируется достигаемой стойкостью долот и их скоростными качествами. Более того, повышение долговечности ШД,

связанное с большим ростом их цены, не всегда приводит, как показывают наблюдения, к уменьшению удельных затрат на бурение.

В связи с этим разработаны более сложные, многодетальные и дорогие комбинированные инструменты режуще-шарошечного, ударно-шарошечного и режуще-ударного типов, которые используются в небольшом количестве и не лишены недостатков, особенно при переходе на большие диаметры скважин.

Применяемый в настоящее время отечественный и зарубежный шарошечный буровой инструмент является неразборным [2, 34].

При изнашивании опор и вооружения (что составляет примерно 80 % всех причин выхода из строя конусных шарошечных долот) корпус долота с ниппелем остается вполне пригодным для дальнейшей эксплуатации. Однако при выбраковке этих долот в металлолом уходят все его детали и узлы. Ресурс корпуса долота при этом остается невыработанным.

Предложенная для глубокого бурения конструкция долота большого диаметра со сменными породоразрушающими секциями [28] содержит (рис. 1.7) корпус, в котором зафиксированы породоразрушающие секции, имеющие хвостовики с конической резьбой.

Однако конструкция приведенного долота предусматривает применение только двухшарошечного варианта исполнения, что далеко не всегда соответствует горнотехническим условиям бурения скважин. Также долото рассчитано для бурения скважин с промывкой раствором, что не соответствует условия бурения взрывных скважин на карьерах.

Одной из основных причин выхода из строя подшипниковых серийно изготавливаемых ШД является неравномерность распределения нагрузок на шарошки, возникающая при неодинаковой крепости пород в забое, а также разновысотность вооружения шарошек и секций, допускаемая соответствующим ГОСТом при их изготовлении.

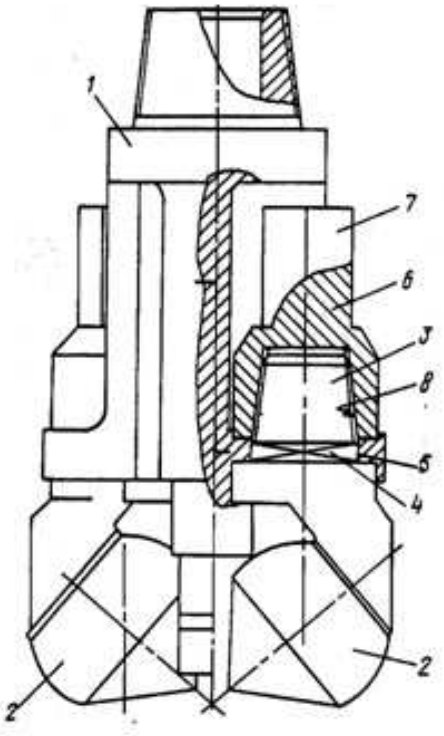


Рисунок 1.7- Долото для бурения скважин со сменными породоразрущающими секциями: 1 – корпус; 2 – секции; 3 – коническая резьба; 4 – стопорный узел; 5 – отверстие; 6 – гайка; 7 - хвостовик

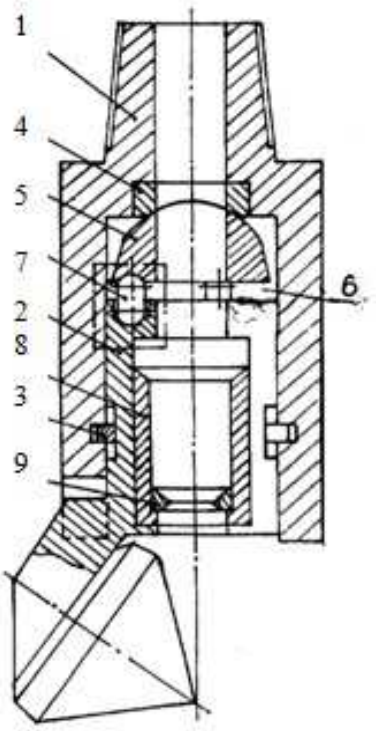


Рисунок 1.8- Долото для бурения скважин со сменными породоразрущающими секциями: 1 – корпус; 2 – секции; 3 – запорное устройство; 4 - подпятник; 5 – пята; 6 – юбка; 7 – сферическая опора; 8 – втулка; 9 – промывочная насадка

Указанные недостатки позволяет устранить разборная конструкция бурового долота (рис. 1.8), обеспечивающая передачу осевой нагрузки на секции долота таким образом, чтобы она регулировалась за счет перемещения этих секций в осевом направлении [29].

Долото (рис. 1.8) состоит из корпуса с замковой резьбой для соединения с бурильной колонной. В верхней части корпуса размещен подпятник, имеющий сферическую поверхность, на которую опирается пята с такой же поверхностью, имеющая возможность поворачиваться относительно центра сферы в любом направлении.

Каждая секция долота имеет возможность осевого возвратно-поступательного перемещения, что обеспечивает равномерность распределения веса бурового става на секции долота при неровности забоя в пределах 20 мм и углах падения в пределах до 15°.

Однако рассмотренное долото является неразборным и не имеет возможности использование различных видов породоразрушающих элементов в зависимости от физико-механических свойств горных пород.

Одним из существенных недостатков конусных шарошечных долот являются низкая стойкость опор и незначительная величина затрубного пространства, не в полной мере обеспечивающая эффективную очистку скважины от бурового шлама.

Следует отметить некоторые конструкции [30, 31] одношарошечных долот, имеющих мощную опору и возможность создания затрубного пространства большой величины которые в той или иной мере устраняют перечисленные недостатки.

Одношарошечные долота со сферической (рис. 1.9) [30] и конусной (рис. 1.10) [31] шарошками имеют опору, расположенную к вертикальной оси под острым углом. Их конструкции позволяют создавать высокие осевые нагрузки на долота, что обеспечивает повышение скорости бурения.

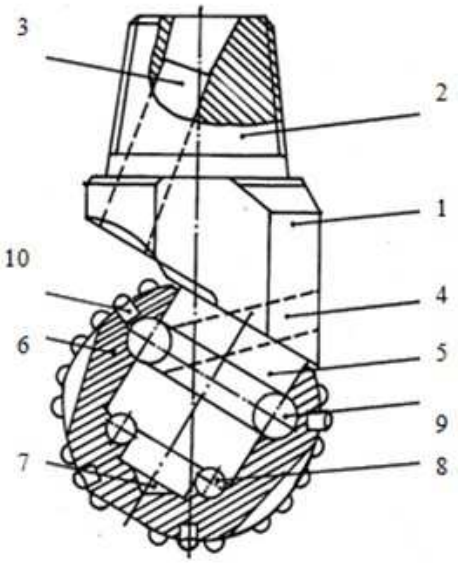


Рисунок 1.9 - Одношарошечное буровое долото: 1– корпус; 2 – ниппель; 3 – продувочный канал; 4 – канал для шарикового замка; 5 – цапфа; 6 – шарошка; 7 – подпятник; 8 – упорный шариковый подшипник; 9 – шариковый ряд замка; 10 – твердосплавный зубок со сферической шарошкой

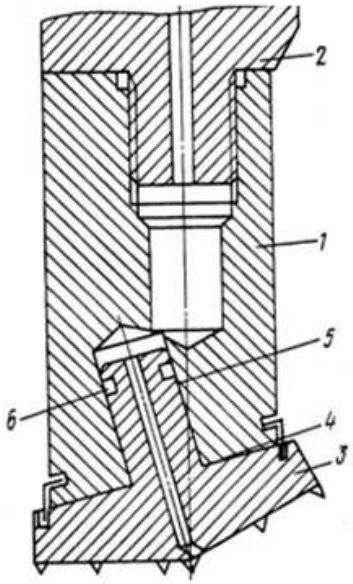


Рисунок 1.10 - Одношарошечное буровое долото с конусной шарошкой: 1- корпус; 2 – буровой став; 3 – конусная шарошка; 4 – опора; 5 – цапфа; 6 – замковый механизм

Однако эти долота тоже являются неразборными. Так же, как и в конусном шарошечном долоте, при выходе из строя опоры и вооружения выбраковке подлежат все детали и узлы долота, в том числе пригодные к дальнейшей эксплуатации.

Практика показывает, что выпускаемые ШД, конструктивные и ресурсные параметры которых изначально рассчитаны на жесткие требования проходки глубоких скважин (на нефть и газ), не могут соответствовать всем условиям бурения неглубоких взрывных скважин.

Как уже отмечалось, в горных породах с относительно небольшим коэффициентом крепости (f = 2–10), составляющих на ОГР значительную долю (от 25–35 % на добыче руд, алмазов, строительных материалов и до 80–90 % на угольных разрезах), в 1,5–3 раза большую производительность и экономичность по сравнению с ШД могут обеспечить более дешевые и простые режущие долота (РД) [5, 21-23], а в сложноструктурных породных массивах – долота с зубчато-дисковым вооружением [24 - 26] и различные комбинированные инструменты [23, 27 - 28].

Пилотные модели некоторых новых видов режущих и комбинированных долот усилиями ряда НИИ и вузов (НИИОГР, ИГД им. А.А. Скочинского, ГУЦМиЗ, ИГДГиГ СФУ, ИрГТУ, КузГТУ и д.р.) разработаны давно, но серийное их изготовление и должное использование не организовано (за исключением РД диаметром 160 мм для шнековых станков), а четкие границы их применения не определены. Большинство предложенных РД оснащаются зубками от проходческих комбайнов, номенклатура которых постоянно меняется, а формы и размеры пластин твердого сплава не всегда целесообразны. Многие известные технологические решения БИ еще требуют длительной опытно-промышленной проверки и экономических обоснований.

В бурении резанием, область эффективности которого в настоящее время определяется крепостью f = 6–7, центральным является вопрос его рационального применения, поскольку высокая производительность РД находится в противоречии с интенсивным падением стойкости резцов при повышении

крепости и (особенно) абразивности горных пород. Эта проблема в конечном счете имеет экономический характер и для своего решения требует системного подхода.

На современном этапе должна решаться задача дальнейшего расширения области бурения резанием в сторону более крепких пород ($f > 7$) с учетом того, что его теоретическим пределом эффективности является разрушение горных пород крепостью $f \approx 12$. Решить эту задачу при существующих конструкциях стержневых РД не удается. Долота такой конструкции при встрече с прослойками пород крепостью $f \leq 8–10$ быстро изнашиваются и теряют работоспособность. Эти негативные явления усугубляются с увеличением диаметра долота от 160–216 до 250–320 мм, так как скорость резания у периферийных резцов возрастает в 1,35–1,7 раза.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БУРОВЫХ СТАНКОВ И ИНСТРУМЕНТОВ

Анализ эффективности эксплуатации отечественной и зарубежной буровой техники позволяет выявить основные ее недостатки, учет которых, в свою очередь, позволит разработать более совершенные модели буровых станков и инструментов, обеспечивающие низкие технико-экономические показатели бурения.

2.1 Исследование эффективности эксплуатации буровых станков на карьерах России

В настоящее время на карьерах и разрезах России находится в эксплуатации около 200 станков шарошечного бурения, из которых 80% – отечественного производства («УГМК-Рудгормаш», Ижорского завода и др.) 20% – зарубежных фирм (Atlas Copco, Sandvik, Tamrok и др.). Имеется небольшое количество станков ударно-вращательного бурения. В последние годы отмечается непрерывный рост числа зарубежной буровой техники.

Зарубежные дизельные буровые станки по сравнению с отечественными электрическими имеют ряд следующих основных преимуществ: они не зависят от электрической сети карьера, обладают повышенной мобильностью и производительностью, а их гидравлический привод позволяет механизировать ряд основных процессов бурения. На основании этого, в значительной мере увеличивается число заказов отечественными потребителями на буровые станки с дизельным двигателем [35].

Отечественная буровая техника ведущих предприятий ОАО «Рудгормаш» и ОАО «Бузулукский завод тяжелого машиностроения» (СБШ-250-МНА-32, СБШ-190-250-60, 3СБШ-200-60, 6СБШ-200-32 и т.д.) в большей степени не

конкурентноспособна. Ее главным недостатком по сравнению с лучшими зарубежными аналогами следует считать низкую надежность.

Однако, с перечисленными недостатками, буровые станки российского производства типа СБШ, при бурении крепких горных пород, по среднегодовой производительности не уступают зарубежной буровой технике. В работе [36] (табл. 2.1) представлены показатели бурения на ОАО «Аппатит» за 2003г.

Таблица 2.1 - Показатели работы бурового оборудования на АОА «Апатит» [37] за 2003 г.

Марка бурового станка	Годовой фонд рабочего времени, ч	Коэффициент использования рабочего времени, ед.	Производи-тельность, п. м/год	Средняя производи-тельность п. м ./ч
Рудник Восточный				
СБШ-250-МНА-32 «Рудгормаш»	5801	0,7	53300	13,13
D-60KS Tamrock №5	5449	0,7	50116	13,14
D-60KS Tamrock №6	5644	0,7	59949	15,17
Рудник Центральный				
СБШ-250-МНА-32 «Рудгормаш»	5950	0,68	61792	15,27

В последние несколько лет в России на карьерах по добыче железных руд все больше распространяется практика аренды бурового оборудования [38] (т.е. оборудование не стоит на балансе предприятия, а арендуется у фирмы контрактора). Так на ряде горнодобывающих предприятий (например, ОАО «Качканарский ГОК», «Ковдорский ГОК» и т.д.) с 2011 года эксплуатируются станки – контракторы, что отмечено в работе [38]. Можно выделить несколько основных преимуществ данной практики: предприятие не тратит большие суммы на приобретение буровой техники и дорогостоящих запасных частей, исключаются убытки, связанные с простоем буровой техники, также в этом случае не требуется подготовка высококвалифицированного персонала для обслуживания станков. Предприятие всего лишь оплачивает номинальное количество пробуренных погонных метров.

Практические данные ряда потребителей об эксплуатации буровой техники не согласуются с мнением отдельных специалистов (в основном представителей

западных фирм) о том, что зарубежные буровые станки значительно эффективнее отечественных.

В работе [39] представлено исследование технико-экономических показателей бурения различными буровыми станками (табл. 2.2) на ряде горнодобывающих предприятий России, эксплуатируемых приближенно в одинаковых горно-геологических условиях.

Анализ данных, представленных табл. 2.2, показывает, что при одинаковых горно-геологических условиях, станки СБШ-250 производства «УГМК-Рудгормаш» имеют на 50-60% меньшие удельные показатели бурения 1 п.м. скважины по сравнению с зарубежными аналогами.

Учитывая перечисленные выше преимущества импортной буровой техники, а также условия работы машиниста и удобство для проведения технического обслуживания и ремонта (которые являются значительно лучшими по сравнению с отечественными аналогами), следует отметить, что эксплуатационные затраты на них значительно выше чем у отечественны.

На рис. 2.1 и 2.2 представлена структура затрат на бурение отечественными и зарубежными буровыми станками [37], которая согласуется с данными работ [41, 42].

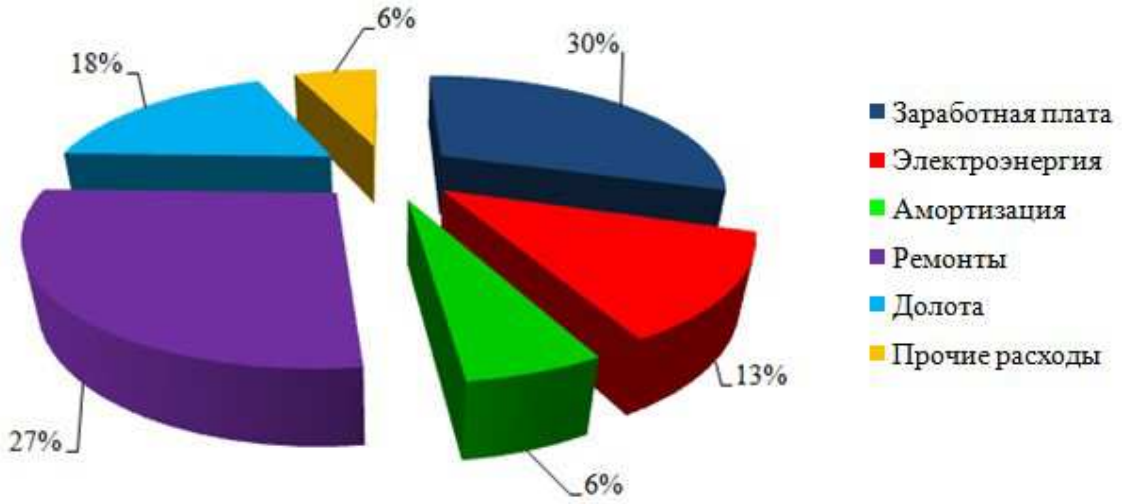


Рисунок 2.1- Структура затрат на бурение станками типа СБШ

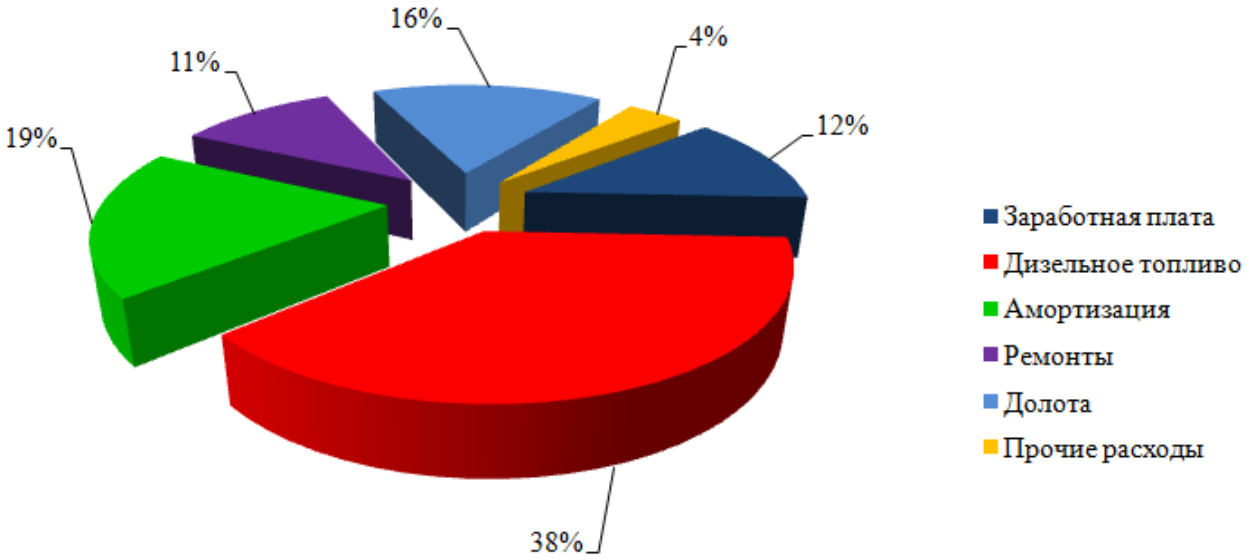


Рисунок 2.2 - Структура затрат на бурение зарубежными дизельными станками

Таблица 2.2 - Технико-экономические показатели буровых станков эксплуатируемых в равных условиях [39]

Наименование показателей	**Ед. изм.**	**СБШ-250 Рудгормаш**	**PV-275 Atlas Copco**	**SKS Reedrill**	**D-75KS Sandvik**	**DML-LP Atlas Copco**	**DM-45/50HP Atlas Copco**	**ROC-L8 Atlas Copco**
Данные, основанные на результатах эксплуатации		Ванадий	Полюс	Ванадий	Ванадий	Полюс	Святогор	Каменно-горское КУ
Классификация породы		железная руда	железная руда	железная руда	железная руда	золото	цветные металлы	Нерудные ПИ
Крепость породы	ед.	≈ 15	≈ 15	≈ 15	≈ 15	≈ 15	≈ 15	≈ 15
Глубина бурения	м	18	18	18	18	18	18	18
Диаметр скважин	мм	250	250	250	250	250	171	165
Время смены		ч.	12	12	12	12	12	12
Количество смен в сутки		шт.	2	2	2	2	2	2
Коэф. использования календарного времени		0,75	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Производительность бурового станка в месяц	п.м./мес.	7254	10045	9998	10016	6424	12848	10512
Производительность бурового станка в год	тыс.п.м./год	87,05	120,54	119,98	120,19	77,09	154,18	126, 14
Себестоимость 1 п.м.	$/п.м.	8,7284	13,6172	13,0092	12,7118	16,5087	12,9721	8,7026
Себестоимость 1 куб.м.	$/куб.м.	0,26	0,41	0,39	0,39	0,50	0,80	0,57
Инвентарный парк буровых станков	шт.	6	4	4	4	7	7	9
Полные затраты на весь период эксплуатации	тыс. $	20728.69	32338,79	30894,87	30188,46	39205,70	62754,42	44576,41

Анализ данных, представленных на рис. 2.1 и рис. 2.2, показывает, что затраты на энергоносители у импортной буровой техники в 3 и более раз выше, чем у отечественной. Затраты на ремонт у отечественных станков выше, в виду того, что парк машин значительно устарел (износ составляет 60-80% и более), в то время как станки западных фирм являются относительно новыми и затраты на их ремонт пока не велики. В дальнейшем следует ожидать уравнивание буровых станков по этому показателю.

На Качканарском ГОКе парк бурового оборудования в 2004 представлен станками СБШ-250-МНА-32. Учитывая необходимость обновления парка буровой техники (износ буровых станков составлял 88%), произведены предварительные расчеты производительности и себестоимости буровых работ зарубежными станками SKS и D-75KS. На рисунке 2.4 приведены расчетные данные зависимости себестоимости бурения от диаметра долота [43].

По данным, представленным на рис. 2.3, можно сделать вывод, что самые высокие экономические показатели бурения имеют станки СБШ-250МНА-32. Применение станков SKS и D-75KS приводет к росту производительности и экономической эффективности, начиная с диаметра бурения 270 мм и более. Следует отметить, что только в этом случае она будет сопоставима с показателями станков СБШ.

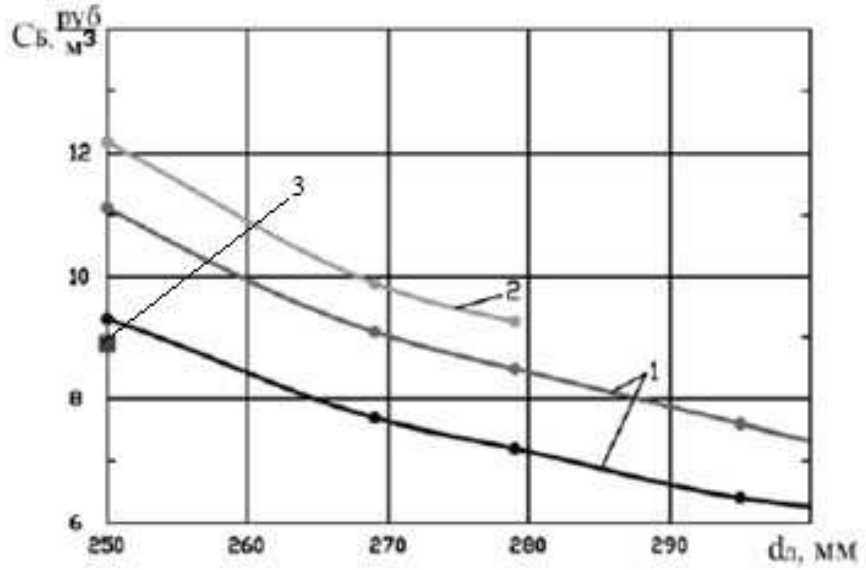


Рисунок 2.3- Зависимость себестоимости бурения от диаметра долота (расчетные данные) [43]: 1 - станки SKS; 2 - станки D - 75KS; 3 - станки СБШ-250-МНА-32

В 2006 г. проведено промышленное сравнение показателей работы станков шарошечного бурения СБШ-250 (УГМК-Рудгормаш) и SKS (Sandvik) в равных условиях на ОАО «Качканарский ГОК». В ходе эксперимента отмечено, что производительность СБШ-250 увеличилась на 67% по отношению к среднегодовой по ГОКу, в то время как производительность SKS на 1%.

В рамках дальнейшей модернизации основного производственного оборудования руководством Качканарского ГОКа в 2007 г. приобретен буровой станок D-75KS (Sandvik). Производительность станка за 9 месяцев работы составила 75,3 тыс. п. м., которая, в 2,2 раза больше, чем производительность СБШ-250МНА-32 за тот же период времени. Такое различие производительности объясняется следующим: автономным питанием, высокими скоростями передвижения, высокой степенью механизации вспомогательных операций, а также малыми простоями на ТОиР ($К_{тг}$ = 0,91). В табл. 2.3 приведены экономические показатели бурения отечественными и зарубежными буровыми станками на ОАО «Качканарский ГОК».

Таблица 2.3 - Экономические показатели бурения отечественной и зарубежной буровой техникой

Показатель	Ед. измер.	Модель станка		
		СБШ-250	D-75KS	SKS
Объем бурения	п. м.	147452	75300	50463
Выход горной массы с 1 п. м скважины	м3/м	23,2	26,3	26,8
Объем обуренной горной массы	тыс. м3	3421	2018	1350
Статьи затрат:				
1. Условно-переменные	руб./м3	**7,64**	**9,15**	**9,62**
В том числе:				
шарошечные долота	То же	2,97	2,94	2,21
трос	«	0,01	-	-
дизельное топливо	«	-	2,54	3,11
масла и смазки	«	0,19	0,67	1,23
электроэнергия	«	0,75	-	-
сменное оборудование (траки, буровые штанги)	«	0,34	0,89	0,78
запасные части и материалы	«	0,67	0,98	1,03
зарплата с начислениями	«	2,71	1,13	1,25
2. Постоянные затраты	руб./м^3	**5,28**	**4,78**	**4,17**
В том числе:				
текущий ремонт и содержание основных средств	То же «	2,7	0,51	0,42
услуги автотракторного цеха	«	1,01	0,69	0,74
общецеховые расходы	«	1,20	0,59	0,49
амортизация	«	0,37	2,99	2,52
Итого	руб./м^3	**12,92**	**13,93**	**13,79**
Итого без амортизации	руб./м^3	**12,56**	**10,94**	**11,26**

Анализ данных, представленных в табл. 2.3, показал, что отечественные буровые станки с электрическим приводом СБШ-250МНА-32 существенно экономичнее зарубежных аналогов. Очевидно, что станки отечественных производителей имеют меньшие (на 30-35%) затраты на энергоносители (электроэнергия и дизельное топливо), а такжезатраты на приобретение запасных частей (на 55-65%). С другой стороны, импортная буровая техника выигрывает в затратах на ТОиР перед отечественной (на 50–60%). Следует отметить, что станки SKS и D-74KS являются новыми ($K_{тг}$=0,91), а затраты на их восстановление будут расти по мере износа станка.

Аналогичные выводы можно сделать для условий ОАО «Гранит-Кузнечное, где себестоимость обуривания 1 м^3 горной массы станком СБШ-250 на 40% экономичнее, чем станком ROC-L8.

Отметим, что более широкое распространение зарубежной буровой техники на Российских горнодобывающих предприятиях, которые в значительной мере расположены в Северных районах, сдерживается суровыми метеоусловиями с отрицательными температурами. Буровое оборудование западных фирм, в виду ее дороговизны и обязательности эксплуатации в строгом соответствии с нормативными документами, не допускается к работе в таких метеоусловиях. Особенно четко эта черта проявляется в условиях эксплуатации Севера и Сибири.

На основании этих фактов по результатам промышленных наблюдений проведен анализ нерегаментированных простоев буровой техники на примере карьеров Олипиадинского ГОКа ПАО «ПОЛЮС». Наглядно данные анализа приведены на рис. 2.4 – 2.6.

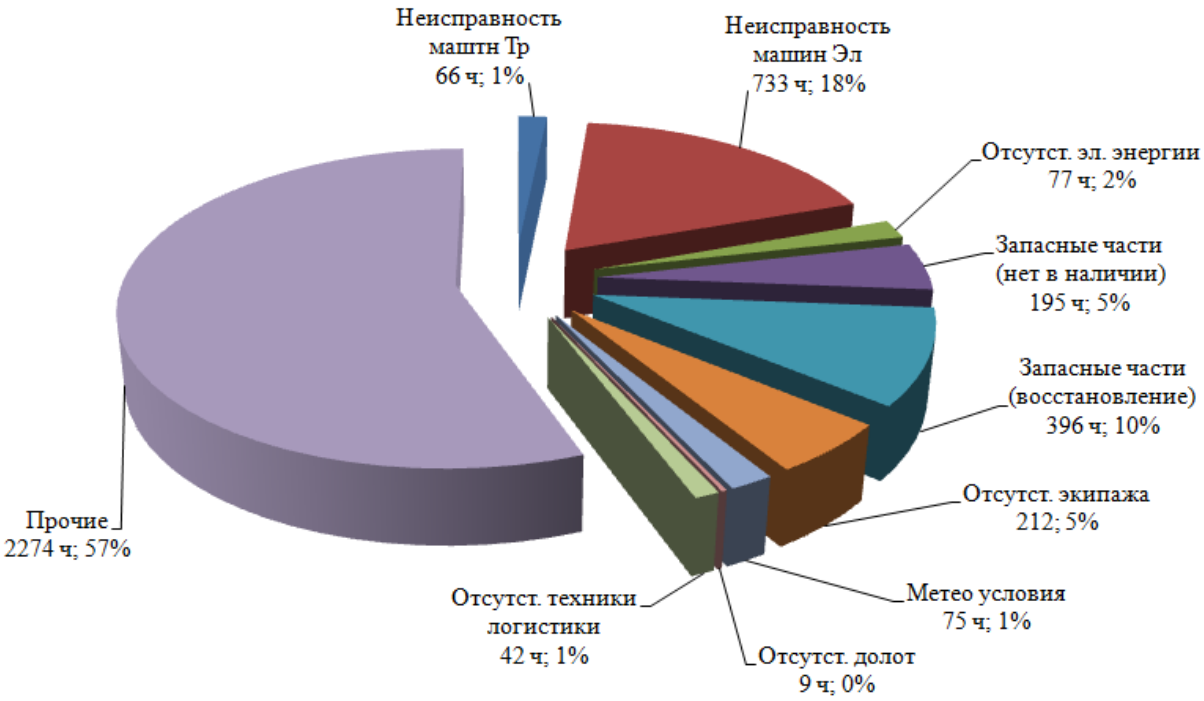


Рисунок 2.4 - Структура не регламентированных простоев СБШ-250-МНА-32 (Рудгормаш) за 2015 г.

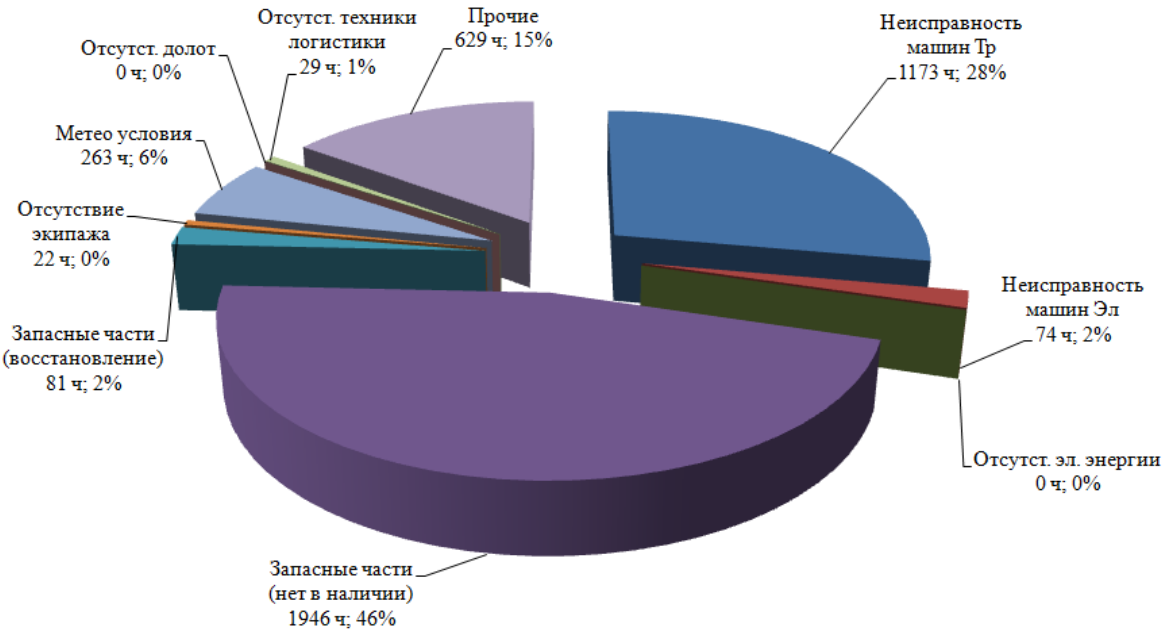


Рисунок 2.5 - Структура не регламентированных простоев Atlas Cocpo DML за 2015 г.

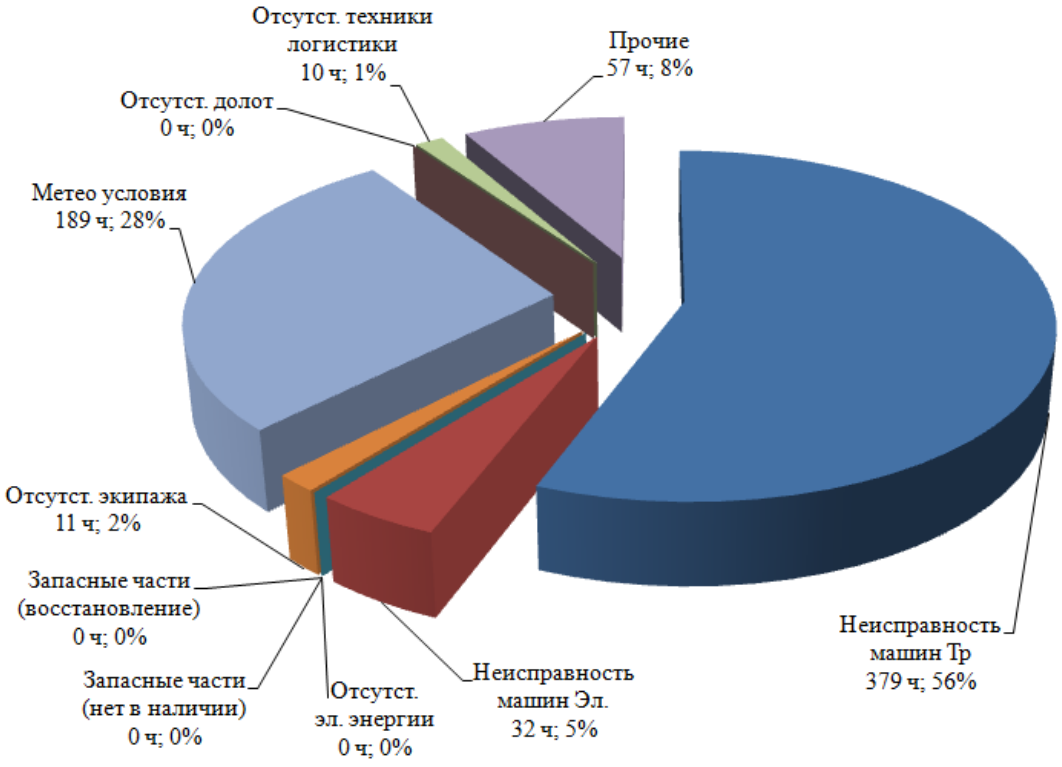


Рисунок 2.6 - Структура не регламентированных простоев Atlas Copco Pit Viper 235 за 2015 г.

Анализ данных, представленных на рис. 2.4-2.6, показал, что основными причинами простоев буровой техники на исследуемом предприятии являются

неисправность машин, отсутствие запасных частей и метеорологические условия. При этом в данных вопросах значительно выигрывают отечественные буровые станки.

Создание модельного ряда отечественных буровых станков с современными дизельным и электрическим приводом позволит удержать и восстановить позиции на рынке бурового оборудования, а также выведет отечественную технику на конкурентноспособный уровень с зарубежной техникой уровень.

Таким образом, можно выделить основные направления повышения эффективности эксплуатации отечественной буровой техники:

1. Совершенствование приводов основных механизмов, что позволяет автоматизировать основные и вспомогательные операции и оптимизировать параметры бурения.

2. Для карьеров с труднобуримыми породами (f=11-20 и выше) комплектация станков современным электроприводом.

3. Для карьеров с породами средней трудности бурения (f=6-10) и легко буримыми породами (f=2-6) комплектация станков как электрическим, так и дизельным приводом, по желанию заказчика.

2.2 Анализ эксплуатации бурового инструмента

Значительную долю в структуре затрат на бурение занимают затраты на шарошечные долота. Поэтому при оценке эффективности буровых работ особое внимание необходимо уделять режимам и условиям эксплуатации шарошечных долот.

Структура затрат на бурение скважин приведена на примере Мазульского известнякового (рис. 2.7) и Кия-Шалтырского нефелинового (рис. 2.8) рудников [44].

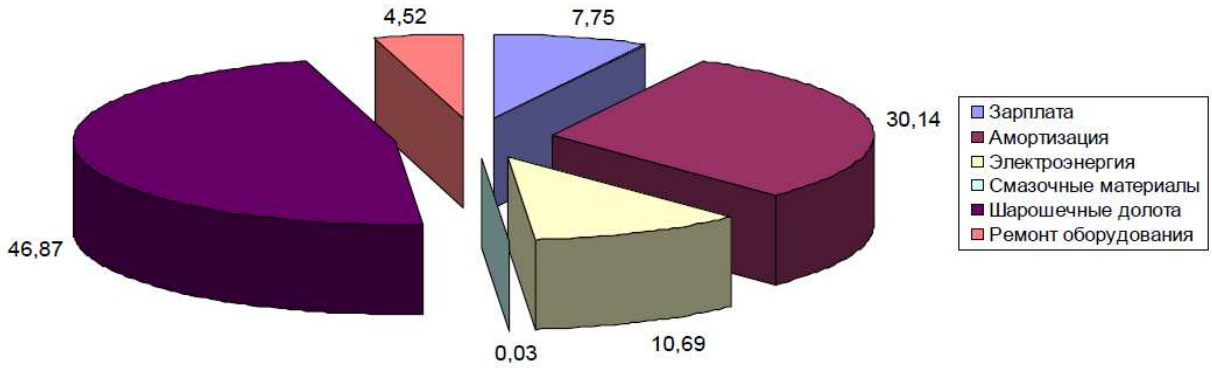


Рисунок 2.7 - Стоимость буровых работ вскрышных пород на Мазульском известняковом руднике.

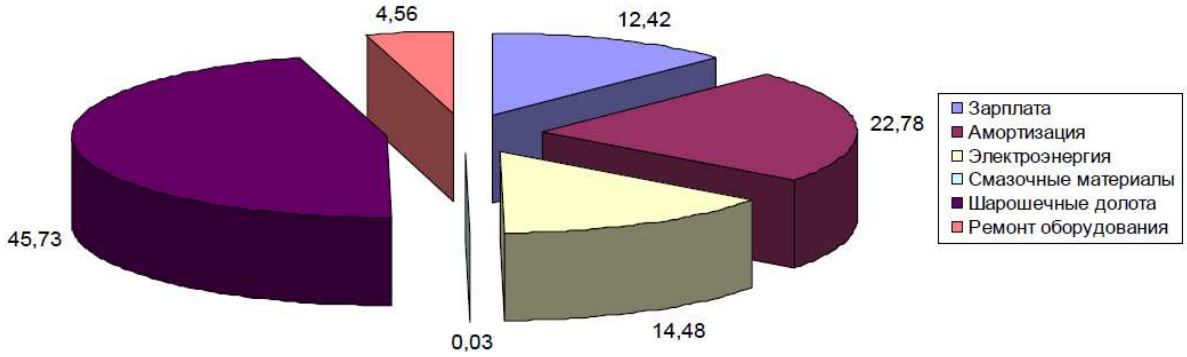


Рисунок. 2.8- Стоимость буровых работ вскрышных пород на Кия-Шалтырском нефелиновом руднике.

Анализ данных, представленных на рис. 2.7 и рис. 2.8, показал, что ШД являются одной из основных статей расходов в структуре затрат на бурение взрывных скважин. Из этого следует, что стоимость буровых работ прямо пропорционально зависит от расхода бурового инструмента.

В России для бурения взрывных скважин наибольшее распространение нашли шарошечные долота отечественного производства (более 85%) заводов ОАО «Волгабурмаш», ОАО «Уралбурмаш», ОАО «Гормаш» и др., а также ряда новых заводов. Следует отметить, что в настоящее время на Российском рынке бурового инструмента значительную долю (более 15%) занимают зарубежные производители, которая непрерывно растет.

Для получения объективной информации о стойкости шарошечных долот отечественных производителей, нами проведены статистические исследования бурения скважин на карьерах ПАО «ПОЛЮС» [45- 46] за 2014 г. На рис. 2.9 представлена полученные стойкость шарошечных долот различных производителей в зависимости от крепости горных пород при бурении различными станками, эксплуатируемыми на предприятии.

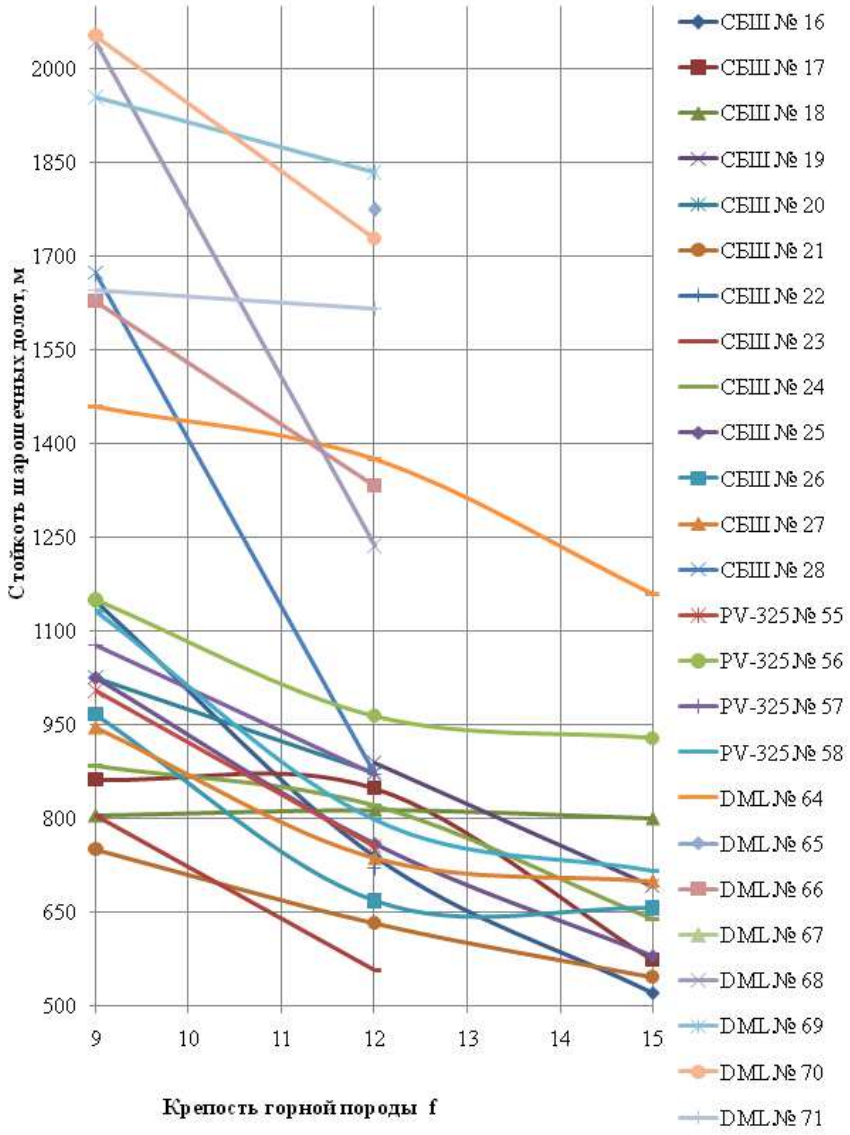


Рисунок 2.9 - Зависимость проходки шарошечных долот при бурении взрывных скважин в условиях ПАО «Полюс» от крепости горных пород при бурении взрывных станками, эксплуатируемыми на предприятии.

По данным, представленным на рис. 2.9, видно, что при бурении уступов с перемежающимися по крепости породам, более высокие показатели стойкости имеют долота, эксплуатируемые на зарубежных буровых станках.

Объясняется это тем, что регулирование режимных параметров на этих станках происходит плавно, в результате чего изменение нагрузок на буровом инструменте осуществляется без значительных скачков.

Кроме того, проведен анализ проходки отдельных типов шарошечных долот с распространенным диаметром 215,9 мм, производства заводов – Белгородский, Волгабурмаш, УралБурМаш (рис. 2.10).

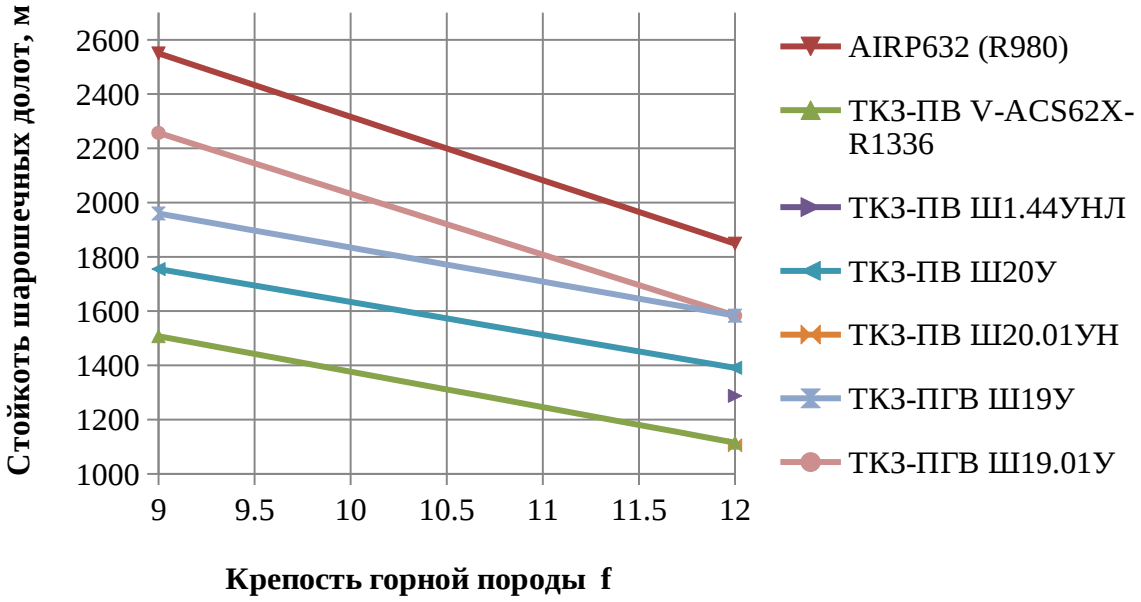


Рисунок 2.10 - Зависимости проходки шарошечных долот от крепости горных при бурении взрывных скважин отдельными типами долот диаметром 215,9 мм.

По данным, представленным на рис. 2.10 видно, что при увеличении крепости горных пород стойкость шарошечных долот уменьшается. При этом наибольшую величину проходки имеют долота AIRP632(R980) – УралБурМаш, ТКЗ-ПГВ Ш19.01У, а наименьшую – ТКЗ-ПВ V-ACS62X-R1336 и ТКЗ-ПВ Ш20.01УН.

В настоящее время все больше горнодобывающих предприятий России закупают дорогие шарошечные долота западных фирм, которые имеют значительно большую стойкость. Особенно четко тенденция увеличения числа эксплуатируемых долот зарубежного производства прослеживается на угольных разрезах России.

Статистика стойкости шарошечных долот отечественного и зарубежного производства на ряде угледобывающих предприятиях РФ представлена в табл. 2.4 [47-48].

Таблица 2.4 - Статистика работы шарошечного инструмента

Разрез	Диаметр долота, мм	Тип долота	Производитель	Стойкость долота, п.м	Себестоимость бурения 1 п.м./ руб.
На разрезах Кузбасского региона за 2007 г.					
Черниговский	215,9	ТЗ-ПВ	ОАО «Волгабурмаш»	6800	2,6
Черниговский	215,9	ТПВ	ОАО «Уралбурмаш»	3200	6,2
Черниговский	228,6	ТЗ-ПГВ	ОАО «Волгабурмаш»	6650	4,58
Бачатский	269,9	ТЗ-ПГВ	ОАО «Волгабурмаш»	10100	4,09
Бачатский	269,9	ПГВ	Дорогобычский завод	1132	17,66
Виногра-довский	215,9	ТПВ	ОАО «Волгабурмаш»	2880	3,7
Киселевский	215,9	ТЗ-ПВ	ОАО «Волгабурмаш»	7880	2,28
Междуре-ченский	216	C30TCJ	Sandvik- Smith	4486	19,0
Сибиргинский	269,9	ТЗ-ПГВ	ОАО «Волгабурмаш»	4200	9,84
На разрезах Хакасии за 2013 – 2014 гг.					
Восточно Бейский	250,8	ТКЗ-ПГВ	ОАО «Волгабурмаш»	6228	7,69
	250,8	МГПВ	ОАО «Уралбурмаш»	3183,5	11,94
	215,9	632Y	JUNJIN	9800	77,82
	215	SA-635	JUNJIN	11000	79,05
	215,9	ТЗ-ПГВ	ОАО «Волгабурмаш»	6899	66,55
Черногорский	269	-	JUNJIN	12436,5	11,57
	269	-	Atlas Copco	6820	19,89
	269	ТКЗ-ПВ	ОАО «Волгабурмаш»	2488,4	18,97
	229	-	Atlas Copco	12990,5	7,72

Анализ данных, представленных табл. 2.4 показывает, что зарубежные шарошечные долота имеют в 2 и более раз большую стойкость, но и большую стоимость, в отличие от отечественных буровых инструментов. В значительной мере это обусловлено более качественным процессом изготовления бурового инструмента и применением высокопрочных материалов. При этих обстоятельствах долота зарубежных фирм имеют меньшую себестоимость бурения 1 п.м. скважины.

Как отмечалось ранее применяемый в настоящее время отечественный и зарубежный шарошечный буровой инструмент является неразборным [49-50].

В различных источниках отмечено, что основной причиной поломки (более чем 80%) шарошечных долот является отказ подшипниковой опоры [1].

В процессе эксплуатации шарошечного долота, можно выделить ряд причин (табл. 2.5) из-за которых происходит отказ вращающегося оборудования шарошечных долот [52].

Таблица 2.5 - Причины отказов вращающегося оборудования [52]

Дефекты изготовления	2 – 10%
Естественный износ	5 – 125%
Дефекты монтажа	10 – 50%
Ошибки при текущем обслуживании и ремонте	10 – 50%
Эксплуатация с нарушением требований ТУ	5 – 70%

Для выявления объективных причин отказа шарошечных долот проведены статистические исследования за наработкой шарошечных долот на отказ в условиях Горьевского ГОКа. Структура отказов бурового инструмента завода ОАО «Гормаш» приведена на рис. 2.11.

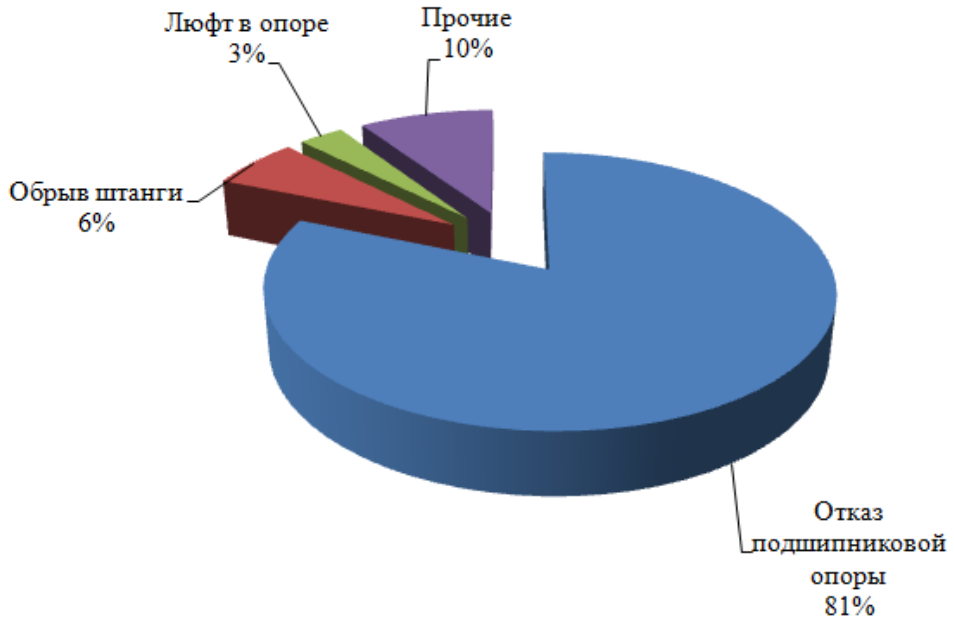


Рисунок 2.11 - Причины отказа шарошечных долот

Анализ данных, представленных на рис. 2.11, показал, что основной причиной выхода из строя применяемых на предприятии шарошечных долот типа ТКЗ диаметром 215,9 мм является отказ подшипниковой опоры.

Объясняется это тем, что ударные нагрузки и вибрация, возникающие при прохождении пластов горных пород с различными физико-механическими свойствами, приводят к увеличению остаточных напряжений во всем буровом инструменте.

Можно сделать выводы, аналогичные рисунку 2.11, при анализе наработки на отказ за 2010–2011 гг. шарошечных долот типа ТКЗ и ТЗ диаметрами 215,9 мм и 244,5 мм фирм-производителей «Гормаш», «УралБурмаш», «Atlas Copco» и «GluBur» для условий Мазульского известнякового рудника. При этом основной причиной выхода из строя бурового инструмента в 97% случаев отмечен отказ подшипниковой опоры. Такая же ситуация наблюдается при исследовании стокости долот на Олимпиадинском ГОКе ЗАО «ПОЛЮС», где в качестве характера отказа долота в 95% случаев отмечен износ подшипников [37].

Увеличение стойкости шарошечных долот (особенно больших диметров) неизбежно сопровождается значительным увеличением их стоимости.

В этом отношении характерны опытные данные Р.И. Сухова [53-54], полученные в условиях ОАО «Качканарский ГОК» при испытании шарошечных долот фирмы «Смит» в сравнении с отечественными долотами диаметром 244,5 мм. Испытания показали, что трехкратное увеличение стойкости долота, сопровождается трехкратным увеличением его стоимости, что не дает экономического эффекта.

Исходя из проведенных исследований, можно сделать вывод: следует разрабатывать новые экономичные и высокопрочные типы буровых долот. С учетом того, что шарошечные долота в основном выходят из строя по причине отказов опор, целесообразно проектировать и изготавливать буровой инструмент ремонтопригодным, оснащенным простыми в конструкторском отношении опорами скольжения с многоразовым применением рабочих элементов, совершенствовать разборные буровые

инструменты режуще-вращательного действия, обеспечивающие режим резания, скалывания и сдвига породы в забое скважины.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗБОРНОГО БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА СО СФЕРИЧЕСКИМИ ШАРОШКАМИ

Анализ литературы, обобщающей опыт проектирования и эксплуатации бурового инструмента, позволяет сделать определенные выводы.

Во-первых, проектирование бурового инструмента является преимущественно эмпирическим процессом. До настоящего времени отсутствуют методики расчетного обоснования и за некоторым исключением комплекса геометрических и физических характеристик оборудования для бурения.

Во-вторых, при проектировании бурового инструмента в первую очередь исходят из физики процесса разрушения инструментом породы. При этом рассматривается напряженное состояние разрушаемого массива и в редких случаях упоминается о напряженном состоянии породоразрушающего инструмента. Понимание взаимосвязи напряженного состояния бурового инструмента и породы встречается далеко не всегда и ограничивается качественным ее описанием.

В-третьих, среди комплекса параметров бурового инструмента наибольшее внимание уделяется форме и размерам элементов инструмента, непосредственно взаимодействующих с породой и выполняющих ее разрушение. Практически отсутствует понимание взаимосвязи напряженного состояния системы буровой станок – буровой став – долото – резец (зуб) и характера разрушения горной породы.

В-четвертых, не всегда учитывается тот факт, что предварительный анализ напряженного состояния при проектировании позволяет более целенаправленно формировать структуру и свойства проектируемого объекта, в данном случае – бурового инструмента.

Такое состояние проектирования буровых инструментов, по-видимому, можно объяснить тем, что слабо учитываются передовые методы проектирования и расчета в наиболее прогрессивных отраслях

машиностроения, отсутствуют попытки использования новых идей и подходов, развитых в машиноведении применительно к широкому классу технических систем с целью повышения их прочности, надежности и безопасности.

Одной из важных характеристик бурового инструмента является его напряженно-деформированное состояние (НДС), которое для конструкции режуще-вращательного долота фрезерного типа рассмотрено как проектный параметр.

3.1 Построение конечно-элементной модели шарошечного долота со сферическими шарошками и определение условий расчета

Прочностные расчеты разборного шарошечного долота сферического типа выполнены с использованием конечно-элементных технологий моделирования в программной среде ANSYS при условии максимальных усилий и моментов ($P_{ос}$=750 кН , $M_{вр}$=6,5 кНм), создаваемых современными высокопроизводительными буровыми станками (CAT MD6750) [55], а также их неравномерного распределения по элементам долота при взаимодействии с забоем скважины.

Расчетная модель (рисунок 3.1), согласно конструкции долота, включает в себя корпус 1, оси 2, подшипники 3 и шарошки 4. При построении расчетной модели принято условие, что один конец оси 2 закреплен в корпусе, второй, вместе с подшипником 3, закреплен в шарошке 4. В расчетах при этом НДС осей определяли для каждого конца оси индивидуально. При формировании модели использовалась функция *Share Topology* [56], позволяющая объединить конечно-элементная (КЭ) сетку, создаваемую внутри определенной группы (part/component) геометрических

объектов. По такому принципу в одну группу (part/component) объединены тела корпуса 1 с обеими частями осей 2, а также, во вторую, третью и четвертую группы (part/component), попарно тела шарошек 4 с подшипниками 3.

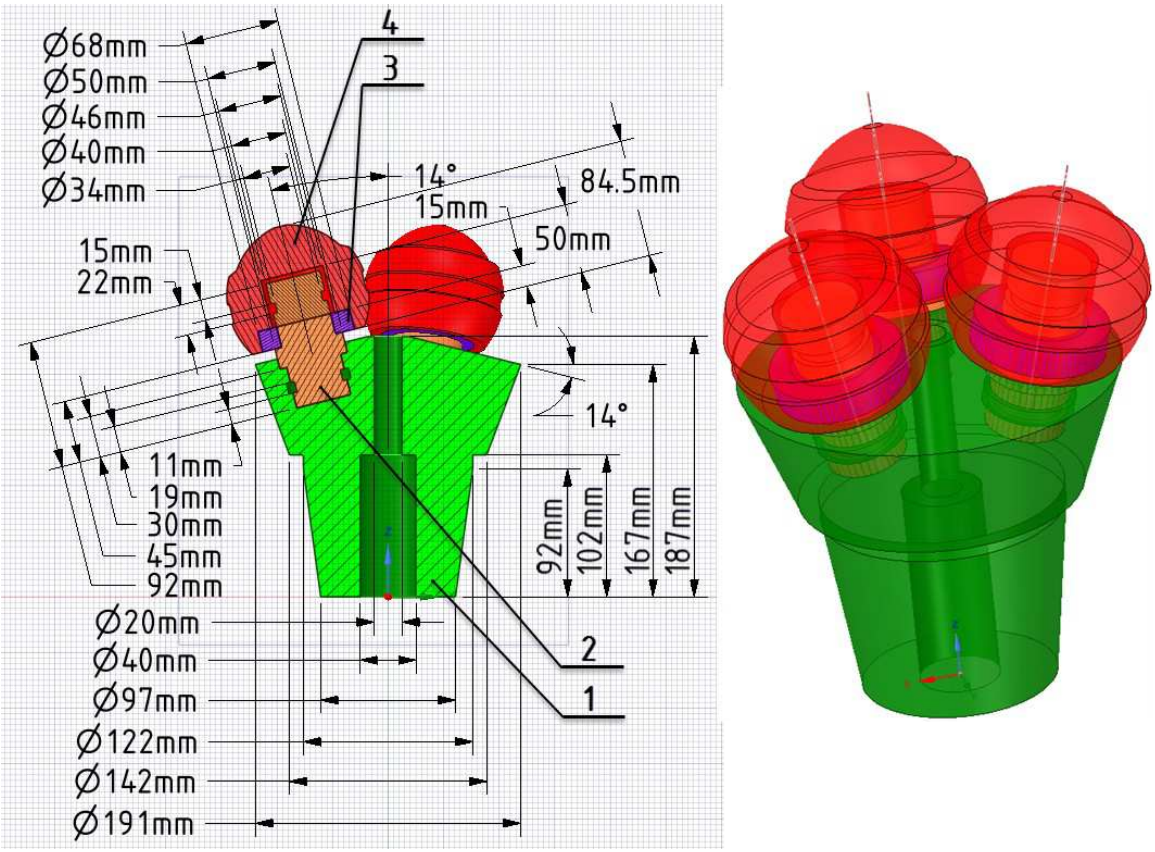
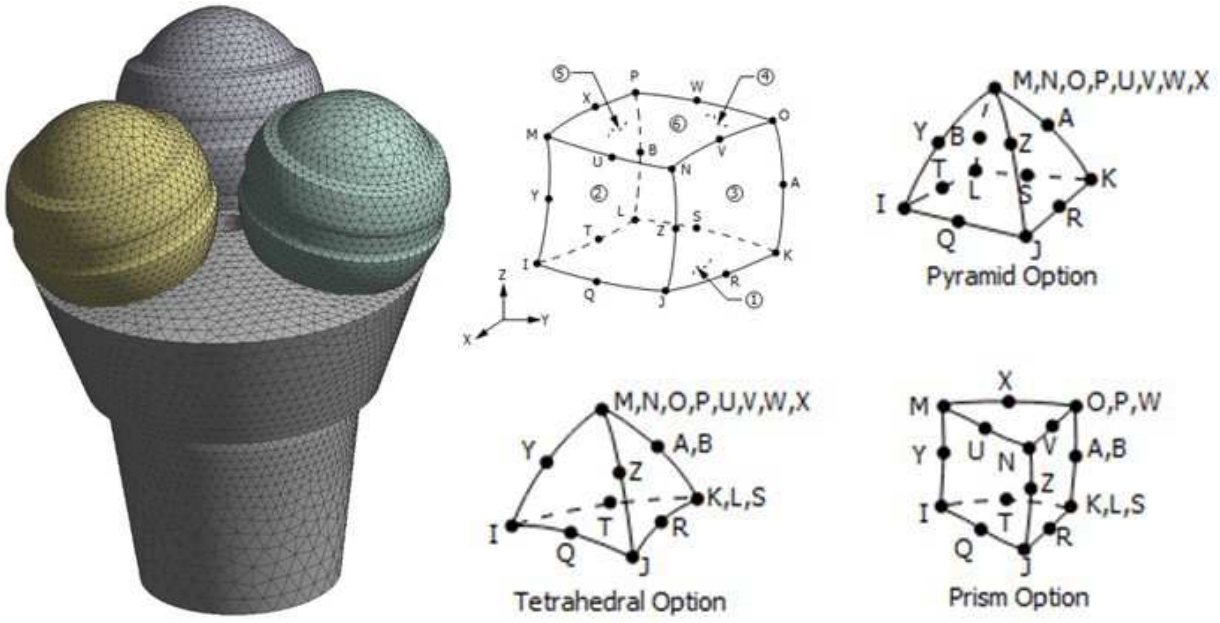


Рисунок 3.1 – Общий вид модели шарошечного долота

На рисунке 3.2*а*, представлена КЭ модель бурового долота. Основные элементы этой модели состоят из десяти узловых тетраэдров, а оси сформированы 20-ти узловыми гексоганальными элементами. При построении КЭ модели использовался метод *Tetrahedrons* с установкой локальных сгущений сетки для большей детализации [57].



а **б**

Рисунок 3.2 **–** Конечно-элементная модель бурового долота со сферическими шарошками: а- модель конечных элементов; б – конечные элементы модели

КЭ модель построена в среде ANSYS Workbench с помощью параболических твердотельных КЭ Solid 186, имеющих до 20 узлов с 3 степенями свободы в каждом (3 линейных перемещения), общий вид которых представлен на рисунке 3.2*б*.

Что касается долота новой конструкции РСШД, то отсутствие консольных, выступающих элементов (за исключением шарошек) и, как следствие, отсутствие зон резкого изменения сечения приводят к тому, что все долото работает как единый объем. Внешние усилия распространяются на сплошное массивное тело, что приводит к незначительным величинам напряжений в рассмотренных расчетных случаях.

Предпочтительно, для получения достоверных результатов расчетов, использовать элементы с качеством не ниже 0,4 [56-59], однако, в рамках данной задачи, число элементов низкого качества (0.3-0.4) не превышает 140 (рис.3.3), что составляет менее 0,06% от общего количества элементов (253204), и является основанием для допуска данной модели к расчету.

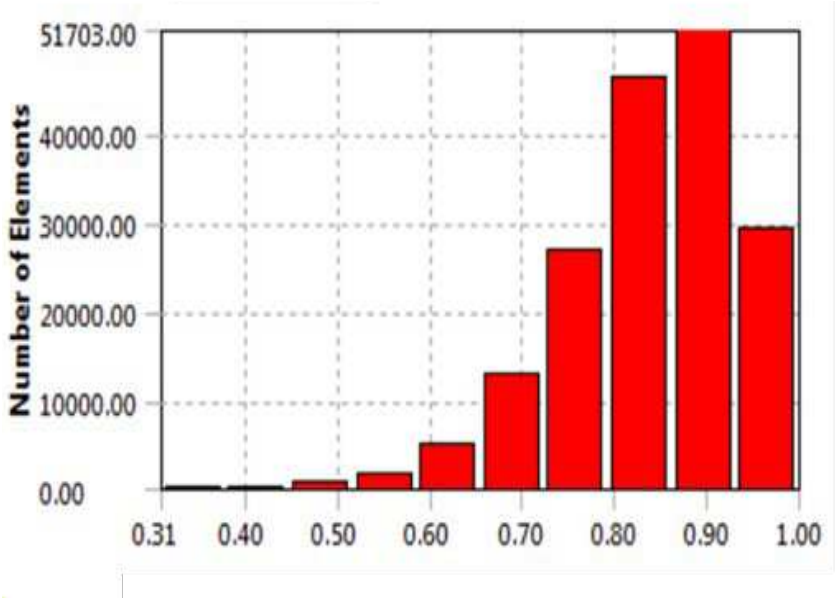


Рисунок 3.3- Диаграмма качества элементов

Модель нагружена усилием $P_{ос}$ (750 кН), действующим в направлении оси Z глобальной системы координат, а также моментом $M_{кр}$ (6,5 кНм), действующим вокруг той же оси. $P_{ос}$ и $M_{кр}$ приложены к торцу корпуса долота. Условия нагружения модели показаны на рисунке 3.4.

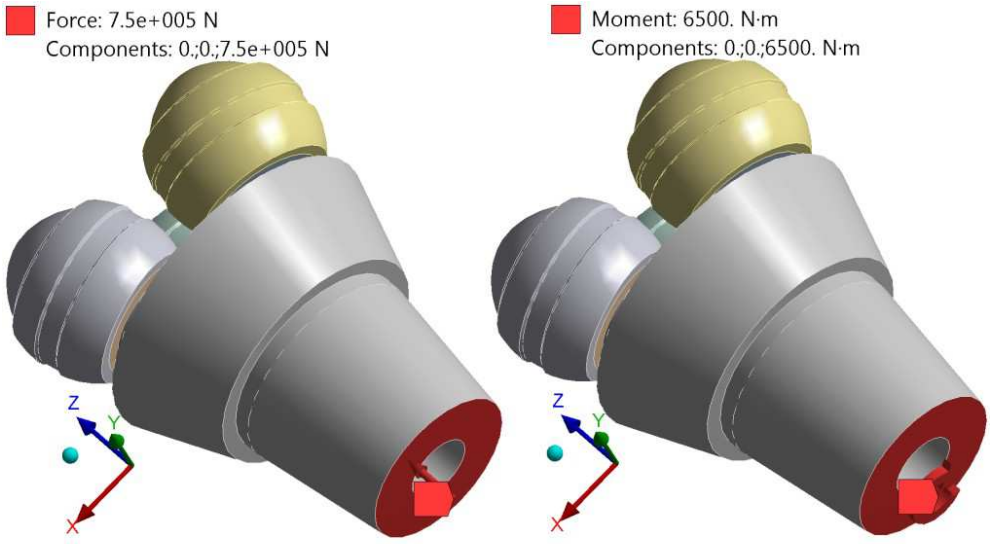
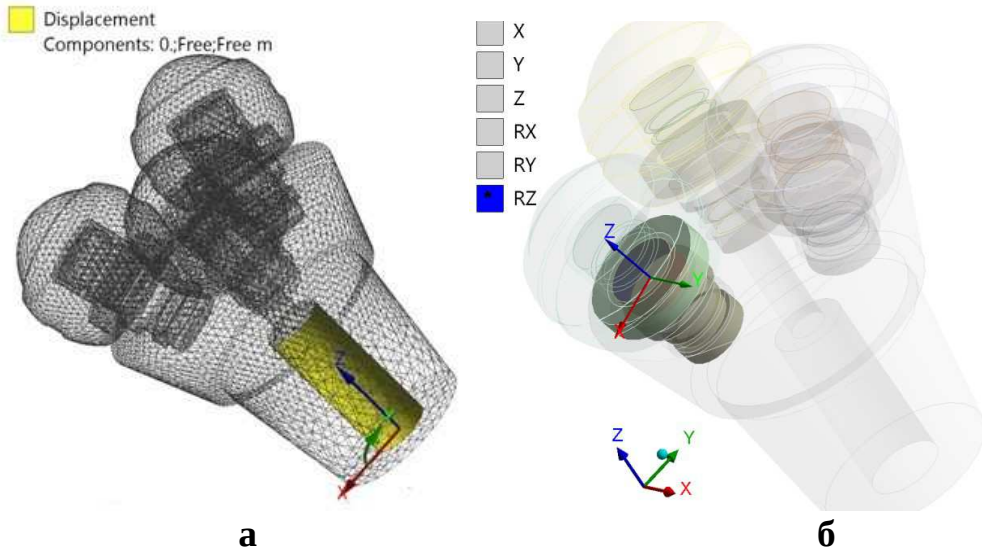


Рисунок 3.4 – Условия нагружения разборного бурового долота

Для моделирования воздействия вращающего вала (с помощью которого прикладываются ранее описанные осевая нагрузка и момент) цилиндрическая поверхность (ниппель) диаметром 40 мм закрепляется от

радиальных перемещений (направлении оси X в локальной цилиндрической системе координат), как показано на рисунке 3.5*а*.



а **б**

Рисунок 3.5 **–** Граничные условия нагружения долота: *а* - вращение долота, *б* - вращение шарошек

По условию задачи каждая из шарошек имеет возможность свободного вращения на оси. Для моделирования данного условия использовалась функция Joint. При активации данной функции связываются перемещения и углы поворота узлов, находящихся на сопрягаемых поверхностях. В данном случае был выбран Jointтипа Revolute [57], в котором свободным от перемещений является только вращение вокруг оси Z локальной системы координат Joint’a. Моделирование данного условия представлено на рисунке 3.5*б*, на примере сопряжения цилиндрических поверхностей оси и подшипника одной из шарошек. Моделирование остальных сопряжений проведено аналогичным образом.

Для изготовления элементов долота приняты следующие материалы: корпус выполнен из стали 14ХН3МА-Ш, подшипниковая опора – из стали 50ХН, сферические шарошки – 16ХН3НМА-Ш, вооружение фрез – металлокерамический твердый сплав ВК8В. Свойства данных материалов [60] приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Свойства материалов, применяемых для изготовления долота [60]

Свойства	Обозначение	Материал		
		Корпус	*Ось*	*Шарошки*
		14ХН3МА-Ш	**50ХН**	**16ХН3НМА-Ш**
Предел текучести, МПа	$\sigma_т$	885	885	835
Предел кратковременной прочности, МПа	$\sigma_в$	980	1080	930
Модуль упругости, МПа	E	$2{,}14 \cdot 10^{-5}$	$2{,}15 \cdot 10^{-5}$	$2{,}16 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент Пуассона	v	0,25	0,27	0,26

Исследования прочностных свойств буровых инструментов [61-63] показали, что большая часть нагрузки, передаваемой от бурового става к долоту в период его работы (учитывая постоянное изменение характеристик забоя скважины - наличие сплошностей, неровностей, трещин и др.), может передаваться на забой через три, две, а в некоторых случаях и один породоразрушающий элемент. В результате этого возникает неравномерное распределение нагрузки по элементам бурового инструмента.

Исходя из этого, для исследования прочностных характеристик разборного бурового инструмента со сферическими шарошками, достаточным будет смоделировать два случая нагружения долота. Первый – когда вся нагрузка равномерно распределяется на три сферические шарошки, второй – вся нагрузка приходится на одну сферическую шарошку, что представлено на рисунке 3.6.

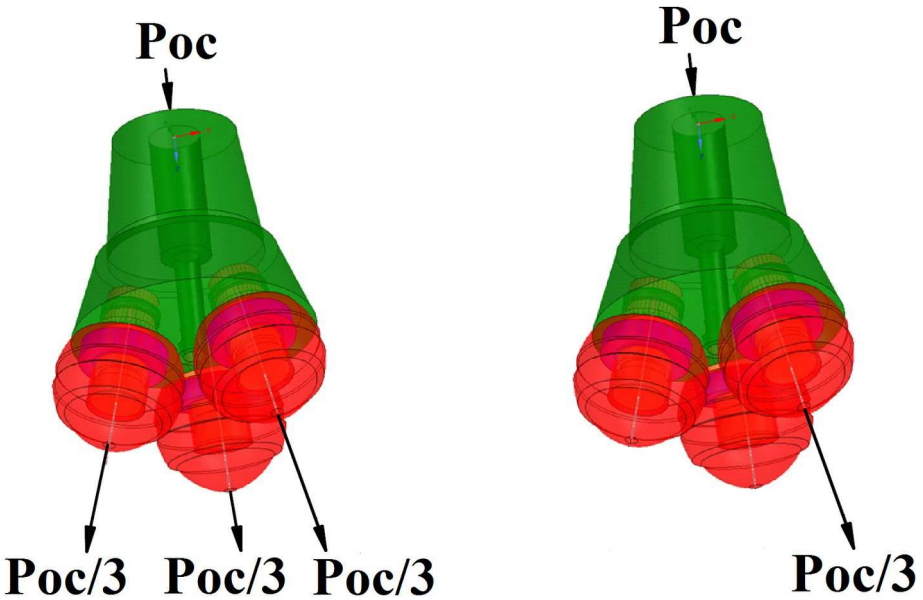


Рисунок 3.6 – Случаи нагружения шарошечного долота: а - нагрузка делится равномерно на три сферические шарошки; б - нагрузка приходится на одну сферическую шарошку

3.2 Исследование напряженно-деформированного состояния шарошечного долота со сферическими шарошками

Логический анализ характера деформирования разборного шарошечного долота новой конструкции показывает, что она отличается от конструктивных вариантов неразборного шарошечного долота в лучшую сторону. С точки зрения прочности и несущей способности в новой конструкции нет элементов, которые были бы слабыми местами и находились в невыгодных условиях деформирования. Распределения полей эквивалентных напряжений (по Мизесу) по корпусу шарошечного долота приведены на рисунке 3.7.

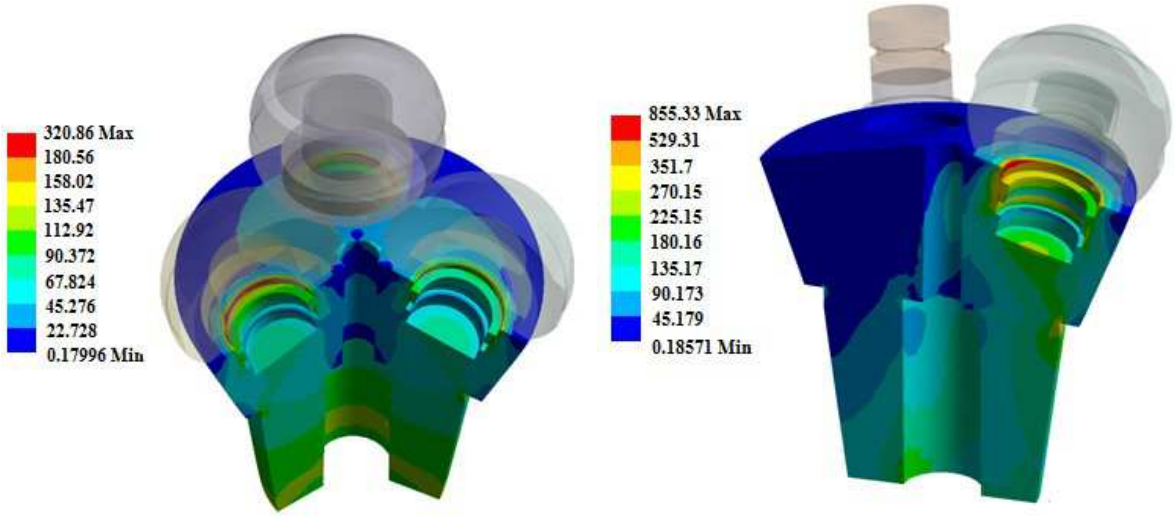
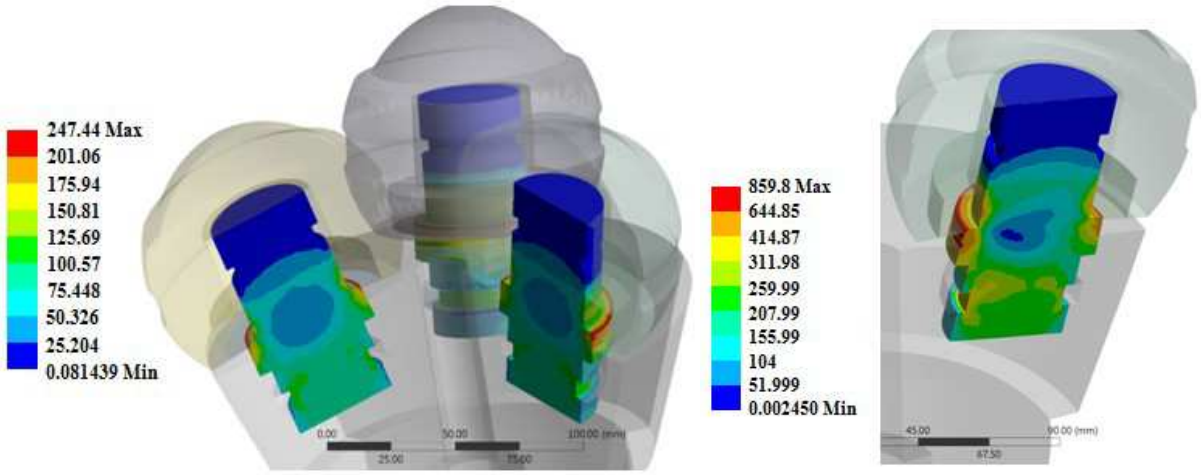


Рисунок 3.7 – Распределение полей эквивалентных напряжений корпусной части: *а* – нагрузка делится на три шарошки равномерно; *б* – нагрузка приходится на шарошку

Анализ данных, представленных на рисунке 3.7, показывает, что распределение полей эквивалентных напряжений носит равномерный характер**.** Максимальные значения действующих напряжений возникают в местах контакта корпуса с осями и составляют 320,86 и 855,33 МПа для первого и второго случаев нагружения соответственно. Полученные значения напряжений ниже допускаемых величин (на 5-10%) и не превышают предела текучести ($\sigma_т$) и предела кратковременной прочности материала ($\sigma_в$), из которого изготовлен корпус (таблица 3.1).

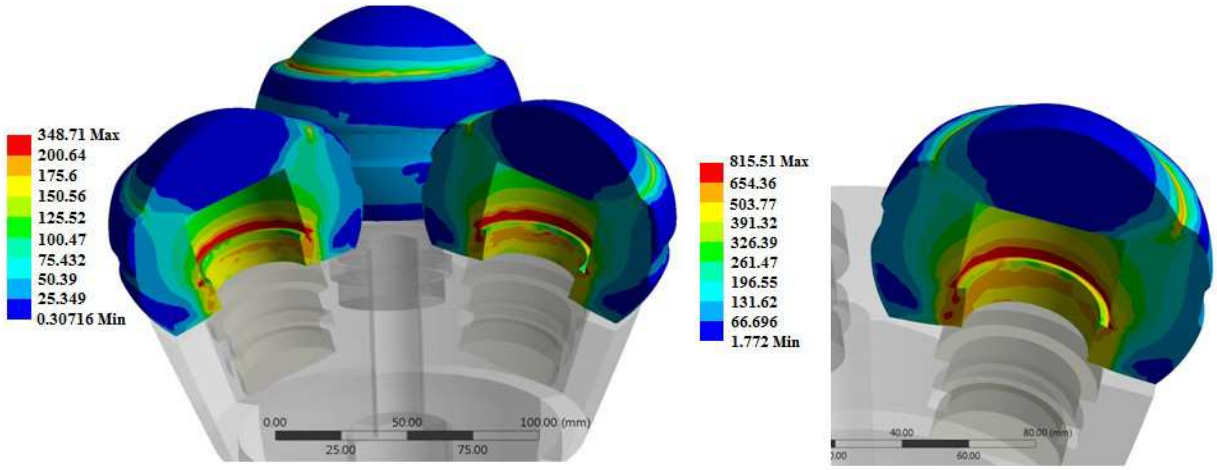
На рисунке 3.8 приведены поля распределения эквивалентных напряжений (по Мизесу) по осям.



а **б**

Рисунок 3.8 – распределение полей эквивалентных напряжений по осям: а – нагрузка делится равномерно на три оси; б – нагрузка приходится на одну ось

На рисунке 3.9 приведены распределения эквивалентных напряжений (по Мизесу) в теле сферических шарошек.



а **б**

Рисунок 3.9 – распределение полей эквивалентных напряжений по сферической шарошке: а – нагрузка делится равномерно на три сферические шарошки; б – нагрузка приходится на одну сферическую шарошку

По данным, представленным на рисунке 3.8 и рисунке 3.9, можно сделать выводы, аналогичные рисунку 3.7. Максимальные напряжения в конструкции осей возникают в областях их контакта с подшипником шарошки, номинальные значения которых составляют 247,44 и 859,8 МПа для первого и второго случаев нагружения. Максимальные напряжения в конструкции сферических шарошек возникают в местах их контакта с подшипником, а номинальные их значения составляют 348,71 и 815,51 МПа для первого и второго случаев нагружения соответственно. Следует отметить, что полученные значения напряжений ниже (на 5-10%) допускаемых величин и не превышают предела текучести ($\sigma_т$) и предела

кратковременной прочности материала ($\sigma_в$), из которого изготовлен корпус (таблица 1).

3.3 Анализ полученных результатов

По результатам расчетов (рис. 3.7 – рис. 3.9) видно, что наибольшие значения напряжений возникают в случае действия всей нагрузки на одну сферическую шарошку. Однако, полученные значения напряжений ниже (на 5-10%) допускаемых величин, поэтому работоспособность долота с позиций прочности и несущей способности не вызывает сомнений.

Разница в распределении нагрузки (рис. 3.6) заключается только в том, что в случае действия всей нагрузки на одну сферическую шарошку одна сторона долота оказывается нагруженной более остальных.

В таблице 3.2 представлены напряжения, возникающие в элементах долота, а также допустимые напряжения для материала из которых изготовлены элементы долота.

Таблица 3.2 – Напряжения, возникающие в элементах долота

Элемент долота	Материал	Расчетные напряжения в элементе σт, МПа	Допустимые напряжения для материала σт, МПа
Корпус	**14ХН3МА-Ш**	320,86 / 855,33	885
Ось	**50ХН**	247,44 / 859,8	885
Шарошка	**16ХН3НМА-Ш**	348,71 / 815,51	835

Примечание. В числите указаны эквивалентные напряжения возникающие при равномерном распределении прилагаемой нагрузки на три сферические шарошки, а в знаменателе указаны напряжения возникающие при действии все нагрузки на одну сферическую шарошку.

Высокий уровень эквивалентных напряжений в осях долота объясняется тем, что они установлены в корпусе под некоторым углом (a = 5-7 град.), в результате чего одна сторона оси оказывается более нагруженной.

Однако, при расчете, следует предусмотреть фаски в местах возникновения максимальных напряжений в осях, а также в местах их установки в корпусе долота, что позволит снизить максимальные напряжения в осях и облегчить сборку долота.

Для уменьшения максимальных напряжений, возникающих в сферических шарошках, рекомендуется предусмотреть фаску или скругление в местах сопряжения шарошки с подшипником.

Представленное в работе исследование нагруженности и напряженного состояния разборного бурового инструмента со сферическими шарошками (РСШД-244,5) позволяет сделать следующие выводы:

1. Исследуемое долото выдерживает прилагаемые к нему нагрузки без возникновения участков с критическими значениями напряжений в конструкции долота, а следовательно, оно обладает достаточным запасом прочности и износостойкости.

2. Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния исследуемого бурового инструмента со сферическими шарошками свидетельствует о том, что долота РСШД пригодны для эффективной эксплуатации при бурении в горных породах с коэффициентом крепости f = 8–12, с учетом режимных параметров, принятых в исследовании и соответствующих паспортным значениям станков шарошечного бурения.

ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Теоретические основы построения сетевой научно-практической модели выполнения выпускной квалификационной работы.

Научно квалификационная работа выполнялась с использованием сетевой модели, что позволило рационально распределить время по видам

работ и выполнить дипломную работу в установленные учебным графиком сроки.

В основе сетевого планирования и управления (СПУ) лежит сетевая модель – графическое изображение плана, которое получило название сетевого графика.

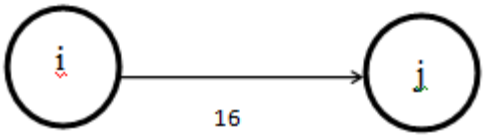
Целью применения СПУ является разработка оптимального или достаточно близкого к нему варианта выполнения научно-квалификационных работ, обеспечивающего рациональную увязку во времени и пространстве выполняемых работ, наилучшее использование ресурсов, а также эффективное управление процессом реализации этого плана.

Элементами сетевого графика, построенного в форме «работа-стрелка», являются работа, событие и путь.

Работа (операция) – основной элемент сетевого графика. Различаются действительная работа, работа-ожидание и фиктивная работа.

Действительная работа – это трудовой процесс, в котором участвуют люди, машины, потребляются материально-технические и денежные ресурсы. Она изображается в виде сплошной стрелки, над которой указывается наименование работы, а под стрелкой – продолжительность выполнения работы в выбранных единицах времени. Выбор единицы измерения продолжительности работы зависит от типа выполняемых работ, а также от уровня руководства, которому предназначен сетевой график. Так в проекте организации строительства в качестве единицы измерения принимаются месяц или квартал, в проектах производства работ – дни, недели, месяцы; при планировании работ комплексных бригад – смены, часы.

Продолжительности выполнения всех работ в одном сетевом графике должны быть определены в одних единицах. Предполагается, что время течет в направлении, указанном стрелкой: хвост стрелки – начало, а острие – окончание работы.



Работа-стрелка соединяет два события: i – предшествующее и j – последующее. Пара номеров событий образуют код (шифр) работы. Первым читается номер события читается номер события, стоящего в конце стрелки, а вторым – у острия. Как уже отмечалось, расчеты сетевых графиков и решение различных задач на их основе выполняется на ЭВМ, при этом машина различает работы только по их коду. Продолжительность работы обозначается t_{ij}.

Ожидание – работа, для выполнения которой требуется только время, ресурсы при этом не тратятся. Работа – ожидание изображается также, как и действительная работа.

Фиктивная работа – вспомогательный элемент сетевого графика, позволяющий сделать график более удобным для восприятия, правильно указать организационные и технологические связи между работами. Фиктивная работа не потребляет ресурсов и продолжительность ее равна нулю. Обозначается она пунктирной стрелкой.

Событие – есть факт окончания одной работы и начала другой. Событие обычно изображается кружком, в котором указан номер.

Событие не связано с потреблением ресурсов и продолжительность его равна нулю. Считается, что работа выходит из одного события и входит в другое.

Различают начальные и конечные события. Конечное событие иногда называют целью. По числу конечных событий различают одно- и многоцелевые сетевые графики.

Путь – это последовательность работ в сетевом графике, при которой окончание предшествующей работы совпадает с началом последующей.

Для работы или события существует предшествующий путь, ведущий из начального события к данному или из начального события к событию, предшествующему данной работе.

Аналогично для работы и события существуют последующие пути, связывающие данное событие с конечным или событие, последующее заданной работой с конечным.

Полный путь связывает начальное событие с конечным. Самый длинный полный путь называется критическим.

Сетевой график в форме «работа – стрелка» получил наибольшее распространение, так как содержит текстовую информацию (наименования работ, указанных над стрелками) и облегчает восприятие графика человеком.

Для обработки на ЭВМ график должен быть представлен в форме, «понятной» для машины. Наиболее распространенной является так называемая списочная форма задания сетевого графика.

Каждая строка таблицы содержит информацию об одной работе графика. Число строк равно числу работ в сетевом графике (для сети в форме работ - стрелка включается включаются и фиктивные работы). В первой колонке записаны начальные числа кодов работ I, во второй – конечные числа этих кодов j, в третьей колонке – продолжительность выполнения этих работ t_{ij}.

Число столбцов может быть большим: например, в дополнительном столбце можно указать число рабочей силы, занятой на выполнении работы, количество материально-технических ресурсов, потребляемых на работе, и т.д.

Все события (вершины) в сетевом графике в форме работа-стрелка должны быть пронумерованы. Предпочтительней является так называемая упорядоченная нумерация, при которой номер вершины, стоящей в начале дуги (в хвосте стрелки), будет меньше номера вершины, стоящей в конце дуги (у острия стрелки), т.е. для любой дуги i<j. Большинство алгоритмов, по

которым производятся расчеты, связанные с сетевыми графиками, ориентированы именно на упорядоченную нумерацию вершин.

Упорядочение вершин может быть выполнено самой ЭВМ по специальной программе. При списочном задании сетевого графика упорядочение производится вручную до записи информации на машинные носители. Для этого применяется способ вычерчивания выходящих дуг который состоит в следующем: на графике отыскивается вершина (или вершины), не имеющая входящих дуг; этой вершине (вершинам) присваивается очередной порядковый номер (очередные порядковые номера); вычеркиваются все дуги, выходящие из отмеченной вершины (из отмеченных вершин) и в предположении, что вычеркнутых дуг больше нет, алгоритм начинают сначала, пока не будет пронумерована последняя вершина.

Формальные правила построения сетевых графиков являются общими для всех сетевых графиков независимо от того, какие проекты они моделируют; строительство гидроузла, разработку проекта турбогенератора или организацию учебного процесса в вузе. Соблюдение правил позволяет применять к обработке всех сетевых графиков одни и те же алгоритмы и программы для ЭВМ.

Правило 1. Ни одна работа в сетевом графике не может начаться прежде, чем будут окончены все без исключения предшествующие ей работы. Следствием этого правила является требование, чтобы в сетевом графике не было циклов.

Правило 2. В сетевом графике не должно быть двух и более работ, имеющих одинаковый код (это правило называют правилом изображения параллельных работ, т.е. таких, которые могут выполняться одновременно). Так как ЭВМ различает работы только по коду, то она не сумеет отличить в данном случае одну работу от другой. Для правильного изображения этого фрагмента нужно ввести два дополнительных события и две фиктивные работы. В форме стрелка-связь фиктивных работ не требуется.

Правило 3. В сетевом графике не должно быть ни одного события.кроме начального, не имеющего предшествующих работ.

Правило 4. В одноцелевом сетевом графике не должно быть ни одного события, кроме конечного , не имеющего последующих работ.

Правило 5. Правило изображения сложных работ. Сложной может называться работа, выполнение части которой достаточно для начала одной из последующих работ. Для сокращения общей продолжительности выполнения проекта сложная работа должна быть поделена на простые, и последующие работы должны начинаться сразу, как только это физически окажется возможным.

Правило 6. Правило употребления фиктивных работ. Как уже отмечалось, фиктивные работы - это вспомогательный элемент при изображении сетевых графиков в форме работа-стрелка. В ряде случаев в сетевой график целесообразно ввести дополнительные фиктивные работы, которые будут избыточными, но позволят сделать график более наглядным. Однако при этом следует помнить, что увеличение числа фиктивных работ соответственно увеличит объем работы по подготовке исходных данных для расчета сетевого графика и время расчетов. Таким образом, следует стремиться к тому, чтобы минимизировать фиктивные работы.

Временной характеристикой всего сетевого графика является продолжительность критического пути $T_{кр}$. В одноцелевом графике существует по крайней мере один критический путь, хотя таких путей может быть и несколько. Возможны случаи, когда все пути в сетевом графике будут критическими. В многоцелевом сетевом графике минимальное количество критических путей равно числу конечных событий (целей), причем продолжительности этих путей могут быть разными.

Для каждой работы в сетевом графике определяют 6 временных параметров: $t_{ij}^{рн}$- раннее начало: $t_{ij}^{ро}$ раннее окончание; $t_{ij}^{пн}$-позднее начало; $t_{ij}^{по}$-

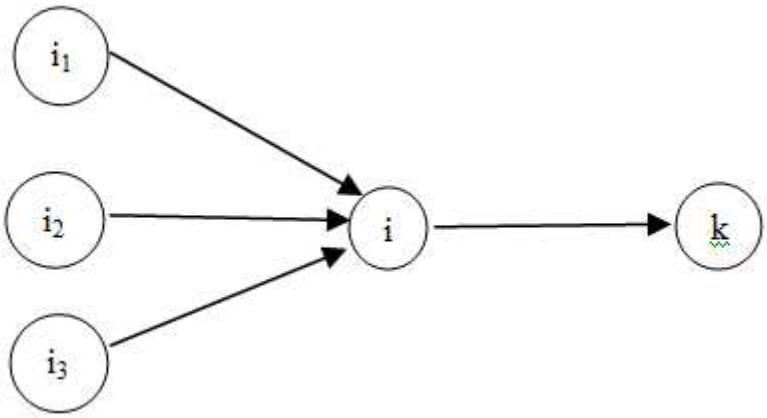
позднее окончание; R_{ij}^{n}- полный резерв времени; R_{ij}^{c}-свободный резерв времени.

Ранние начала и ранние окончания находятся в процессе расчета графика от начального события к конечному. Раннее окончание работы связано с ее ранним началом зависимость:

$$t_{ij}^{po} = t_{ij}^{pн} + t_{ij} \qquad (4.1)$$

где t_{ij} - продолжительность выполнения работы.

Раннее начало работы есть самый ранний срок, в который работа может начаться. Численно он равен продолжительности самого длинного предшествующего данной работе пути. Как бы много ни было этих предшествующих путей им всегда будут принадлежать работы, непосредственно предшествующие данной.



Из рисунка и первого правила построения сетевых графиков следует, что

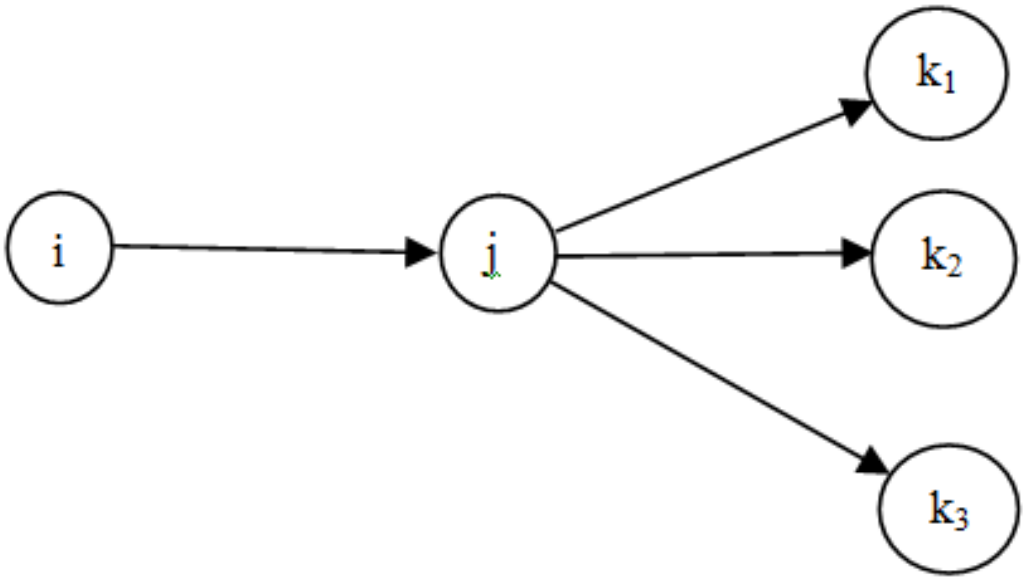
$$t_{ij}^{pн} = max\{t_{ij}^{po}\} \qquad (4.2)$$

Вычисления по этой формуле производятся шаг за шагом в направлении от начального события к конечному.

Поздние начала и поздние окончания отыскиваются в процессе расчета графика «ходом назад»- от конечного события к начальному. Они связаны зависимостью

$$t_{ij}^{пн} = t_{ij}^{по} - t_{ij}^{\square} \qquad (4.3)$$

Позднее окончание работы определяет самый поздний срок, в который работа может окончиться, не увеличивая продолжительности критического пути. Численно позднее окончание работы равно разности между продолжительностью критического пути и самого длинного последующего за данной работой пути. Как бы много ни было таких путей им всегда будут принадлежать работы, непосредственно последующие за данной.



В соответствии с определением и рисунком следует, что :

$$t_{ij}^{по} = min\left\{t_{jk}^{пн}\right\} \qquad (4.4)$$

Действительно, если из постоянной продолжительности критического пути вычитать длины разных по продолжительности путей, то минимум разности получится тогда, когда будет вычитаться путь максимальной длины. Вычисления по этой формуле происходят шаг за шагом от конечного события к начальному.

Полный резерв времени работы показывает, па какой промежуток времени можно отодвинуть сроки выполнения работы вправо (в сторону их увеличения), не увеличивая продолжительности критического пути:

$$R_{ij}^{n} = t_{ij}^{no} - t_{ij}^{po} = \left(t_{ij}^{nн} + t_{ij}^{\square}\right) - \left(t_{ij}^{pн} + t_{ij}^{\square}\right) = t_{ij}^{nн} - t_{ij}^{pн} \qquad (4.5)$$

Если на какой-то работе использован весь полный резерв времени, то по крайней мере один из последующих за данной работой путей станет критическим.

Свободный резерв времени определяет промежуток времени, на который можно отодвинуть сроки выполнения работы вправо, не меняя ранних начал последующих за ней работ , и вычисляется как:

$$R_{ij}^{c} = t_{ik}^{pн} - t_{ij}^{po} \qquad (4.6)$$

Так как работы j_k, последующие за работой ij, все равно не могут начаться раньше, чем это определено их ранним началом $t_{ik}^{pн}$, то использование свободного резерва на данной работе никак не отражается на сроках выполнения последующих работ.

Между резервами времени, которыми располагают работы, существует соотношение $R_{ij}^{n} \geq R_{ij}^{c}$

Кроме того, резервы не отрицательны: $R_{ij}^{n} \geq 0 \; и \; R_{ij}^{c} \geq 0$.

Работы , принадлежащие критическому пути , имеют резервы времени, равные нулю , т.е. для них $R_{ij}^{n} = R_{ij}^{c} = 0$.

При расчете сетевых графиков в табличной форме используется списочная форма задания сетевого графика, в котором указываются цифровые коды ij и продолжительность работ, $t_{ij.}$

Обязательна упорядоченная нумерация событий. Работы заносятся в список в порядке возрастания первых чисел их кодов 1 , при этом вначале записываются все работы, выходящие из 1-го (начального) события и имеющие первое число кода 1 , затем все работы, выходящие из 2-го события (начальное число код -2); потом из 3-го и т.д. Работы, выходящие из одного

события, заносятся в список в порядке возрастания вторых чисел их кодов j. Так, если из события 5 выходят работы 5-6, 5-9, 5-8, то в список они должны заноситься в порядке 5-6, 5-8, 5-9.

При упорядоченной нумерации событий (для всех работ) и соблюдении правил занесения работ в список для любой работы ij вся информация о предшествующих работах будет расположена в строках таблицы, находящихся выше той, в которой записана информация о данной работе. При этом работы, непосредственно предшествующие данной, последним числом кода будут иметь i, т.е. начальное число кода данной работы. Вся информация о работах, последующих за работой ij, будет записана в строках таблицы, лежащих ниже. При этом работы, непосредственно последующие за данной, первым числом кода будут иметь j, т.е. последнее число кода данной работы.

Цель расчета состоит в определении ранних и поздних сроков выполнения работ, резервов времени, которыми располагают работы, а также в индикации критического пути и определении календарных сроков выполнения работ, например, по их ранним началам.

Расчет ранних сроков выполнения работ производится «ходом вперед», что соответствует движению в направлении от первой строки к последней. Алгоритм расчета ранних сроков следующий:

1) определяются ранние начала работ, выходящих из начального события (первое число кода этих работ i=1);

2) по формуле находятся ранние окончания тех работ, для которых определены их ранние начала (если определено раннее окончание последней работы, переходят к п.4);

3) по формуле определяются ранние начала работ, первое число кода которых равно i+1 (переход к п.2);

4) завершение расчетов.

Продолжительность критического пути, равна максимальному из чисел 5-го столбца таблицы.

Расчет поздних сроков выполнения работ ведется сходом назад». Алгоритм расчета поздних сроков такой: j) определяется позднее окончание работ, входящих в последнее событие (последнее число кода этих работ равно числу событий в графике j) оно равно продолжительности критического пути; 2) по формуле находятся поздние начала работ, для которых найдены их поздние окончания, если определено позднее начало работы, код которой записан в первой строке, переходят к п.4;

3) по формуле находятся поздние окончания работ, последнее число кода которых равно j-1, переход к п.2;

4) завершение расчетов.

Далее следует расчет резервов времени, который можно выполнять в произвольном порядке. Однако, целесообразно вначале вычислить полные резервы времени и если они окажутся равными нулю, то для этих работ можно будет не вычислять свободных резервов, ибо последние будут равны нулю.

По формуле определяют свободные резервы для всех остальных работ.

4.1.1 Расчет сетевого графика выполнения дипломной работы «Определение прочностных параметров элементов разборного бурового инструмента со сферическими шарошками».

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР) выполнены промежуточные работы, перечень которых приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень работ по выполнению ВКР

Код работы	Наименование работы	Код собы-тия	Наименование события	Продолжительность работы, дней
1-6	Работы по первой главе «Современное состояние техники бурения взрывных скважин». Изучение литературных источников.	1	Изучена общедоступная периодическая и научная литература.	20

1-2	Работы по второй главе «Анализ эффективности эксплуатации буровых станков и инструментов на карьерах России».	2	Вторая глава ВКР выполнена.	6
2-3	Работы по третьей главе «Исследование напряженно-деформированного состояния шарошечного долота со сферическими шарошками»	3	Раздел ВКР выполнен.	21

Продолжение таблицы 4.1

Код работы	Наименование работы	Код собы-тия	Наименование события	Продолжительность работы, дней
3-1	Работы по третьей главе «Построение конечно-элементной модели шарошечного долота со сферическими шарошками и определение условий расчета».	4	Построена конечно-элементная модель долота и определены условия расчета.	5
3-2	Работы по третьей главе «Исследование напряженно-деформированного состояния шарошечного долота со сферическими шарошками»	5	Исследовано НДС элементов долота со сферическими шарошками.	7
3-3	Работы по третьей главе «Анализ полученных результатов».	6	Сформулированы выводы и даны рекомендации.	3
3-4	Работы по четвертой главе «Экономическая часть»	7	Раздел ВКР выполнен	4
4-1	Сетевая модель выполнения работы	8	Выполнен расчет сетевого графика выполнения ВКР.	2
4-2	Сравнительная оценка себестоимости эксплуатации долот на Восточно-Бейском разрезе	8	Выполнена сравнительная оценка эксплуатации долот на Восточно-Бейском разрезе	2
4-5	Работы по пятой главе «Безопасность	10	Выполнены работы в соответствии с	6

	жизнедеятельности».		требованиями консультанта	
5-1	Работы по пятой главе «Общие требования»	11	Указаны общие требования безопасности.	2
5-2	Работы по пятой главе «Буровые работы»	12	Указаны требования безопасности при проведении буровых работ.	2
5-3	Работы по пятой главе «Охрана труда»	13	Указаны требования по обеспечению охраны труда.	2
1-6	Оформление пояснительной записки, графического материала дипломной работы	14	Дипломная работа сдана	10

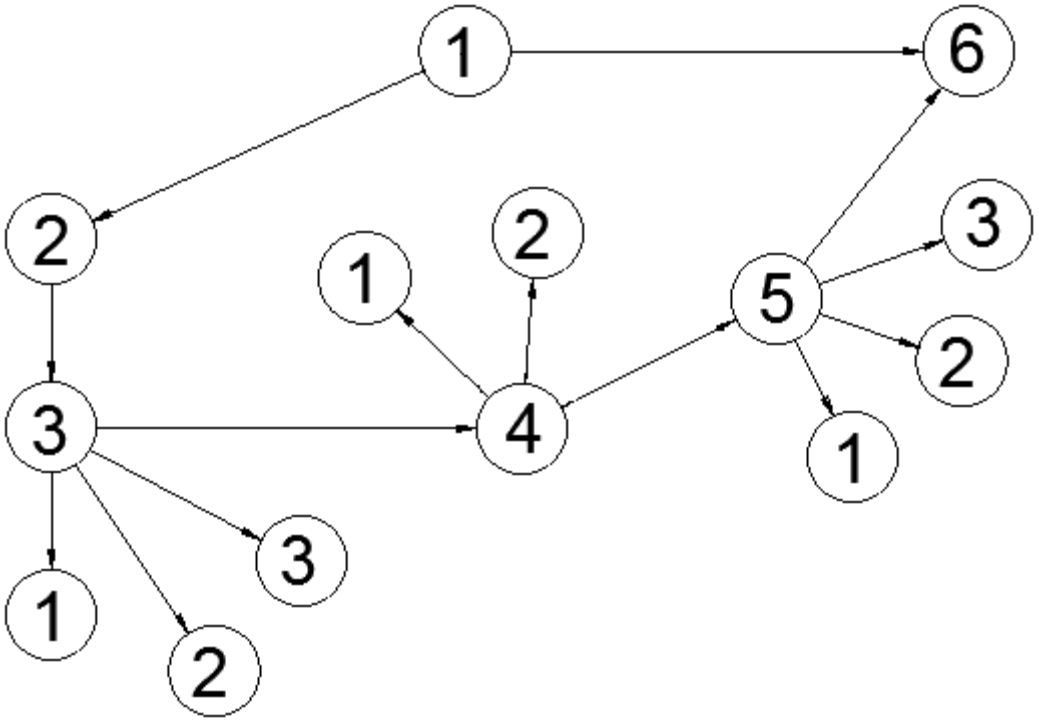


Рисунок 4.4 – Сетевой график выполнения ВКР

Таблица 4.2 – Расчет параметров сетевой модели по времени.

Работа (i j)	Количество предшеству-ющих работ	Продолжи-тельность t_{ij}	Ранние сроки: начало $t_{ij}^{РН}$	Ранние сроки: окончание $t_{ij}^{РО}$	Поздние сроки: начало $t_{ij}^{ПН}$	Поздние сроки окончание $t_{ij}^{ПО}$	Резервы времени: полный $R_{ij}^{П}$	Независимый резерв времени R_{ij}^{1}	Частный резер вI рода R_{ij}^{1}	Частный резер вII рода
(1,2)	0	6	0	6	0	6	0	0	0	0
(1,6)	0	20	0	20	7	27	7	7	7	7
(2,3)	1	15	0	15	12	27	12	12	12	12

(3,1)	2	6	6	12	8	14	2	0	0	0
(3,2)	2	5	12	17	15	20	3	0	0	0
(3,3)	2	7	17	24	18	25	1	0	0	0
(3,4)	2	4	17	20	22	25	5	0	0	0
(4,1)	3	2	17	19	23	25	6	0	0	0
(4,2)	3	2	17	21	21	25	4	0	0	0
(4,5)	3	6	21	27	21	27	0	0	0	0
(5,1)	4	2	21	24	24	27	3	0	0	3
(5,2)	4	2	21	24	24	27	3	0	0	3
(5,3)	4	2	21	24	24	27	3	0	0	3
(5,6)	5	10	21	24	24	27	3	0	0	3

В таблице 4.2 приведен расчет параметров сетевого графика выполнения ВКР табличным методом, где:

i – предшествующее событие; j – последующее событие; t_{ij}– продолжительность работы; $t._{р.н.(ij)}$ – ранее начало работ; $t._{п.н.(ij)}$ – позднее начало работ; $t._{п.о.(ij)}$ – позднее окончание работ; $R_{n\,(ij)}$ – полный резерв времени работ; $R_{(ij)}$– частный резерв времени работ.

Для расчета полного и частного резервов времени работ используются следующие формулы:

$$R_{n(ij)} = t._{п.о.(ij)} - t._{р.о.(ij)}$$

$$Ч_{(ij)} = t._{р.н.(jh)} - t._{р.о.(ij)}$$

где $t._{р.н.(jh)}$ – ранее число последующей работы.

Выводы: Сетевой график изготовления модели имеет минимальный путь – 6 дней и критический путь – 24 дня.

Таблица 4.3 - Расчет ранних и поздних сроков свершения событий и резервов времени событий

Работа (i,j)	Кол-во предшествующих работ	Продолжи-тельностьt_{ij}	Ранние сроки: начало $t_{ij}^{Р.Н.}$	Ранние сроки: окончание $t_{ij}^{Р.О.}$	Поздние сроки: окончание $t_{ij}^{П.О.}$	Минимальный разрез
(1,2)	0	6	0	6	6	6

(1,6)	0	20	0	20	27	20
(2,3)	1	15	0	15	27	15
(3,1)	2	6	6	12	14	12
(3,2)	2	5	12	17	20	17
(3,3)	2	7	17	24	25	24
(3,4)	2	3	17	20	25	20
(4,1)	3	2	17	19	25	19
(4,2)	3	4	17	21	25	21
(4,5)	3	6	21	27	27	27
(5,1)	4	3	21	24	27	24
(5,2)	4	3	21	24	27	24
(5,3)	4	3	21	24	27	24
(5,6)	5	3	21	24	27	24

На основании проведенных расчетов параметров сетевого графика выполнения ВКР разработана сетевая модель, критический путь, который составляет 24 дня, что свидетельствует о выполнении выпускной квалификационной работы в установленный учебным графиком срок.

4.2 Сравнительная оценка эксплуатации долот на Восточно-Бейском разрезе

Эффективность конструкции долота определяется по результатам сравнительных промышленных испытаний в одинаковых горно-геологических условиях.

Сравним эффективность долота в условиях Восточно-Бейского угольного разреза, компании СУЭК.

Результаты промышленных наблюдений за эксплуатацией бурового инструмента применяемого на разрезе приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Результаты промышленных наблюдений

Буровой станок	СБШ-250 МНА-32		Atlas Copco DML-LP		
	1	2	3	4	5
Тип долота	ТКЗ-ПГВ 250,8 мм	МГПВ 250,8 мм	JUNJIN 632Y 215,9 мм	JUNJIN SA-SM635 215,9 мм	ТЗ ПГВ 215,9 мм
Стойкость долота ,п.м	6228	3183,5	9800	11000	6899
Стоимость долота, руб.	50000	40000	75000	100000	45000

Данные таблицы 4.4 показывают, что зарубежные буровые инструменты имеют в 1,5-2,5 раза большую стойкость и стоимость по сравнению с отечественными аналогами.

Наиболее оптимальным на наш взгляд, будет сравнение необходимого числа долот (а так же их стоимости) для достижения годовой производительности разреза по бурению. Запланированная производительность по бурению Восточно-Бейского разреза на 2021 г. составит 336000 п.м.

Расчет необходимого числа долот для обеспечения годовой производительности, а также их стоимость определяются по выражениям:

$$N_д = \frac{A_{г.б}}{L\partial}, шт. \quad (4.1)$$

$$C_{о.д} = N_д \cdot C_д, руб. \quad (4.2)$$

где $N_д$- общее число долот необходимых для обеспечения годовой производительности по бурению, ед.; $A_{г.б}$- годовая производительность по бурению, п. м;$C_д$- рыночная стоимость одного долота, руб.

Сравнительная характеристика исследуемых долот приведена в таблице 4.5.

Таблица 4.5- Сравнительная характеристика долот

Тип долота	Необходимое число долот, шт.	Стоимость долот, руб.
ТКЗ-ПГВ – 250,8 мм	54	2700000
МГПВ – 250,8 мм	106	4240000
JUNJIN632Y– 215,9 мм	35	2625000
JUNJINSA-M635– 215,9 мм	31	3100000
ТЗ-ПГВ – 215,9 мм	49	2205000

РСШД – 244,5 мм	84	1490020

Следует учесть тот факт, что долото РСШД является разборным. При этом корпус долота рассчитан на прохождение 50000 п.м, а шарошки 4000 п. м.

По данным литературных источников [1, 3] на изготовление корпуса приходиться 50-60% стоимости долота, из-за применения дорогостоящих легированных сталей, а остальные 40-50% на породоразрушающие элементы. Так стоимость корпуса долота составляет $С_к$ = 36460 руб., а стоимость породоразрушающих элементов долота – $С_ш$ = 14700 руб.

На основании выше изложенного, а так же учитывая высокую разборность долота, выполняем расчет количества корпусных частей и шарошек необходимых для обеспечения годовой производительности по бурению:

$$N_k = A_{гб} / L_k \text{ ед.} \qquad (4.9)$$

$$N_ф = A_{гб} / L_ш \text{ ед.} \qquad (4.10)$$

где $N_к$ - необходимое число корпусных частей для обуривания годового объема бурения по разрезу, ед. $N_ф$ - необходимое число шарошек, для обуривания годового объема бурения по разрезу, ед.; $A_{гб}$ - годовой объем по бурению, п.м.; L_k - стойкость корпуса, п.м; $L_ш$ – стойкость шарошки, п.м.

$$N_k = \frac{336000}{5000} = 7 \, ед.$$

$$N_ф = \frac{336000}{5000} = 84 \, ед.$$

Общая стоимость корпусных частей и шарошек составит:

$$C_k = 7 \cdot 36460 = 255220 \text{руб.}$$

$$C_ш = 84 \cdot 14700 = 1234800 \text{ руб.}$$

где $C_к$ стоимость необходимого числа корпусных частей, руб.; $C_ф$ - стоимость необходимого числа комплектов шарошек, руб., ед.

Общая стоимость на элементы долота ДРДФ составит:

$$C_o = C_к + C_ф = 255220 + 1234800 = 1490020 \; руб$$

Сравнение затрат на приобретение долота ДРДФ с затратами на долота используемыми на предприятии приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Сравнение затрат на приобретение долот

Тип долота	Общая стоимость долот, руб.	Стоимость долот РСШД, руб.	Экономия затрат, руб.
ТКЗ-ПГВ	2700000	1490020	1209980
МГПВ	4240000		2749980
JUNJIN632Y	2625000		1134980
JUNJINSA-M635	3100000		1609980
Т3-ПГВ	2205000		714980

По данным таблицы 4.6 видно, что на приобретение долот РСШД требуются наименьшие затраты, по сравнению с затратами на шарошечные долота эксплуатируемые на предприятии.

Таким образом, применение долота РСШД в условиях Восточно-Бейского угольного разреза даст минимальный годовой экономический эффект 714980 руб. по сравнению с долотами Т3-ПГВ и максимальный 2749980 руб. по сравнению с долотами МГПВ, эксплуатируемыми на горнодобывающем предприятии.

ГЛАВА 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Анализы несчастных случаев в бурении свидетельствует о том, что большая часть их происходит вследствие применения неправильных приемов труда. При ведении работ нередко нарушают действующие правила по технике безопасности. Это обусловлено или неудовлетворительным инструктажем, или не правильной организации труда, или недостаточным техническим надзором со стороны инженерно-технических работников.

Значительное число несчастных случаев связано с тем, что при ведении работ применяется неисправный инструмент и оборудование, не используются защитные средства, недостаточно используются приспособления по технике безопасности и малой механизации, облегчающие труд и предотвращающие опасности, возникающие во время выполнения работ. Для того чтобы максимально снизить травматизм, необходимы высокая квалификация рабочих, знания или технологических особенностей бурения скважин, назначения, конструкция и правил эксплуатации оборудования и механизмов, правильных и безопасных приемов выполнения работ, а также высокий уровень технического надзора со стороны руководителей работ.

Улучшение организации труда, механизация тяжелых и трудоемких работ, рационализация технологических процессов, внедрение новых, более совершенных видов оборудования, механизмов и инструмента - основные направления по повышению производительности труда и создания здоровой и безопасной производственной обстановки на буровых предприятиях.

За последние годы достигнуты значительные успехи в области создания безопасных условий труда в бурении вследствие внедрения новой техники, пневматических систем управления, разработки и оснащения производств контрольно-измерительной, регистрирующей, ограничительной

и другой аппаратурой многих видов. Дальнейшее внедрение новых видов оборудования, автоматизация и механизация технологических процессов бурения сыграют немалую роль в деле снижения травматизма.

При бурении нефтяных и газовых скважин значительное число несчастных случаев происходит в процессе эксплуатации оборудования. Правильный монтаж, своевременный осмотр оборудования и уход за ним создают условия для последующей безопасной работы. Поэтому перед вводом в эксплуатацию вновь смонтированной буровой установки необходимо проверить укомплектованность ее приспособлениями и устройствами по технике безопасности, элементами малой механизации, КИП и запасными емкостями.

Безопасность работы будет обеспечена, если буровое оборудование и инструмент будут соответствовать нормам и правилам техники безопасности.

5.1 Общие требования

1. Каждое горное предприятие должно иметь:

а) утвержденный проект разработки месторождения полезных ископаемых независимо от производительности, включающий разделы техники безопасности и охраны окружающей среды, в том числе рекультивацию нарушенных земель;

б) установленную маркшейдерскую и геологическую документацию;

в) план развития горных работ, утвержденный главным инженером предприятия и согласованный с местными органами Госгортехнадзора Российской Федерации в части обеспечения принятых проектных решений безопасного ведения горных работ и охраны недр;

г) лицензию (разрешение) на ведение горных работ, выданную органами государственного управления России.

Примечания:

1. Разработка породных отвалов и некондиционных руд шахт, карьеров, гидроотвалов обогатительных фабрик, золоотвалов ТЭЦ, а также металлургических предприятий должна производиться по специальному проекту.

2. Разработка естественных богатств континентального шельфа должна осуществляться по специальным проектам и в соответствии с инструкциями по безопасному производству работ, которые утверждаются Госгортехнадзором России.

3. При проведении и эксплуатации подземных горных выработок надлежит, кроме того, руководствоваться соответственно Едиными правилами безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах и Едиными правилами безопасности при взрывных работах.

4. Вновь построенные или реконструированные карьеры, разрезы, драги, прииски, а также отдельные промышленные объекты и сооружения, вводимые в работу на действующих предприятиях, должны приниматься комиссией с участием представителей Госгортехнадзора и технической инспекции труда в соответствии со СНиП 3.01.04-87. Это требование не распространяется на объекты, систематическое перемещение которых связано с технологией ведения горных работ (передвижные железнодорожные пути, линии электропередачи, контактные сети, водоотливные установки, трубопроводы и др.).

5. Все рабочие и инженерно-технические работники, поступающие на предприятие, подлежат предварительному медицинскому освидетельствованию, а работающие непосредственно на открытых горных

работах - периодическому освидетельствованию на предмет их профессиональной пригодности. Медицинское освидетельствование и заключение о состоянии здоровья лиц, поступающих на предприятие, проводится в соответствии с действующими нормативными документами.

6. Лица, поступающие на горное предприятие (в том числе и на сезонную работу), должны пройти с отрывом от производства предварительное обучение по технике безопасности в течение трех дней (ранее работавшие на горных предприятиях, разрабатывающих месторождения открытым способом, и рабочие, переводимые на работу по другой профессии, - в течение двух дней), должны быть обучены правилам оказания первой помощи пострадавшим и сдать экзамены по утвержденной программе комиссии под председательством главного Инженера предприятия или его заместителя.

При внедрении новых технологических процессов и методов труда, а также при изменении требований или введении новых правил и инструкций по технике безопасности все рабочие должны пройти инструктаж в объеме, устанавливаемом руководством предприятия. При переводе рабочего с одной работы на другую для выполнения разовых работ, не связанных с основной специальностью, он должен пройти целевой инструктаж по технике безопасности на рабочем месте. Запрещается допускать к работе лиц, не прошедших предварительного обучения. Повторный инструктаж по технике безопасности должен проводиться не реже двух раз в год с регистрацией в специальной книге.

Примечание:

Студенты высших и средних горнотехнических заведений, а также учащиеся профессионально - технических училищ перед производственной практикой должны пройти двухдневное обучение и сдать экзамены по технике безопасности экзаменационной комиссии предприятия. Перед последующими производственными практиками студенты высших учебных заведений и учащиеся техникумов должны пройти инструктаж по

технике безопасности, а учащиеся профессионально - технических училищ- проверку знаний по технике безопасности в объеме программы предварительного обучения как лица, ранее работавшие в карьере.

5. Каждый вновь поступивший рабочий после предварительного обучения по технике безопасности должны пройти обучение по профессии в объеме и в сроки, установленные программами, и сдать экзамен. Лиц, не прошедших обучение и не сдавших экзамена, запрещается допускать к самостоятельной работе. Всем рабочим под расписку администрация обязана выдать инструкции по безопасным методам ведения работ по их профессии.

6. К управлению горными и транспортными машинами допускаются лица, прошедшие специальное обучение, сдавшие экзамены и получившие удостоверение на право управления соответствующей машиной.

7. Машинисты и помощники машинистов горных и транспортных машин, управление которыми связано с оперативным включением и отключение электроустановок, должны иметь квалификационную группу по технике безопасности в соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правилами техники безопасности яри эксплуатации электроустановок потребителей:

- при напряжении до 1000 В;

- машинисты - не ниже III группы;

- помощники машинистов не ниже II группы;

- при напряжении выше 1000 В: машинисты - не ниже IV группы; помощники машинистов - не ниже III группы. Наличие указанных квалификационных групп по технике безопасности дает право машинистам и их помощникам производить оперативные переключения и техническое обслуживание только в пределах закрепленной за ними горной и транспортной машины и ее приключательного пункта. Разрешается машинистам и их помощникам производить переключения

кабеля у приключательного пункта по наряду или лица, им уполномоченного (энергетика участка, сменного энергетика, энергодиспетчера).

При временном переводе машинистов и их помощников на другие экскаваторы (бурстанки) выполнение указанные работ разрешается после ознакомления их с системой электроснабжения этих горных машин.

8. Проверка знания безопасных методов работы машинистами и помощникам машинистов горных и транспортных машин должна проводиться ежегодно комиссиями, назначаемыми предприятием.

9. К техническому руководству горными работами допускаются лица, имеющие законченное высшее или среднее горнотехническое образование или право ответственного ведения горных работ. Руководящие и инженерно-технические работники предприятий, разрабатывающих месторождения полезных ископаемых опытным способом, а также организаций, разрабатывающих для этих предприятий проекты, оборудование, обязаны не реже одного раза в 3 года проходить проверку знания ими Правил безопасности и инструкций в вышестоящей организации или органах Госгортехнадзора. Примечание. На карьерах производительностью менее 10000 куб. м горной массы в год без проведения подземных или взрывных работ к техническому руководству горными работами могут быть допущены лица, не имеющие права ответственного ведения горных работ, но со стажем работы на карьерах не менее двух лет. Инженерно-технические работники, поступающие на карьер (в том числе и переводимые с другого карьера), обязаны сдать экзамен по настоящим Правилам.

10. Каждое рабочее место перед началом работ или в течение смены должно осматриваться, мастером или по его поручению бригадиром (звеньевым), а в течение суток - начальником участка или его заместителем, которые обязаны не допускать производство работ при наличии нарушений правил безопасности, кроме работ по нарядам для устранения этих нарушений. На производство работ должны выдаваться наряды. Выдача нарядов и контроль за производством работ осуществляются в соответствии с

положением о парадной системе, утвержденным предприятием. Запрещается выдача нарядов на работу в места, имеющих нарушения правил безопасности, кроме работ по устранению этих нарушений. На производство работ, к которым предъявляются повышения требования по технике безопасности должны выдаваться письменные наряды - допуски. Перечень этих работ устанавливаются предприятием.

11. Каждый рабочий до начала работы должен удостовериться в безопасном состоянии своего рабочего места, проверить исправность предохранительных устройств, инструмента, механизмов и приспособлений, требующихся для работы. Обнаружив недостатки, которые он сам не может устранить, рабочий, не приступая к работе, обязан сообщить о них лицу технического надзора.

12. Запрещается отдых непосредственно в забоях и у откосов уступа, в опасной зоне работающих механизмов, на транспортных путях, оборудовании и т.п.

13. Перед пуском механизмов и началом движения машин, железнодорожным составов или автомобилей обязательна подача звуковых или световых сигналов, с назначением которых инженерно-технические работники обязаны ознакомить всех работающих. При этом сигналы должны быть слышны (видны) всем работающим в районе действия машин, механизмов и др. Каждый неправильно поданный или непонятный сигнал должен восприниматься как сигнал "стоп". Перед началом работы или движения машины, механизма и др. машинист обязан убедиться в безопасности членов бригады и находящихся поблизости лиц. Таблица сигналов вывешивается на работающем механизме или вблизи от него.

14. Рабочие и специалисты в соответствии с утвержденными нормами должны быть обеспечены и обязаны пользоваться специальной одеждой, специальной обувью, исправными защитными касками, очками и другими средствами индивидуальной защиты, соответствующими их профессии и условиям работы.

15. Каждый работающий на предприятии, заметив опасность, угрожающую людям или предприятию (неисправность железнодорожных путей, машин и механизмов, электросетей, признаки возможных оползней, обвалов уступов, возникновения пожаров и др.), обязан наряду с принятием мер по ее устранению сообщить об этом лицу технического надзора, а также предупредить людей, которым угрожает опасность.

16. Горные выработки карьеров в местах, представляющих опасность падения в них людей, а также провалы, зумпфы и воронки следует ограждать предупредительными знаками, освещаемыми в темное время суток. Дренажные скважины, недействующие шурфы и другие вертикальные и наклонные выработки должны быть надежно перекрыты.

17. Запрещается загромождать рабочие места и подходы к ним породой и какими-либо предметами, затрудняющими передвижение людей и механизмов.

18. В рабочее время горные, транспортные и дорожные строительные машины должны быть отведены от забоя в безопасное место, рабочий орган (ковш и др.) опущен на землю, кабина заперта и с питающего кабеля снято напряжение.

19. Запыленность воздуха и количество вредных газов на рабочих местах не должны превышать величин, установленных санитарными нормами. Места отбора проб и их периодичность устанавливаются графиком, утвержденным главным инженером карьера (предприятия), но не реже одного раза в месяц. Во всех случаях, когда содержание вредных газов или запыленность воздуха в карьере превышают установленные нормы, необходимо принять меры по обеспечению безопасных и здоровых условий труда. При возникновении пожара все работы на участках карьера, атмосфера которых загрязнена продуктами горения, должны быть прекращены, за исключением работ, связанных с ликвидацией пожара.

20. На карьерах, разрабатывающих самовозгорающиеся или легковоспламеняющиеся полезные ископаемые, необходимо

предусматривать специальные профилактические и противопожарные мероприятия, утвержденные главным инженером предприятия.

21. Передвижение людей в карьере (разрезе) допускается по специально устроенным пешеходным дорожкам или по обочинам автодорог со стороны порожнякового направления движения автотранспорта.

В темное время суток пешеходные дорожки и переходы через железнодорожные пути и автодороги должны быть освещены. Передвижение людей с уступа на уступ по взорванной горной масседопускается только при особой производственной необходимости и с разрешения в каждом отдельном случае лица технического надзора.

22. В карьерах должна быть организована доставка рабочих к месту работ на специально оборудованном для этой цели транспорте, если расстояние до места работ превышает 2 км и глубина работ более 100 м. Запрещается перевозка людей в саморазгружающихся вагонах, кузовах автосамосвалов и грузовых вагонетках канатных дорог.

23. Дня сообщения между уступами следует устраивать прочные лестницы с двусторонними поручнями и наклоном не свыше 60 градусов или бульдозерные съезды с уклоном не более 20 градусов, освещаемые в темное время суток. Маршевые лестницы при высоте более 10 м должны быть шириной не менее 0,8 м. с горизонтальными площадками на расстоянии друг от друга по высоте не более 15 м. Расстояние и места установки лестниц по длине уступа устанавливаются планом развития горных работ. Ступеньки и площадки лестниц необходимо систематически очищать от снега, льда, грязи и при необходимости посыпать песком. Допускается использование для перевозки людей с уступа на уступ механизированных средств (эскалаторы и др.), допущенных Госгортехнадзором.

24. Переход через ленточные конвейеры разрешается только по переходным мостикам шириной не менее 0,8 м, оборудованным перилами высотой не менее 1 м. В местах прохода и проезда под

конвейерами необходимо устанавливать защитные полки для предохранения людей от возможного поражения падающими с ленты кусками транспортируемого материала.

25. Запрещается: находиться людям в пределах призмы обрушения на уступах и в непосредственной близости от нижней бровки откоса уступа; работать на уступах при наличии нависающих "козырьков", глыб, крупных валунов, а также нависей из снега и льда. В случае невозможности произвести ликвидацию заколов или оборку борта все работы в опасной зоне должны быть приостановлены, люди выведены, а опасный участок огражден предупредительными знаками.

26. Проезд в железнодорожных составах и кабинах локомотивов разрешается лицам, сопровождающим составы, а также надзору и отдельным рабочим при наличии у них письменного разрешения администрации.

27. Проезд через железнодорожные пути в карьере бульдозерам, автомашинам и другим колесным, гусеничным или шагающим машинам разрешается в установленных местах, специально оборудованных иобозначенных указателями. Переезд через железнодорожные пути, связанный с технологией ведения горных работ, допускается по утвержденному главным инженером предприятия регламенту с осуществлением необходимых мер безопасности.

28. При проведении и эксплуатации подземных выработок карьеров надлежит руководствоваться Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах и Едиными правилами безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. Взрывные работы на открытых горных разработках должны производиться с соблюдением Единых правил безопасности при взрывныхработах. При выполнении строительно - монтажных и специальных строительных работ на горных предприятиях по добыче полезных

ископаемых открытым способом, кроме настоящих Правил, следует соблюдать требования действующих строительных норм и правил.

29. Устройство, установка и эксплуатация грузоподъемных кранов, паровых котлов и сосудов, работающих под давлением, должны отвечать требованиям Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. Правил устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов, и Правил устройства, и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

30. Все несчастные случаи на производстве подлежат расследованию, регистрации и учету в соответствии с Положением о расследовании и учете несчастных случаев на производстве.

5.2 Буровые работы

1. Буровой станок должен быть установлен на спланированной площадке уступа вне призмы обрушения и при бурении первого ряда расположен так, чтобы гусеницы станка находились от бровки уступа на расстоянии не менее чем 2 м, а его продольная ось была перпендикулярнабровке уступа. Под домкраты станков запрещается подкладывать куски руды и породы. При установке буровых станков шарошечного бурения на первый ряд скважин управление станками должно осуществляться дистанционно.

2. Перемещение бурового станка с поднятой мачтой по уступу допускается только по спланированной горизонтальной площадке. При передвижении станка под линиями электропередачи мачта должна быть опущена. При перегоне буровых станков мачта должна быть опущена, буровой инструмент снят или надежно закреплен.

3. Бурение скважин следует производить в соответствии с инструкциями, разработанными предприятиями на основании типовых доя каждого способа бурения (огневого, шарошечного и др.).

4. Запрещается бурение скважин станками огневого (термического) бурения в горных породах, склонных к возгоранию и выделению ядовитых газов.

5. Каждая скважина, диаметр устья которой превышает 250 мм, после окончания бурения должна быть перекрыта. Участки пробуренных скважин обязательно ограждаются предупредительными знаками. Порядок ограждения зоны пробуренных скважин утверждается главным инженером предприятия.

6. Шнеки у станков вращательного бурения с немеханизированными сборкой и разборкой бурового става и очисткой устья скважины должны иметь ограждения, сблокированные с подачей электропитания на двигатель вращателя.

7. Запрещается работа на станках вращательного и шарошечного бурения с неисправными ограничителями переподъема бурового снаряда, при неисправном тормозе лебедки и системы пылеподавления.

8. При применении самовращающихся канатных замков направление свивки прядей каната и нарезка резьбовых соединений бурового инструмента должны быть противоположными.

9. Подъемный канат бурового станка должен рассчитываться на максимальную нагрузку и иметь пятикратный запас прочности. При выборе каната необходимо руководствоваться заводским актом - сертификатом. Не менее одного раза в неделю механик участка или другое специально назначенное лицо должен проводить наружный осмотр каната и делать запись в журнал о результатах осмотра.

Выступающие концы проволок должны быть обрезаны. При наличии в подъемном канате более 10% порванных проволок на длине шага свивки его следует заменить.

10. При бурении перфораторами и электросверлами ширина рабочей бермы должна быть не менее 4 м. Подготовленные для бурения

негабаритные куски следует укладывать устойчиво в один слой вне зоны всевозможного обрушения уступа.

5.3. Охрана труда

Состав атмосферы карьера должен отвечать установленным нормативам по содержанию основных составных частей воздуха и вредных примесей (пыль, газы), с учетом действующих ГОСТов.

Воздух рабочей зоны должен содержать по объему 20 % кислорода и не более 0,5 % углекислого газа.

В целом продуктивная толща известняков содержит 4,12 % SiO2, при этом допускается концентрация пыли в рабочей зоне должна быть не более 4 мг/м. .

В карьере и на отвалах на рабочих местах должен проводиться отбор проб для анализа воздуха на содержание вредных газов, не реже одного раза в квартал, в соответствии с «Инструкцией по контролю содержания пыли воздухе на предприятиях горнорудной и нерудной промышленности». Допуск рабочих и технического персонала в карьер после производства массовых взрывов разрешается только после проверки и снижения ядовитых газов в атмосфере до санитарных норм, но не ранее, чем через 30 минут после взрыва.

Все машины и механизмы с двигателями внутреннего сгорания должны быть оборудованы нейтрализаторами вредных газов.

Для снижения пылеобразования при ликвидации горной массы в период положительных температур, необходимо проводить систематическое орошение взорванной горной массы водой.

Для снижения пылеобразования на автодорогах при положительной температуре воздуха должна проводиться поливка дорог водой с применением при необходимости связующих добавок.

На карьере и отвалах должны быть оборудованы закрытые туалеты в удобных для пользования местах, а также вагон-бытовки для обогрева рабочих зимой и укрытия от дождя. Вагон-бытовки должны иметь столы, скамьи для сидения, умывальник с мылом, бачок с кипяченной питьевой водой, вешалку для верхней одежды, аптечку первой помощи.

Температура воздуха в вагон-бытовках должны быть не менее 20°С.

Аптечки первой помощи должны быть на каждом участке, в цехах, мастерских, а также на всех горнотранспортных машинах и механизмах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой главе дипломной работы рассмотрены объемы и способы бурения на карьерах. Также рассмотрено современное состояние эксплуатируемых в настоящее время буровых станков и инструментов. Сделаны соответствующие выводы.

Во второй главе представлен анализ эффективности эксплуатации буровых станков и инструментов, в результате чего выявлены достоинства и недостатки эксплуатации отечественной и зарубежной техники бурения, а также даны рекомендации по критериям их выбора.

В третьей главе представлено исследование «Напряженного состояния элементов разборного бурового инструмента со сферическими шарошками на стадии его проектировании». Анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы: 1. Исследуемое долото выдерживает прилагаемые к нему нагрузки без возникновения участков с критическими значениями напряжений в конструкции долота, а следовательно, оно обладает достаточным запасом прочности и износостойкости, а также пригодно для эффективной эксплуатации при бурении горных пород с коэффициентом крепости f = 8–12, с учетом режимных параметров, принятых в исследовании и соответствующих паспортным значениям станков шарошечного бурения.

В четвертой главе произведено сравнение годовых материальных затрат на долота эксплуатируемые в условиях Восточно-Бейского угольного разреза и затрат на разборное долото со сферическими шарошками. В результате сравнения выявлено, что эксплуатация предлагаемого долота, даст минимальный годовой экономический эффект 714980 руб. и максимальный 2749980 руб. по сравнению с долотами, эксплуатируемыми на горнодобывающем предприятии.

В пятой главе рассмотрены общие правила безопасности и предложены соответствующе меры и способы для ее обеспечения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гилев А. В. Научно-технические основы создания специализированных буровых инструментов и технологий их применения на карьерах: Дис. … д-ра техн. наук/ А. В. Гилёв. – Красноярск, 2005. – 385 с.

2. Нгуен Зуй Тхань. Обоснование структуры и рациональных параметров адаптивного режущего долота для бурения перемежающихся по крепости пород: Дис. …канд. техн. наук/ Нгуен Зуй Тхань. – Новочерскасск, 2018. – 159 с.

3. Гилёв А. В. Проектирование рабочих органов и режимных параметров буровых станков для сложноструктурных горных массивов: монография/ А. В. Гилёв, А. О. Шигин, В. Д. Буткин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 320 с.

4. Шигин А. О., Гилёв А. В. К вопросу о нагрузках на породоразрушающих инструмент при бурении сложноструктурных горных пород// Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – №6. – С. 16–29

5. Воронов Ю. Е. Совершенствование бурового оборудования разрезов / Ю. Е. Воронов. – Кемерово: Кузбасс. гос. ун-т, 1998. – 192 с.

6. Справочник. Открытые горные работы / К. Н. Трубецкой [и др.]. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.

7. Справочник механика открытых работ. Экскавационно-транспортные машины цикличного действия / под ред. М. И. Щадова, Р. Ю. Подэрни. – М.: Недра, 1979. – 374 с.

8. Симкин Б. А. Справочник по бурению на карьерах / Б. А. Симкин, Б. Н. Кутузов, В. Д. Буткин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 224 с.

9. Калашников А. Г. Приоритетные направления создания техники для бурения взрывных скважин на открытых горных работах / А. Г. Калашников, Б. Н. Кутузов // Горный журнал. – 1997. – № 8. – С. 28 – 34.

10. Техника, технология и опыт бурения скважин на карьерах / под ред. В. А. Перетолчина. – М.: Недра, 1993. – 286 с.

11. Буткин В. Д. Основы техники и технологии бурения горных пород на карьерах: учеб. пособие / В. Д. Буткин, А. В. Гилев; ГАЦМиЗ. – Красноярск, 1995. – 208 с.

12. Подэрни Р. Ю. Основные концепции создания бурового станка нового технического уровня / Р. Ю. Подэрни, М. Р. Хромой // Горный журнал. – 1994. -№ 3. – С 35-39.

13. Сафохин М. С. Машинист буровой установки на карьерах: учеб. пособие для учащихся профтехобразования / М. С. Сафохин, Б. А. Катанов. – М.: Недра, 1992. – 312 с.

14. Иванов К. И. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых / К. И. Иванов, В. А. Латышев, В. Д. Андреев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 272 с.

15. Буткин В. Д. Опыт и развитие технологии силового бурения резанием на карьерах / В. Д. Буткин, А. В. Гилев и [др.]. – М.: Макс Пресс, 2005. – 313 с.

16. Шигин А. О. Методология проектирования адаптивных вращательно-подающих органов буровых станков и технологий их применения в сложноструктурных породных массивах [Текст]:Дис. ... д-ра техн. наук/ А. О. Шигин– Красноярск., 2015. – 355 с.

17. Справочник. Открытые горные работы / К. Н. Трубецкой [и др.]. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.

18. Решетняк С. П. Основные направления развития техники для бурения взрывных скважин на открытых горных работах / С. П. Решетняк, Н. И. Паладеева // Горная техника. – 2012 – № 1. С. 2 – 8.

19. http://www.rudgormash.ru, 2017

20. http://iz-kartex.com, 2017

21. http://www.bztm-buzuluk.ru, 2017

22. Подэрни Р. Ю. Анализ современного состояния мирового рынка поставок оборудования для бурения взрывных скважин на карьерах. Каталог – справочник, 2014. – №2 (1-3). – С.84-116.

23. Подэрни Р. Ю. Анализ конструкций и технологических возможностей современных станков вращательного бурения взрывных

скважин на открытых горных работах. Каталог–справочник. Горная техника, 2008, – С.114 – 123.

24. Буткин В. Д. Опыт и развитие технологии силового бурения резанием на карьерах / В. Д. Буткин, А. В. Гилев и [др.]. – М.: Макс Пресс, 2005. – 313 с.

25. Симкин Б. А. Справочник по бурению на карьерах / Б. А. Симкин, Б. Н. Кутузов, В. Д. Буткин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 224 с.

26. Гилёв А. В. Повышение эффективности эксплуатации буровой техники на горных предприятиях/ А. В. Гилёв, А. О. Шигин и [др.]. - Красноярск. Сиб. Федер. ун-т, 2013. - 372 с.

27. Подэрни Р. Ю. Анализ современного состояния мирового рынка поставок оборудования для бурения взрывных скважин на карьерах. Каталог – справочник, 2014. – №2 (1-3). – С.84-116.

28. Подэрни Р. Ю. Анализ конструкций и технологических возможностей современных станков вращательного бурения взрывных скважин на открытых горных работах. Каталог–справочник. Горная техника, 2008, – С.114 – 123.

29. https://www.atlascopco.com/ru-ru, 2017

30. http://www.caterpillar.com, 2017

31. https://mining.sandvik.com/en, 2017

32. www.phmining.com, 2017

33. http://www.schramminc.com, 2017

34. Двойников Ю. А. Совершенствование технологии бурения взрывных скважин в условиях кимберлитовых месторождений Якутии: Дис. … д-ра техн. наук/ Ю. А. Двойников. – Иркутск, 2012. – 148 с.

35. Катанов Б.А. Карьерные буровые станки / Б.А. Катанов // Вестник КузГТУ. - 2007. - №5. - С. 5-8.

36. Решетняк С.П.Основные направления развития техники для бурения взрывных скважин на открытых горных работах / С.П. Решетняк, Н.И. Паладеева // Горная техника. – 2012. – №1. – С.2-8.

37. Шигин А.О. Методология проектирования адаптивных вращательно-подающих органов буровых станков и технологий их применения в сложноструктурных породных массивах [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / Шигин Андрей Олегович – Красноярск., 2015. – 355 с.

38. Лель Ю.И. Эффективность эксплуатации новых моделей буровых станков на карьерах Качканарского горно-обогатительного комбината / Ю.И. Лель, А.В. Захаров, О.А. Бутков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2009. – №7. – С.40- 48.

39. http://www.rudgormash.ru, 2017.

40. Решетняк С.П. Перспективы развития основного технологического оборудования для открытых горных работ / С.П.Решетняк // В кн.: Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых и освоения подземного пространства северо-запада России, ч. 2. Апатиты, изд. Кольского научного центра РАН, 2001, С. 5 – 25.

41. Решетняк С. П., Самолазов А. В., Паладеева Н. И. Буровое и горнотранспортное оборудование железорудных карьеров России и стран СНГ. Горная промышленность, 2009, № 5. – С. 18-25.

42. Шигин А.О. Повышение эффективности эксплуатации буровой техники на горных предприятиях / А.В. Гилев, А.О. Шигин, В.Т. Чесноков, И.Р. Белозеров – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 384 с.

43. Лель Ю.И. Эффективность эксплуатации новых моделей буровых станков на карьерах Урала / Ю.И. Лель, А.В. Захаров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №6. – С.199-206.

44. Буткин В. Д. Выбор типомоделей и рациональная эксплуатация шарошечных долот на карьерах: учеб. пособие/ В.Д. Буткин, Д.Б. Нехорошев; ГАЦМиЗ. – Красноярск, 2006. – 81 с.

45. Гилев А.В., Бовин К.А., Шигин А.О., Белозеров И.Р. Анализ проходки шарошечных долот в условиях Олимпиадинского ГОКа ЗАО «ПОЛЮС» // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1.

46. Бовин К.А. Анализ проходки шарошечных долот в условиях Олимпиадинского ГОКа ЗАО «ПОЛЮС» / К.А. Бовин, А.В. Гилев, А.О. Шигин, И.Р. Белозеров // Проспект Свободный – 2015: сб. науч. тр. Междкнар. науч. конф. [Электронный ресурс]. – Красноярск, 2015. – С. 12-13.

47. Буткин, В. Д. Основы техники и технологии бурения горных пород на карьерах: учеб. пособие / В. Д. Буткин, А. В. Гилев; ГАЦМиЗ. – Красноярск, 1995. – 208

48. Сафохин, М. С. Машинист буровой установки на карьерах: учеб. пособие для учащихся профтехобразования / М. С. Сафохин, Б. А. Катанов. – М.: Недра, 1992. – 312 с.

49. Техника, технология и опыт бурения скважин на карьерах / под ред. В.А. Перетолчина. М.: Недра, 1993. 286 с.

50. Шигин А.О. Методология проектирования адаптивных вращательно-подающих органов буровых станков и технологий их применения в сложноструктурных породных массивах / А.О. Шигин, А.В. Гилев, А.А. Шигина. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 266 с.

51 Шигин А.О. Методология проектирования адаптивных вращательно-подающих органов буровых станков и технологий их применения в сложноструктурных породных массивах / А.О. Шигин, А.В. Гилев, А.А. Шигина. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 266 с.

52. Подеэрни, Р.Ю. Станки вращательного бурения на угольных разрезах РФ / Р.Ю. Подэрни // Горная техника . – 2008. – С. 36-41.

53. Бовин К.А. Анализ эффективности эксплуатации бурового инструмента на Черногорском угольном разрезе / К.А. Бовин, А.В. Гилев,

А.И. Миранов // Проспект Свободный – 2016: сб. науч. тр. Междкнар. науч. конф. [Электронный ресурс]. – Красноярск, 2015. – С. 28-30.

54. Сухов, Р.И. Результаты испытаний отечественных и зарубежных шарошечных долот и перспективы создания высокостойкого бурового инструмента / Р.И. Сухов // Сб. докл. II Междунар. конф. по открытым горным работам. – М.: ЦНИИОМТП, 1996. – С. 86–94.

55. B. Vasiliev, O. Kalashnikov, A. Oleynikova, A. Ivanovsky and N. Grudinin. Research of frequency converters energy characteristics of drilling rigs. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 87. 032051. 10.1088/1755-1315/87/3/032051.

56. Басов К.А.. ANSYS для конструкторов.- 2016 - Москва: ДМК-Пресс. 241 с.

57. T. Stolarsk, Y. Nakasone and S. Yoshimoto.. Engineering analysis with ANSYS with software - 1985Cambridge University Press. 453 p.

58. K.A. Bovin, A.V. Gilev, A.O. Shigin, V.T. Chesnokov and A.A. Shigina. The research of loaded condition of the demountable cutting-rotary drilling tool elements with a two-row cutting structure. International Journal of Mechanical Engineering and Technology – 2019 - №10(02). pp. 1179-1186.

59. Thompson M. K. and Thompson J. M.. ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis – 2017 - USA: Butterworth-Heinemann. 466 p.

60. Драгунов Ю.Г., Зубченко А.С, Каширский Ю.В., Дегтярев А.Ф., Жаров В.В., Колосков М.М., Орлов А.С. и Скоробогатых В.Н. 2015. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение. 1216 с.

61. Буткин В.Д.. Проектирование буровых долот для открытых горных, земляных и строительных робот – 2005 - М: МаксПресс. 304 с.

62. Janka Majerníkova and Emil Spisak. Increasing durability of cutting tools. Advances in Science and Technology Research Journal – 2017-№11(4). Pp. pages 141–146. DOI: 10.12913/22998624/78168

63. Darina Matiskova and Martin Kotus. Methodology for Determining the Cutting Conditions in Drilling of Automated Manufacturing. Acta Universitatis

Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis – 2014 - №62 (5). pp. 1033-1040. DOI: 10.11118/actaun201462051033

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Горного дела, геологии и геотехнологий
институт

Горные машины и комплексы
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.С. Морин
подпись инициалы, фамилия
« 26 » 01 2021 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА
21.05.04.09 - «Горные машины и оборудование»
код и наименование специальности

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗБОРНОГО БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА СО СФЕРИЧЕСКИМИ ШАРОШКАМИ
тема

Научный руководитель _____ доцент, канд. тех.наук В.Т.Чесноков
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ А.С. Арефьев
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент _____ _____ _____
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Консультанты:
Безопасность жизнедеятельности _____ 13.01.21 А.В. Галайко
наименование раздела подпись, дата инициалы, фамилия

Экономическая часть _____ 20.01.21 Р.Р. Бурменко
наименование раздела подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ 26.01.21 В.Т. Чесноко
наименование раздела подпись, дата инициалы, фамили

Красноярск 2021 г.