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

Институт горного дела, геологии и геотехнологий

Кафедра «Горные машины и комплексы»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.В. Гилев
«____» _____ 2017 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04 «Горное дело»
(специальность)

24.05.04.09 «Горные машины и оборудование»
(специализация)

Исследование кинематики движения долота ДРДФ-244,5-2
тема

Руководитель _____ Гилев А.В.
подпись, дата

Выпускник _____ Ковалев А.Г.
подпись, дата

Консультанты:

Экономическая часть _____ Бурменко А.Д.
подпись, дата

Безопасность жизнедеятельности _____ Капличенко Н.М.
подпись, дата

Нормоконтролер _____ Гилев А.В.
подпись, дата

Красноярск 2017

Содержание

Введение 5

1. Современное состояние техники и технологии бурения на открытых горных работах станками шарошечного и вращательного действия. 6

1.1. Буровые станки. Развитие и современное состояние 10

1.2. Станки шарошечного бурения 11

1.3. Станки вращательного бурения резанием 18

1.4. Пути совершенствования исполнительных органов станков вращательного бурения для сложноструктурных породных массивов 20

2. Современное состояние и пути совершенствования буровых инструментов 21

2.1 Режущие долота для бурения со шнековой очисткой скважины 30

2.2 Режущие долота для бурения с пневматической и шнекопневматической очисткой скважины 31

2.3 Специализированные буровые инструменты 32

3. Особенности конструкции и кинематика работы долота ДРФД 36

4. Экономическая часть 64

5. Безопасность жизнедеятельности. Правила безопасности работы на буровых станках. 67

Заключение. 70

Список использованной литературы. 72

Приложение 73

Введение

В данной дипломной работе представлено Долото Режущее (Разборное) с Фрезерными Дисками 2-мя рядами зубьев диаметром 244,5 мм (ДРДФ-244,5-2). Рассмотрены особенности конструкции данного долота, выявлены отличия от шарочного долота. Изучена кинематика движения для обоснования режимных параметров бурения для заданной крепости пород (осевого усилия; скорости бурения; глубины внедрения зуба).

Выполнены предварительные расчеты рациональных параметров бурения , на основании полученных данных были выявлены зависимости частоты вращения от скорости бурения а также от крепости породы, построены графики. Все данные были сведены в таблицу.

Целью работы является:

1. Расширение области эффективного применения долот режущего типа, в сложноструктурных массивах горных пород при f=2-14.

2. Получение экономического эффекта при сравнении с другими типами долот (шарошечное) исходя от стоимости и средней глубины проходки на буровой инструмент, так как данное долото является наиболее простым в изготовлении, более ремонтопригодным, и дешевым по в сравнении с теми же долотами шарошечного типа.

В заключении обобщены основные результаты, полученные в дипломной работе.

1. Современное состояние техники и технологии бурения на открытых горных работах станками шарошечного и вращательного действия.

Соотношение различных способов бурения зависит от многих факторов (горнотехнических, экономических), но главным образом от горногеологических 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.

Таблица 1.1-Соотношение вскрышных пород с различными прочностными свойствами на разрезах угольной промышленности России

Характеристика горных пород	Коэффициент крепости f	Соотношение вскрышных пород различной крепости на 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, %

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, 1.2 следует, что на угольных разрезах более 60 % объема буримых пород характеризуются коэффициентом крепости $f \leq 7$, 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/см (рис. 1) и снизить стоимость бурения 1 м скважины более чем в 1,5 раза, что характеризуется экономией материальных и энергетических ресурсов по отрасли на несколько миллиардов рублей.

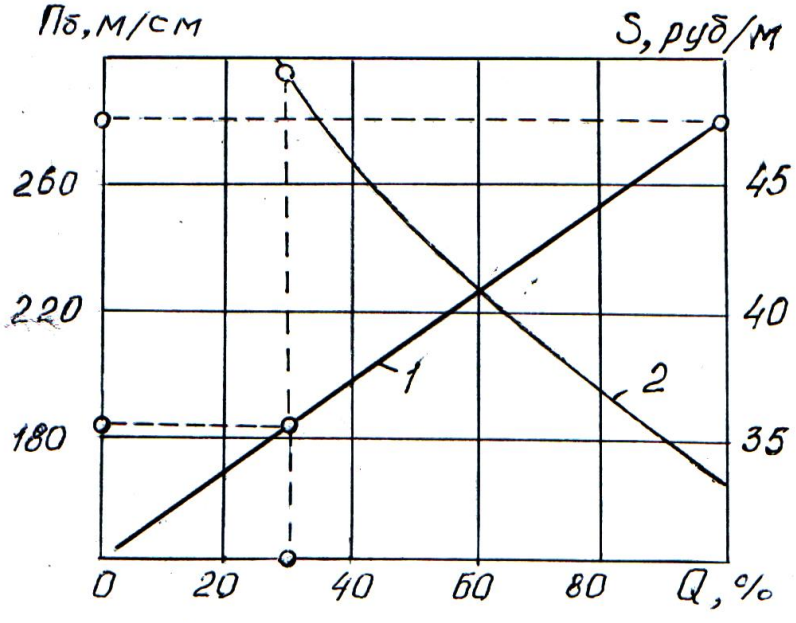

Рис. 1. Графики повышения производительности и снижения стоимости буровых работ на разрезах при увеличении объемов бурения долотами режущего действия

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

Таблица 1.3-Показатели бурения на карьерах России в 2005 – 2010 гг

Группы карьеров	Объемы бурения, млн м		Средняя стоимость шарошечного долота, тыс. руб.	Средняя стойкость шарошечного долота, м	Средний годовой расход шарошечных долот, тыс. шт.	Годовые затраты на шарошечные долота, млрд руб.
	Всего	В том числе шарошечными долотами				
Угольные карьеры.	17	9	20	800	11	0,22
Карьеры цветных металлов, железорудные, алмазодобывающие.	11	10,8	34	200	54	1,83
Карьеры по добыче нерудных полезных ископаемых (горно-химическое и						

металлургическое сырье, строительные материалы)	12	7,5	20	500	15	0,3
Всего	40	27,3	-	-	80	2,35

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 1 500 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.

С учетом отмеченных изменений ориентировочные расчетные данные об ожидаемых (к 2005–2010 гг.) на карьерах России объемах бурения, расходах шарошечных долот и затратах на них приведены в табл. 1.3. Как следует из табл. 3, на карьерах расходуется ежегодно около 80 тыс. шарошечных долот с годовыми затратами более 2 млрд руб. При этом в последнее время преобладает использование долот диаметром 244,5 мм, в

меньшей степени 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.

В угольной промышленности в свое время наряду с бурением резанием и шарошечным использовался ударно-вращательный способ бурения станками «Урал-61» (Южный Кузбасс, Минусинский бассейн и др.).

В настоящее время на разрезах применяется только вращательное бурение шарошечными и режущими долотами благодаря совершенствованию технологии взрывных работ, причем увеличиваются масштабы бурения резанием. Этому способствовала выдвинутая в 1961 г. Учеными НИИОГР в работе идея о применении режущих долот на шарошечных станках с очисткой скважин сжатым воздухом вместо шнековой. Начатые в этом направлении первые опыты НИИОГР в промышленных условиях подтвердили плодотворность данной идеи, поскольку шарошечные станки позволяли изменять осевые нагрузки и скорости вращения режущего долота в более широких диапазонах, чем это возможно на существующих станках СВБ-2М со шнековой очисткой скважин.

1.1. Буровые станки. Развитие и современное состояние

На карьерах России применяют буровые станки типа СБШ (станок буровой шарошечный), СБР (станок бурения резанием), СБУ (станок буровой ударно-вращательного действия) и комбинированные (в типаже обозначенные СБУШ), рассчитанные на использование шарошечных, режущих, пневмоударных и других буровых инструментов. Есть также станки СБШ-250 МНР, предназначенные для шарошечного бурения взрывных скважин с последующим расширением их заряжаемой части термическим расширителем с мощной высокотемпературной огнеструйной горелкой воздушно-керосинового и других типов.

1.2. Станки шарошечного бурения

Начиная с 60-х годов прошлого века наибольшее развитие на отечественных карьерах получили станки шарошечного бурения. На основе исследований Института горного дела (ИГД) им. А. А. Скочинского, МГГУ и Челябинского филиала Всесоюзного научно-исследовательского угольного института (ВУГИ) и на базе испытаний целого ряда экспериментальных моделей шарошечных станков были созданы опытно-промышленные образцы двух характерных типов: БСШ-1 (институт Гипроуглеавтоматизация) и СВБК-150 (Коркинский экскаваторно-вагоноремонтный завод совместно с Челябинским филиалом ВУГИ, 1957 г.).

Станок БСШ-1 лег в основу серийного станка СБШ-200. На основе станка СВБК-150 была выпущена крупная партия станков СВБК-200, которые успешно эксплуатировались на угольных разрезах более 15 лет.
Примененная на станках СВБК-150 и СВБК-200 канатно-полиспастная схема механизма подачи была принята в буровом станке СБШ-250, а затем на станке СБШ-320. Так образовались две базовые модели станков шарошечного бурения – СБШ-200 и СБШ-250, которые проходят длительный этап эволюционного развития до сих пор. Эти станки отличаются принципом построения вращательно-подающих механизмов (ВПМ), определяющим конструктивный облик и технологические особенности (возможности) станка.

Станки группы СБШ-200 имеют роторно-патронную схему ВПМ с нижним стационарным расположением вращателя, передачей осевого усилия и крутящего момента на образующую бурильной штанги через зажимной патрон.

Усилие подачи создается двумя гидроцилиндрами, питающимися от одного или двух насосов нерегулируемой производительности с предохранительным клапаном. К преимуществам такой схемы относятся стационарность привода вращателя, возможность значительного облегчения мачты, большая устойчивость станка при передвижении. К недостаткам можно отнести: ограниченность величины осевой нагрузки и крутящего

момента из-за проскальзываемых кулачков патрона (особенно в зимних условиях); большие затраты времени на вспомогательные машинные операции; невозможность применения штанг различных диаметров и тем более шнековых штанг.

Станки группы СБШ-250 имеют схему передачи осевого усилия и крутящего момента на торец штанги от шпинделя (с гидромуфтой) редуктором вращателя, который перемещается вдоль мачты канатным полиспастом. Усилие подачи создается от двух гидроцилиндров.

К преимуществам торцевой (шпиндельной) схемы относятся: простота, надежность, возможность создания больших осевых усилий и крутящих моментов, а также благоприятность применения штанг (трубчатых и шнековых) и долот различного диаметра. Недостаток схемы – необходимость утяжеления мачты, по которой должен перемещаться тяжелый крупный вращатель, что обусловливает значительную массу станков, периодические перемещения на большую высоту пневматических, гидравлических шлангов и электрических кабелей и др.

Применяемые на станках типоразмеров СБШ -200 и СБШ–250 гидроприводы подачи, состоящие из маслонасоса нерегулируемой производительности с предохранительным клапаном и гидроцилиндров с дросселем на сливе, имеют жесткие (неэластичные) характеристики, что необходимо учитывать при разработке и оценке режимов бурения пород средней крепости и слабых в особенности режущими долотами. Более благоприятны системы подачи с тяговой лебедкой, как это имеет место на станках СБШ–250/270 (РД-10) и СБШ–320. Стойкость буровых долот при системе подачи с тяговой лебедкой оказывается более высокой.

Создание и совершенствование отечественных буровых станков осуществлялось на основе их типоразмерного ряда для механического бурения взрывных скважин на открытых горных разработках (табл. 1.4).

По мере освоения конструкции СБШ типаж был расширен по нормативным показателям и моделям станков (табл. 1.5), в соответствии с которым был издан ряд модификаций станков двух указанных групп.

Совершенствование станков осуществляется в следующих направлениях: увеличение длины штанг до 12–20 м (в том числе возможность бурения одной штангой длиной 20 м); переход на питание приводов станка на высокое напряжение, широкое применение гидроприводов механизмов;

совершенствование приводов вращателя и систем автоматического управления; применение кабельных барабанов; увеличение производительности компрессорных станций и т. д.

По станкам типоразмера СБШ-200 были изготовлены модернизированные модели 2СБШ-200Н (2СБШ-200-32), 3СБШ-200-60, 4СБШ-200-40, 5СБШ-200-55. Из них наилучшие результаты имеют станки 2СБШ-200Н и 3СБШ-200-60, среднемесячная производительность которых на разрезах Кузбасса почти в два раза превышает производительность более мощных станков СБШ-250МНА и СБШ-250-55 в тех же условиях. Остальные модернизации станков этого типоразмера не получили развития.

По станкам второй группы (типоразмер СБШ-250) самой отработанной является модель СБШ-250МНА-32, имеющая наибольшее распространение. Другие модификации этого станка (СБШ-250-36, СБШ-250-20, СБШ-250-55) пока не нашли широкого применения либо были сняты с производства (СБШ-250- 55). Перечень станков, выпускаемых ОАО «Рудгормаш» (г. Воронеж) в настоящее время, показан в табл. 1.6.

Таблица 1.4.-Типы и основные параметры станков для бурения скважин на открытых работах

Наименование параметра	Норма для типоразмеров							
	СБШ-250	СБШ-320	СБР-125	СБР-160	СБР-100	СБУ-125	СБУ-160	СБУ-200
Условный диаметр скважины, мм	250	320	125	160	100	125	160	200
Глубина бурения, м	75	110	10	25	4	10	30	40
Частота вращения долота (максимальная), об/мин	150	150	150	200	76	75	60	60
Нагрузка на долото (максимальная), кН	300	300	40	65-80	7	20	25	30
Энергия удара пневмоударника, Дж					90	150	280	420
Масса станка, т	35	55	10	25	4	10	30	40

Таблица 1.5-Типаж станков СБШ для бурения взрывных скважин на открытых горных работах

Модель базового станка	Д, мм	Н, м	α, град	$T_к$,ч	f	П, м/ч	М, кг/м^3	Э, Мдж/м^3
Типоразмер СБШ-160								
СБШ-160-46	160	48	0;15;30	9000	8-10	20	14,2	1080
Типоразмер СБШ-200								
2СБШ-320-32	200	32	0;15;30	11000	8-10	20	7,2	936
4СБШ-200-40	200	40	0;15;30	11000	8-10	18	8,8	1026
2СБШ-200Н-40	200	40	0;15;30	11000	8-10	18	8,8	1026
3СБШ-200-60	200	60	0;15;30	12000	8-10	23	6,9	846
СБШ-299055	200	55	0;15;30	15000	8-10	24	6,7	972
Типоразмер СБШ-250								
СБШ-250-МНА-32	250	32	0;15;30	11500	12-14	15	7,7	1044
СБШ-250-20*	250	20	0;15;30	16500	12-14	22	4,3	828
СБШ-250-55	250	55	0;15;30	16500	8-10	22	3,28	745
Типоразмер СБШ-320								
СБШ-320-32 (СБШ320-М)	320	36	0;15;30	20000	16-18	13	5,3	1548
Типоразмер СБШ-400								
СБШ-400-55 (СБШ-320/380НС)	400	55	0;15;30	22500	10-12	25	2,3	1002
СБШ-400-20*	400	20	0;15;30	22500	10-12	29	2,6	864

Таблица 1.6-Станки ОАО «Рудгормаш»

Тип станка	Цена, дол. США
СБШ-250МНА-32 (24 исполнение)	349 394
СБШ-250МНА-32 (с сухим пылеулавливанием)	369 085
СБШ-250МНА-32 (высоковольтное питание)	386 254
СБШ-190/250-60	378 672
СБШ-РД-10-00	625 964
СБШ-РД-10-02	821 192
СБШ-РД-10-04	661 411
СБШ-РД-10-08	625 062

Для бурения глубоких контурных скважин и технологических взрывных скважин, а также скважин специального назначения указанным предприятием выпущен станок СБШ-190/250-60.

Для бурения на уступах, представленных крепкими породами крупноблочного строения, а также на объектах транспортного, гидротехнического строительства и на карьерах небольшой производственной мощности нужен легкий станок типа СБШ-160. Существуют легкие станки этого класса типов БТС-2, БТС-150, БТС-150М, смонтированные на тракторе и имеющие прицепной компрессор. Был создан опытный образец двухшпиндельного станка 2СБШ-160, не получивший развития. На некоторых карьерах для глубокого бурения скважин диаметром 110–125 мм использовали станки СБУ-125 с погружными пневмоударниками, но их производительность была в два-три раза ниже, чем у шарошечных.

Фирмой «Транстехновация» и Московским университетом путей сообщения созданы опытные образцы станков СБШ-160 и БТС-150К с установленными на платформе компрессором и мачтой с механизированной сборкой-разборкой бурового става. Эти станки при использовании противовибрационных буровых ставов могут бурить с высокими скоростями вращения долот (табл. 1.7).

Таблица 1.7-Технические характеристики станков шарошечного бурения с повышенной скоростью вращения долота

Технические данные	БТС-150М	СБШ-160	БТС-160К
Диаметр скважины, мм	150	160	160; 190
Глубина бурения, м	32	32	32
Максимальное усилие подачи, кН	120	150	180
Частота вращения бурового става, мин	130; 360	0–200	0–350
База станка	Трактор Т170М01	Трактор Т170М01	Тележка экскаватора ЭО-4225
Масса, т	21	25	35

В 2002 г. ОАО «Рудгормаш» изготовил и поставил на испытания буровой станок СБШ-160 «Доломит».

До настоящего времени окончательно не решена проблема создания конструкций станков тяжелого типа. На отдельных карьерах находятся в эксплуатации тяжелые станки для бурения скважин диаметром 320 мм с роторной схемой – БАШ-250 (320), с торцовой схемой – СБШ-320, опытные модели станков «Руслан» на пневмоколесном ходу, СБШ-400 для долот диаметром 395 мм.

Фирма «Бюсайрус Ири» (США) выполняет в основном мощные электроприводные шарошечные станки 47-R, 60-R, 65-R, 67-R и другие для долот диаметром, главным образом, 273, 311, 381, 405 мм, массой 140–180 т, мощностью 600–770 кВт. Длина штанг составляет 15–19,8 м. Тип ВПМ шпиндельный (торцовый) с перемещением каретки вращателя вдоль мачты с помощью зубчато-реечного механизма. Станки 60/61-R имеют реечно-цепную подачу.

Станки шарошечные фирмы «Марион» (США) имеют верхний электрический вращатель, цепную подачу, действующую от гидромоторов. На разрезе Нерюнгринский эксплуатировались станки М4-СС (диаметр долота 311 мм, три штанги длиной по 16,7 м, общая мощность 410 кВт, масса 120 т). На этом же разрезе в 1997 г. введен в эксплуатацию станок шарошечного

бурения типа ДМ-Н фирмы «Ингерсол-Ранд» (США). Технические характеристики ДМ-Н показаны в табл. 1.8.

Таблица 1.8-Сравнение показателей ряда станков фирмы «Ингерсол-Ранд» со станком СБШ-250

Показатели	СБШ-250	ДМ-М2	ДМ-Н
Диаметр скважины, мм	244,5; 270	229; 270	229–381
Глубина бурения, м	32	53,4	76
Угол наклона скважины, град	0; 15; 30	0,5; 10; 20; 30	0,5; 10; 20; 25; 30
Осевое давление на забой, кН	300	340	497
Частота вращения долота, мин–1	0–150	0–150	0–150
Момент на долоте, кН·м	6	11,7	17,6
Скорость вращения бурового снаряда, м/мин:			
подъем	7	25,6	до 20
спуск	8	25,6	до 20
Производительность, км/г	50	120	102 – 140
Установленная мощность, кВт	398	130	373
Длина штанг, м	8	10,7	9; 13,7; 16,8; 19,8
Масса,т	66–71	56,7	111

Данные машины рассчитаны на возможность бурения скважин различного диаметра – от 229 до 381 мм. Они могут комплектоваться как дизельным, так и электрическим приводом, штангами длиной 13,7; 15,24; 16,7 и 19,8 м, компрессорами производительностью 29,7; 39,6 и 73,6 м3/мин. Вращение долота осуществляется от двух аксиальных поршневых гидравлических двигателей переменной производительности мощностью по 231 кВт каждый. Скорость вращения плавно изменяется от 0 до 150 об/мин при максимальном моменте 17 890 Н*м.

Таблица 1.9-Технико-эксплуатационная характеристика станков типа СБШ

Показатели	Типы станков		
	СБШ-200Н (СБШ-200-32)	СБШ-250-МНА	СБШ-320М (опытный)
Диаметр скважин, мм	215,9; 244,5	244,5;269,9	320
Глубина бурения, м	32	32	36
Длина штанги, м	8	8/12	17,5
Ход непрерывной подачи, м	1	8	17,5
Усилие подачи, кН	250	300	500
Частота вращения, с □1	0,2–4	0,2–2,5	0–2,1
Мощность привода, кВт:			
вращателя	52	68	100
компрессора	150	200	400
Расход сжатого воздуха, м3/с	0,41	0,53	0,83
Масса станка, т	50	71,5	110

Среднемесячная производи-тельность на разрезах, тыс. м	2,6	3,8	2,5
Годовой объем работ, тыс. км	2,28	0,73	0,03

Имеются системы мокрого и сухого пылеподавления, центральной смазки и пожаротушения, дистанционного управления перемещением установки, автоматического горизонтирования и бурения. Машинист работает с двумя системами управления: с экраном дисплея на жидких кристаллах и ручным терминалом. Системы легко переключаются с автоматического на ручное управление.

Тяжелые зарубежные станки имеют высокую стоимость (от 1,5 до 2,5 млн дол. США и более). Стоимость отечественного станка РД-10 составляет 370 тыс. дол. США, а опытный тяжелый станок СБШ-320 производства Ижорского завода имеет стоимость 625 тыс. дол США. Однако, по мнению специалистов ,несмотря на более высокую производительность и надежность в эксплуатации зарубежных машин (не менее чем в 4–5 раз) по сравнению с отечественными станками, расходы на обуривание 1 м3 пород будут примерно одинаковыми.

Следует отметить, что в эксплуатации находятся наиболее отработанные и серийные отечественные станки средней массой СБШ-200Н, 3СБШ-200-60 и СБШ-250 МНА. Их основные параметры и характеристики даны в табл. 1.9. Станки СБШ-320 и СБШ-160 находятся в стадии освоения, имеется несколько опытных переходных моделей, работа над которыми не завершена.

1.3. Станки вращательного бурения резанием

Обратимся к рассмотрению станков вращательного бурения резанием (СБР). Среди станков вращательного бурения резанием со шнековой очисткой скважин длительное время наиболее применяемым являлся станок СВБ-2М, созданный на базе станка СВБ-2 и имеющий весьма низкую степень механизации. Станок СВБ-2М имеет короткие шнеки (1,85 м), наращиваемые и разбираемые вручную. Осевое усилие на долото у первых моделей

составляло всего 18 кН (СВБ-2), затем 50 кН, число оборотов долота – 120 и 200 об/мин по условиям обеспечения шнековой очистки скважины.

Взамен станка СВБ-2М был создан станок СБР-160, а затем его модификация СБР-160А-24, которая была в 3 раза тяжелее и 5 раз дороже своего предшественника (табл. 1.10). Длина штанги была увеличена до 8,25 м, усилие подачи увеличено до 80 кН. Трудоемкие операции по сборке-разборке бурового става облегчились, но не исключили ручных операций из-за сохранения пальцевого соединения штанг. Производительность выросла незначительно, а себестоимость бурения возросла в 1,5–2 раза. Модернизированный вариант станка СБР-160А-24, выпускаемый под маркой СБР-160Б-32, имеет глубину бурения до 32 м и оснащен кабельным барабаном.

Таблица 1.10-Технические характеристики станков вращательного бурения резанием

Показатель	СБР-160А-24	СБР-160Б-32	2СБР-160-24	СВБ-2М
Диаметр скважины, мм	160	160	160	160
Глубина скважины, м	24	32	24	25
Направление бурения к верти-кали, град	0; 15; 30	0; 15; 30	0; 15; 30	0
Частота вращения долота, с–1	1,7; 2,2; 3,3	1,7; 2,2; 3,3	1,7; 1,,4; 3,3	2;3,3
Длина штанги, м	8	8	4	1,85
Установленная мощность, кВт	184	184	112	72
Мощность вращателя, кВт	36/40/50	36/40/50	-	40
Крутящий момент, кН·м	12	12	-	10
Усилие подачи, кН	80	80	70	50
Скорость подъема става, м/с	0-0,05	0,05	0,09	0-0,16
Скорость опускания става, м/с	0,5	0,5	0,37-0,53	-
Масса, т	25	35	18	9,25

Более совершенным является станок 2СБР-160-24, рассчитанный на применение высокомоментного гидродвигателя вращателя. Используются

укороченные шнековые штанги длиной 4 м с резьбовым соединением, что позволяет полностью механизировать процесс сборки-разборки бурового става, как и в станках типа СБШ. Эти станки могут переоборудоваться для использования шнекопневматической очистки скважин с подачей сжатого воздуха на забой скважины через внутренний канал штанг от компрессора. Совершенствование станков СБР продолжается. Конкуренцию станкам СБР составляют станки типа БТС и осваиваемый станок СБШ-160.

1.4. Пути совершенствования исполнительных органов станков вращательного бурения для сложноструктурных породных массивов

Поиск путей совершенствования исполнительных органов станков вращательного бурения для сложноструктурных породных массивов требует изучения научных публикаций, анализа информации, а также применения математического аппарата и методов математического моделирования. Изучение научных публикаций и патентный обзор необходимы для получения достоверной информации, которую можно использовать для дальнейших исследований.

Анализ является основным инструментом научного исследования и необходим для вычленения искомой информации и формулирования выводов. С помощью математического аппарата и математического моделирования возможно получить наиболее полную картину напряженно-деформированного состояния (НДС) рабочего инструмента при использовании различных систем подачи и разработать рекомендации. Представленные способы управления режимами бурения позволяют разработать конструкцию линейного двигателя и механизма подачи с заданным принципом действия. Результаты анализа НДС необходимы для проектирования рабочих органов и механизма управления режимами бурения технологических скважин буровыми станками. Рекомендации по разработке рабочих органов и механизма управления режимами бурения необходимы для подачи заявки на патент.

Разработка линейного двигателя для системы подачи бурового станка, механизма управления режимами бурения технологических скважин буровыми станками, а также использование теории и критериев подобия и теории физического моделирования необходимы для изготовления лабораторного стенда и исследования характеристик двигателя и способов управления режимами бурения.

Лабораторный стенд для исследования характеристик двигателя и способов управления режимами бурения необходим для построения характеристик механизма подачи, а также разработки и исследования способов управления режимами бурения технологических скважин буровыми станками. В результате применения перечисленных инструментариев, методов и оборудования проведенные исследования позволят разработать комплекс мероприятий и технических решений, которые дадут возможность увеличить ресурс рабочего инструмента при бурении различных пород.

2. Современное состояние и пути совершенствования буровых инструментов

В основе всего промышленного производства стоит горная промышленность, осуществляющая добычу полезных ископаемых и обеспечивающая сырьевые потребности не только России, но и других стран. Основные объемы горной массы подготавливаются к выемке буровзрывным способом, одним из главных технологических процессов которого является бурение взрывных скважин.

Буровой комплекс на открытых горных работах представляет собой крупную ресурсоемкую систему, в которой в настоящее время преобладает экстенсивное развитие. За последние годы рост производительности бурового оборудования практически прекратился и происходит значительное непрерывное увеличение затрат на буровые работы.

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 более 1500 ед. и расходования в год 160 – 200 тыс. буровых инструментов. Ежегодные эксплуатационные затраты могут достигнуть 6 млрд. руб., из них примерно 60 – 65 % составят затраты на буровой инструмент. Поэтому создание эффективных буровых инструментов и технологий их применения на карьерах является важной научно-технической проблемой.

Буровой инструмент является самым высоконагружаемым и ответственным элементом бурового станка, определяющим способ бурения в соответствии со свойствами буримых пород. Скоростные качества долота, его износостойкость и стоимость формируют главный критерий эффективности буровых работ – удельные затраты на бурение 1 м скважины, высокий уровень которых не соответствует современным требованиям к использованию ресурсов предприятий.

Большие расходы на буровой инструмент объясняются преимущественно использованием на карьерах ресурсоемких (энергоемких) и сложных шарошечных долот (свыше 80 % от всех объемов). Их стоимость непрерывно повышается, особенно долот увеличенного диаметра (244,5 – 320 мм), масштабы потребления которых интенсивно возрастают по технологическим причинам. Стойкость отечественных шарошечных долот в 5 – 6 раз ниже лучших зарубежных образцов.

При бурении горных пород применяют три основных типа бурового инструмента: шарошечные долота ударные буровые коронки и резущие долота.

Большим недостатком шарошечных долот является их низкая адаптируемость к изменяющимся условиям бурения (по физико-механическим свойствам горных пород) Они имеют низкую ремонтопригодность, что значительно увеличивает стоимость бурения.

Ударные буровые коронки имеют высокую стойкость в породах любой крепости. Однако ударное бурение уступает вращательному по производительность рабочего процесса. Различные способы приводят к усложнению бурового инструмента и ограничению его стойкости. В результате снижается устойчивость скважин, возникают явления заклинивания коронок и снарядов, в процессе бурения увеличивается запыленность и возрастает шум.

В породах некрепких и средней крепости более высокие показатели обеспечивают режущие долота. С позиций удельной энергоемкости и разрушение гп процесс резания во много раз эффективнее процесса вдавливания. Однако, вследствие интенсивного износа, инструменты режущего типа в настоящее время имеют ограниченную область применения как в глубоком бурении, так и на карьерах.

Практика показывает, что выпускаемые шарошечные долота, конструктивные и ресурсные параметры которых изначально рассчитаны на жесткие требования проходки глубоких скважин, не могут соответствовать всем условиям бурения неглубоких взрывных скважин.

В горных породах с относительно небольшим коэффициентом крепости (f = 2 - 10), составляющих на открытых горных работах значительную долю (от 25 – 35 % на добыче руд, алмазов и строительных материалов до 85 – 90 % на угольных разрезах), в 1,5 – 3 раза бóльшую производительность и экономичность по сравнению с шарошечными долотами могут обеспечить более дешевые и простые режущие долота, а в сложноструктурных породных массивах – долота с зубчато-дисковым вооружением и различные комбинированные инструменты.

Работа бурового инструмента органически сопряжена с технологическими процессами бурения и характеристиками исполнительных механизмов бурового станка. Поэтому необходимо обеспечивать согласованность параметров создаваемых новых моделей буровых инструментов с режимными параметрами процессов разрушения пород и

удаления продуктов разрушения из забоя скважины, а также с параметрами буровых станков (механизмов вращения, подачи бурового инструмента и очистки скважины).

В процессе бурения со шнекопневматической очисткой скважин в указанных условиях наблюдается интенсивное изнашивание шнековых штанг и увеличение потребляемой мощности, особенно с ростом диаметра и глубины скважин.

Выпускаемые ШД являются неремонтопригодными, не подлежат восстановлению и 80 % из них преждевременно выходят из строя из-за износа опор и вооружения. Ресурс долот при этом остается невыработанным. Кроме того, ШД имеют на вооружении дорогостоящий металлокерамический твердый сплав (ВК8В, ВК11ВК и др.), и до настоящего времени нет эффективной технологии его извлечения из отработанных шарошечных долот.

Отсутствует технология централизованной переработки и реставрации изношенных долот, в связи с чем остро стоит вопрос разработки методов вторичных конструктивных преобразований БИ и технологии его утилизации.

Таким образом, важное значение приобрела научная проблема теоретического обоснования и разработки эффективных БИ и целого ряда технологий их использования при бурении на ОГР, решение которых внесет существенный вклад в повышение уровня рентабельности горных предприятий. 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.

На рисунке 2 показаны рекомендуемые в литературе ориентировочные области эффективного использования механического инструмента в

зависимости от крепости горных пород . Из диаграммы видно, что каждая в отдельности модель инструмента имеет довольно ограниченные границы эффективной работы. Особенно это касается шарошечных долот. В силу специфичности горно-технологических условий бурения на карьерах (мелкие скважины с чередованием пород разной крепости) буровое долото часто работает в области, не соответствующей условиям его применения. Это приводит к снижению технических и, как следствие, экономических показателей бурения.

Исследования и данные практики бурения приводят к выводу, что буровое долото является основным компонентом, который способен кардинально повысить эффективность всего процесса бурения, т.к. именно буровое долото непосредственно определяет характер взаимодействия буровой машины с горной породой.

Буровой инструмент является самым высоконагружаемым (особенно шарошечный) и ответственным элементом буровой машины, за жизненный цикл которой (практически 10 лет) затраты на израсходованные долота, как правило, в несколько раз превышают стоимость самой машины.

Особенно велика эта разница (в 5–8 раз) для тяжелых станков СБШ, применяемых в породах высокой крепости. Это объясняется высокой стоимостью неразборных шарошечных долот, которая за последние годы возросла в сотни раз не пропорционально стоимости станков.

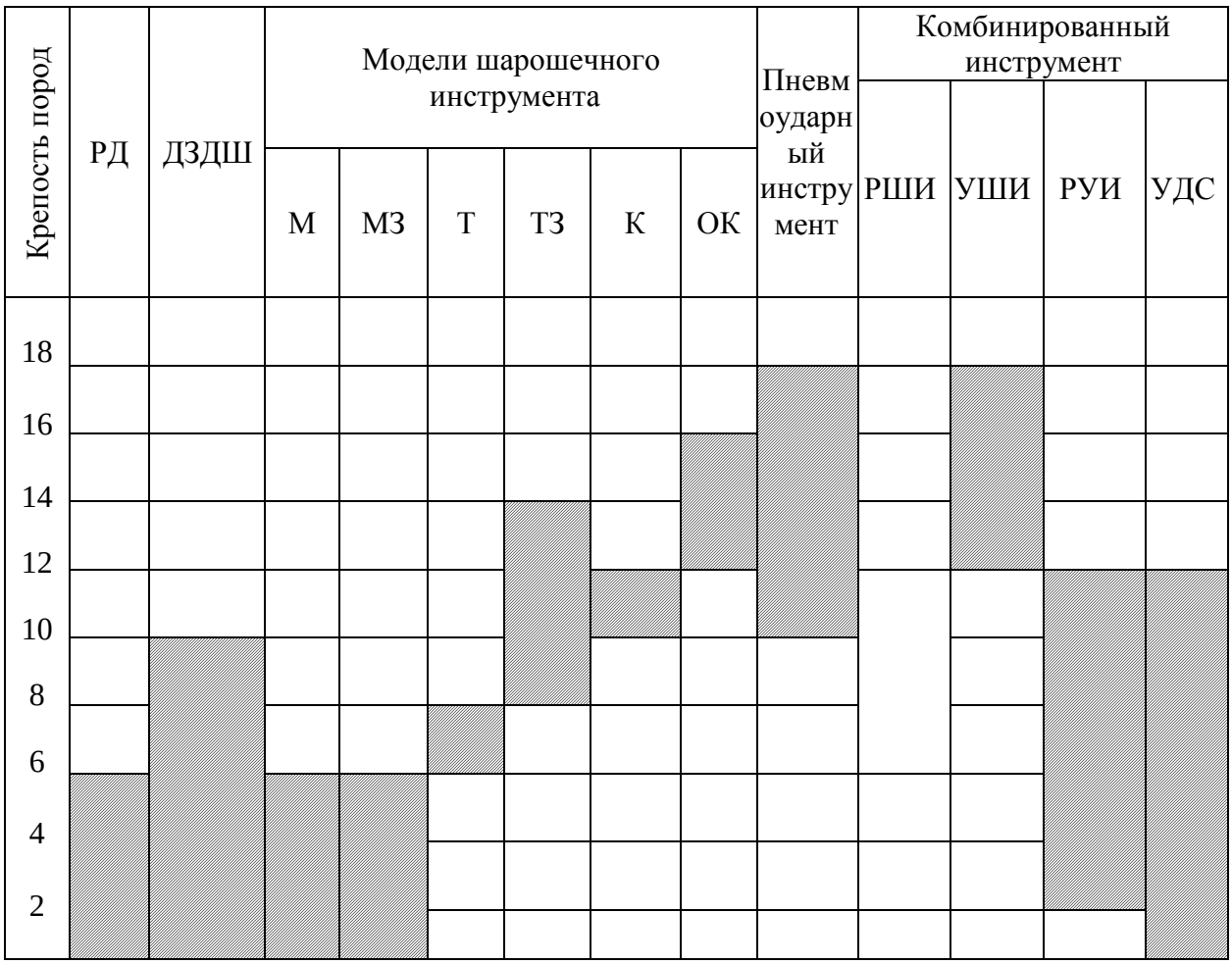

Рисунок 2. Область эффективной работы бурового инструмента: РД – режущие долота с неподвижными резцами; ДЗДШ – долота с зубчато-дисковыми шарошками; РШИ – режуще–шарошечный инструмент; РУИ – режуще–ударный инструмент; УДС – ударно–дисковый снаряд; УШИ – ударно-шарошечный инструмент

В настоящее время на карьерах используют почти исключительно трехшарошечные долота, состоящие из трех секций, соединенных сваркой. Каждая секция состоит из лапы, на которой касательно на цапфе смонтирована шарошка конусной формы на опоре, состоящей из трех подшипников качения: большого роликового, малого роликового и шарикового ряда замка.

Применяемый в настоящее время отечественный и зарубежный шарошечный буровой инструмент является неразборным.

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 при невыработанном ресурсе корпуса долота.

В настоящее время имеются патенты на создание алмазных подшипников. Алмаз обладает исключительной износостойкостью и при этом он быстро выводит тепло. Однако подобные методы повышения надежности опор приводят к значительному удорожанию ШД, которое может оказаться экономически не выгодным при проходке мелких взрывных скважин.

Основные причины выхода из строя опор - проникновение породной мелочи через зазор между шарошкой и лапой в полость подшипников, что приводит к зашламовыванию опоры, повышенному износу подшипников, снижению стойкости опоры и ее заклиниванию [23]. В связи с изложенной проблемой кафедрой «Горные машины и комплексы» СФУ разработана принципиально новая опора шарошечного долота выдерживающая более высокие осевые нагрузки.

При оценке новшеств в конструкции ШД следует исходить из обеспечения оптимального соотношения между скоростью бурения и затратами на бурения 1 м скважины.

Технологические и технические недостатки применяемых ШД наиболее рельефно проявляются на угольных разрезах, где преобладают сложноструктурные уступы с частым чередованием пород с коэффициентом крепости в диапазоне f = 1–12. В таких условиях скоростные качества шарошечного бурения могут проявляться только при соответствующем чередовании долот типов М, МЗ, Т и ТЗ.

Главным недостатком шарошечных долот является слабая адаптация конкретной конструкции ШД к изменению свойств буримых пород, что вынуждает иметь много типов ШД. Однако в пределах мелкой скважины менять долота нецелесообразно из-за больших потерь производительности. Поэтому при бурении сложноструктурных уступов преимущества шарошечного способа могут теряться. В связи с этим, как правило,

используют долота типа Т, рассчитанные на слои более крепких пород (f = 8–10). В итоге потенциальные возможности шарошечного способа не используются.

Показатели удельных затрат и стойкости даже однотипных долот, выпускаемых различными заводами, в равных условиях эксплуатации отличаются в 2-3 раза и более. Еще большие различия обнаруживаются при сравнении отечественных и зарубежных ШД, которые могут иметь в 3-7 раз большую стойкость, но быть многократно дороже отечественных.

Зарубежные конструкции шарошечных долот более разнообразны по ассортименту и отличаются от отечественных хорошим качеством и высокой стоимостью.

Данные о результатах эксплуатации на отечественных карьерах противоречивы. По одним сведениям трехкратное увеличение стойкости сопровождается трехкратным увеличением стоимости долот (по сравнению с отечественными) и не дает экономического эффекта, а по другим данным использование более дороги х зарубежных долот оказывается экономически выгодным. В этом отношении характерны опытные данные Р.И. Сухова полученные в условиях Главного карьера АО «Качканарский ГОК» при испытании на станках СБШ–250 МН-32 шарошечных долот диаметром 244,5 мм фирмы «Смит» в сравнении с дешевыми отечественными долотами. Буровой блок был представлен породами с коэффициентом крепости f = 14.

Долота выходили из строя по причине износа подшипников опор. Испытания показали, что трехкратное увеличение стойкости (проходки на долото) сопровождается трехкратным увеличением стоимости долот и не дает экономического эффекта, т.к. скоростные качества долот практически равноценны, а затраты времени на замену долота незначительны. Удельные затраты на буровой инструмент на 1 м бурения оказываются одинаковыми.

Аналогичные результаты получены при испытаниях отечественных и зарубежных шарошечных долот на карьерах «Удачный» и «Юбилейный» АК

«АЛРОСА». Анализ стоимости бурения одного метра скважины долотами ВН-50 и MAG 43CA (изготовитель фирма «Бейкер Хьюз»), 250,8ТКЗ-ПГВ и 244,5 Т-ПГВ-Р221 (ОАО «Волгабурмаш»), 244,5 ТКЗ-ПВ W2 и 244,5 ТПВ W3 (АО «Уралбурмаш») показал, что этот показатель по долотной составляющей для отечественных и импортных долот, при существенно различающихся показателях проходки, отличается незначительно и находится в пределах 15–18 руб/м (карьер «Удачный»), причем на карьере «Юбилейный» самые лучшие стоимостные показатели (7–8 руб/м) получены для отечественных долот производства «Волгабурмаш».

Отрицательные результаты получены на Мазульском карьере известняка (ОАО «Ачинский глиноземный комбинат») при испытаниях шарошечных долот Terra-5 и Terra-6 фирмы «Sandvic» в сравнении с отечественными долотами ТПВ-244,5 и ТКЗ-244,5, цена которых ниже зарубежных в 7–9 раз. Не исключено, что в ряде условий могут быть получены положительные результаты, особенно в глубоком бурении.

В связи с изложенными обстоятельствами возникает целесообразность разработки таких конструкций бурового инструмента, которые, имея высокую ремонтопригодность и разборность, позволяют эксплуатацию отдельных узлов и деталей (корпуса, ниппеля, опор, породоразрушающих элементов, вооружения) с равным ресурсом, обеспечивающим повышение их надежности, снижение затрат на изготовление и себестоимость бурения единицы длины скважины.

Попытки создания разборных ШД предпринимались давно, но в предшествующих работах разработчики не смогли отойти от традиционной формы лап секций, несущих шарошки. В большинстве конструкций корпуса скрепляли лишь ограниченную верхнюю часть секций, а сильно нагруженная прицапфовая нижняя часть лапы оставалась вне корпуса. Поэтому не обеспечивалось восприятие больших крутящих моментов, превышающих у тяжелых станков 10–15 кН·м. К тому же тонкие козырьки лап шарошечных долот слабо защищены от износа.

Для карьеров целесообразно создавать специализированные шарошечные долота, так как при проходке мелких взрывных скважин затраты времени на замену долота при его отказе ничтожны. Исходя из этого в Государственном университете цветных металлов и золота (ГУЦМиЗ), а в настоящее время институт горного дела, геологии и геотехнологий СФУ, был разработан ряд новых конструкций специализированных шарошечных и шарошечно-дисковых долот для карьеров и разрезов. Они являются разборными, имеют новые опоры и корпус многократного использования на нем шарошек различного вооружения.

2.1 Режущие долота для бурения со шнековой очисткой скважины

Используются для бурения скважин преимущественно диаметром 160 (реже 125 мм) в слабых и средней крепости породах с f<5-6, обеспечивая в этих условиях в 2-2,5 раза большую производительность.

При шнековой очистке режущие долота в процессе работы на забое скважины погружены в буровой шлам, поэтому армируются твердыми сплавом, как правило, а всю высоту корпуса, который выполняют как можно короче.

Наиболее распространены долота двух типов: СБВ-2-23-03Н2 (НПИ-2) И НПИ-6/60, серийно выпускаемые Карпинским машиностроительным заводом. Близкими к долоту НПИ-2 по конструкции и характеристике
являются долота типов РК-4м и 1ЗДМ-160Ш (Иркутского технического университета),а также ДЛ-160Ш, разработаные в НИИОГР. Средние показатели бурения долотами НПИ-2 и НПи-6/160 на примере разреза Ирша-Бородинский приведены в табл.2

Таблица 2 - Средние показатели бурения долотами НПИ-2 и НПИ-6/160 на разрезе Ирша-Бородинский

Показатели	Всего	По типам долот		По типам станков	
		НПИ-2	НПИ-6/160	БТС-150	СБР-160
Годовой объем бурения, м	478340	162806	316034	162806	316034
Затраты на долота, млн руб.	0,846	0,678	0,168	-	-
Затраты на шнеки, млн руб.	1,4	-	-	0,3	1,1
Стоимость долота, руб.	-	746	2583	-	-
Затраты по буровому инструменту на 1 м скважины, руб./м	-	6	4	-	-
Средняя производительность в смену, м	300	-	-	270	330
Стоимость бурения 1 м, руб.	-	-	-	11,7	10,2
Стоимость машино-часа работы станка, руб.	-	-	-	131,2	176.3
Стойкость долот, м	-	156-200	4000-5000	-	-

2.2 Режущие долота для бурения с пневматической и шнекопневматической очисткой скважины

Подача сжатого воздуха на забой скважины устраняет многие ранее отмеченные негативные явления в забойном процессе, присущие шнековой очистке, а также позволяет устанавливать рациональные скорости резания, которые не могли достигаться из-за вынужденно высоких скоростей вращения шнеков.

По сравнению со шнековым бурением на режущие долота типа ДР усдельная осевая нагрузка на 1 см долота была увеличена в 2,2 раза, а скорость резания крепких пород уменьшена в 1,3 раза. Такой силовой режим резания в сочетании с немедленным удалением буровой мелочи из забоя скважины и охлаждающим влиянием потока сжатого воздуха обеспечивет снижение интенсивности изнашивания резцов и удельного износа. Тем самым существенно расширяется область эффективного использования режущих долот, становится экономически целесообразным применять бурение резанием в массивах, содержащих достаточно мощные слои крепких пород.

Большой комплекс исследовательских и проектно-конструкторских работ по созданию режущих долот для бурения с продувкой и внедрению их

на карьерах объединений «Востоксибуголь», «Якутзолото», «Северовостокзолото» и др. выполнен в Иркутском государственном техническом университете. При этом установлено, что применение разработанных долот 3РД-215,9; 3РД-244,5 и 4РД-244,5 в сравнении с шарошечными, позволяет снизить нагрузку на двигатель в 2 раза, увеличить сменную производительность в 2,2 раза.

В странах дальнего зарубежья режущие долота используются в значительно меньшей степени, чем шарошечные.

Особым видом режущего бурового инструмента являются буровые долота типа ДЗДШ (долота режущие с вращающимися резцами), оснащенные зубчато-дисковыми шарошками. Сочетающими принцип работы режущего бурового инструмента и шарошечных долот.

2.3 Специализированные буровые инструменты

Специфические условия бурения неглубоких взрывных скважин определяют необходимость создания типоразмерного ряда новых видов специализированных буровых инструментов (СБИ), обладающих качественно иными технологическими свойствами, удовлетворяющими потребительским требованиям к технологическому процессу ведения буровых работ на карьерах.

Конструктивные решения буровых инструментов определяют способы и режимы бурения скважин, которые во многом обуславливают экономику буровых работ. Одним из основных критериев оценки эффективности работы буровых долот является их стойкость (долговечность), повышение которой приводит к многократному увеличению их стоимости и удорожанию удельных затрат, приходящихся на 1 м буровой скважины. такой подход к бурению неглубоких скважин на открытых горных, земляных и строительных работах является неоправданным.

По способу воздействия породоразрушающих элементов на породу специализированный буровой инструмент можно разделить на три основных вида (рис. 3): режуще-сдвигающего (долота ДЗДШ, ДДР, ДДС, ДПВ),

режуще-скалывающе-раздавливающего (долота ДД-СР, ДР-С, ДШВ) и ударно- скалывающего (ДШР, ДШ-РС, ДШС) видов.

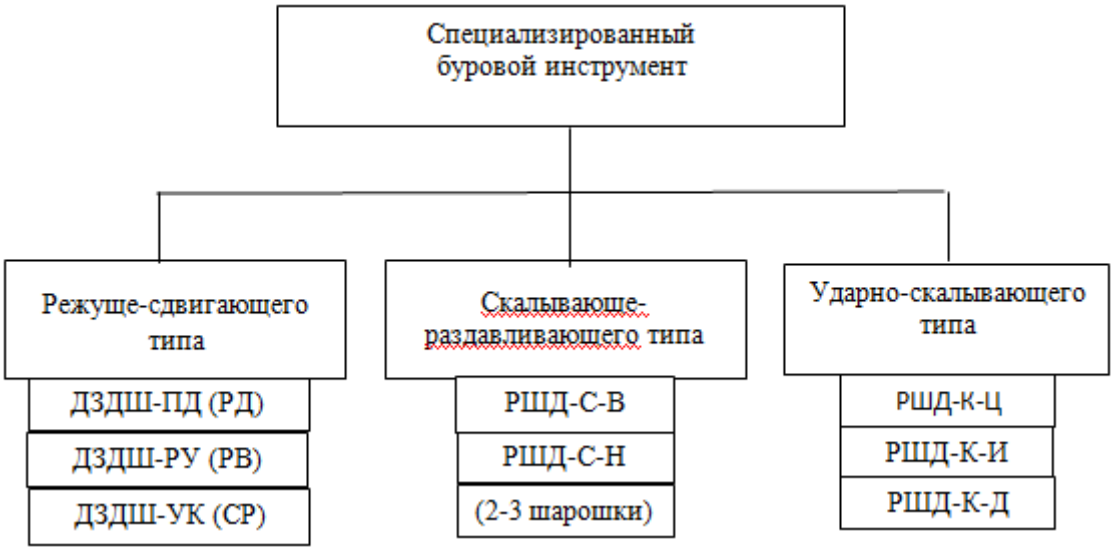

Рисунок 3. Способы воздействия породоразрушающих элементов специализированного бурового инструмента на пород. ДЗДШ – разборные долота с зубчато-дисковыми шарошками: ПД (РД) – с постоянным диаметром (регулируемым диаметром), РУ (РВ) – с регулируемыми углами наклона (с регулируемой скоростью вращения) породоразрушающих элементов, УК (СР) – с шарошками в виде усеченного конуса (со сменными резцами); РШД – разборные шарошечные долота: С – со сферическими шарошками (В – с вертикальными опорами, Н – с наклонными опорами); К – с конусными шарошками (Ц – централизованное крепление опор, И – индивидуальное крепление опор, Д – шарошки с набором дисков)

Выгодность той или иной конструкции долота во многом определяется соотношением его долговечности и стоимости. Повышение ресурса износостойкости буровых долот, особенно шарошечных, требует, как правило, значительных затрат. Так, лучшие зарубежные образцы ШД по сравнению с отечественными ШД имеют в 5-6 раз более высокую стойкость, но соответственно в 5-10 раз большую стоимость. Как видно из данных таблицы 3 такое соотношение стойкости и стоимости ШД не всегда соответствует условиям бурения взрывных скважин на карьерах .

Таблица 3 - Ориентировочное сравнение показателей бурения серийными, зарубежными и специализированными (разборными) шарошечными долотами диаметром 244,5 – 250 мм. Горная порода – известняк, крепость f = 8 – 10 (f_{CP} = 9)

Тип долота	С, тыс. руб	V, м/ч	П, м/см	L, м	Удельные затраты на бурение, руб/м			Разница (сравнительная) удельных затрат на 1м, ΔS, руб/м		
					Серийное ШД	РШД	ДЗДШ	ЗД	РШД	ДЗДШ
III250,8 ТКЗ-ПВ	34	29	134	816	86,4	71,1	-	-45,8	+15,3	+15,8
III244,5Т-ПГВ	16	19	100	613	89,9	80,1	-	-42,3	+9,8	+19,3
Terra-5, Terra-6	133	29	134	1530	132,2	-	-	-	-	-
ДЗДШ-244,5	12/6	45	199	150 (L_B)	-	-	70,6	-	-	-

Примечание: РШД – разборные ШД; ЗД – зарубежные долота типа Terra-5 и Terra-6.

Данные табл. 3 показывают, что в рассматриваемых условиях (f = 8-10) использование дорогих ШД зарубежного производства не дает эффекта, в то время как применение разборных ШД (на базе отечественных моделей) обеспечивает значительное снижение затрат на буровые работы.

Каждый вид разборного бурового инструмента имеет свои границы применения. Он содержит разные модели долот, отличающихся индивидуальными конструктивными решениями и областью эффективной эксплуатации.

Анализ предложенных конструктивных решений специализированных буровых инструментов, с учетом способов воздействия породоразрушающих элементов на породу, позволяет выполнить их систематизацию, сформировав из этих долот три группы, характеризующихся видом долота (базовой моделью) (таблица 4).

Таблица 4 - Систематизация специализированного бурового инструмента по конструктивным признакам и условиям применения

Вид долота (базовая модель)	Модификация	Количество ПРЭ; (вид опор)	Диаметр мм; (вооружение)	Тип станка	Способ очистки скважины	Типизированные условия применения
Долото с зубчато-дисковыми шарошками (ДЗДШ)	ДЗДШ–ПД ДЗДШ–РД ДЗДШ–РВ ДЗДШ–РУ ДЗДШ–УК ДЗДШ-СР	III, IV II, III II III IV III,IV, (Ск)	160-320 (ВЗ, ВП, ФЗ)	СБШ СБР СВБ БТС	П, ШП, ПЭ	Сложноструктурные породы с f=1-8 (включения до 40% с f=8-10)
Разборное долото с конусными шарошками (РШД-К)	РШД–К-Ц РШД–К-И РШД-К-Д	II, (Кч-Ск) II, III (Ск) (Ск)	160-320 (ВЗ, ФЗ)	СБШ	П, ПЭ	Породы средней крепости и крепкие (f=6-12)
Разборное долото со сферическими шарошками (РШД-С)	РШД-С-В РШД-С-Н	II , (Ск, Кч) III (Ск, Кч)	250-320 (ВЗ, ФЗ)	СБШ	П, ПЭ	Крепкие и очень крепкие породы с (f=12-16)

Примечание: ПРЭ - породоразрушающий элемент; ПД, РД, РВ, РУ – долото соответственно с постоянным диаметром, регулируемым диаметром, регулируемой скоростью вращения ПРЭ, регулируемыми углами наклона ПРЭ; К, УК, СР, С – долото соответственно с конусными шарошками, шарошками в форме усеченного конуса, сменными стационарными резцами и сферическими шарошками; II, III, IV – количество ПРЭ и опор; Ск и Кч – опоры скольжения и качения; П, ШП и ПЭ – пневматическая, шнекопневматическая и пневмо-эжекционная очистка; ВЗ, ВП и ФЗ – вставные зубья, вставные пластины и фрезерованные зубья; Ц, И – соответственно централизованное и индивидуальное крепление ПРЭ; В, Н – соответственно с вертикальными и наклонными опорами.

Отличительными технологическими особенностями каждого вида специализированного бурового инструмента являются характер взаимодействия с горной породой, режимы бурения скважин в осложненных условиях и возможность применения разных способов очистки скважины от бурового шлама.

Обобщающим признаком предложенных буровых инструментов является разборность, которая обеспечивает равный ресурс узлов и деталей,

ремонт и восстановление долот, выполнение их конструктивных преобразований с применением метода взаимозаменяемости породоразрушающих элементов, которые обладают вооружением, являющимся наиболее рациональным при бурении горных пород с различными физико-механическими свойствами.

3. Особенности конструкции и кинематика работы долота ДРФД

Износ резцов, как было установлено исследованиями режущего инструмента, является пропорциональным пути трения резца в контакте с породой, ее крепости и абразивности.

Путь трения, который проходят резцы, зависит от радиуса их расположения на корпусе долота. Это обусловливает неравномерный износ резцов, увеличивающийся от центра долота к его периферии.

Долота с зубчато-дисковыми шарошками имеют принципиально иное конструктивное построение, которое отличает их как от режущих долот со стационарными резцами, так и от шарошечного бурового инструмента с конусными шарошками. Породоразрушающие элементы в долотах ДРДФ установлены с возможностью изменения радиуса вращения каждого зуба шарошки относительно центра долота. Это изменяет кинематику долота.

Модель режущего долота с разборного с фрезерными дисками (РДФД) показана на рис.4. Долото состоит из корпуса 1, сменных зубчато-дисковых шарошек (вращающихся резцов) 2 и опор скольжения. Шарошка имеет 2 ряда зубьев. Разрушение горной породы производится пластинами твердого сплава, напаянными на торцевую (профильную) часть зуба.

Шарошка имеет простейшую опору скольжения, состоящую из оси 3 и штопорного кольца для фиксации 4, в корпусе выполнены пазы для штопорного кольца 5, в корпусе 1 долота выполнены резьба для соединения с буровой штангой и канал 6 для подачи сжатого воздуха к забою скважины. Корпус изготавливался литьем, шарошки (тело) – штамповкой.

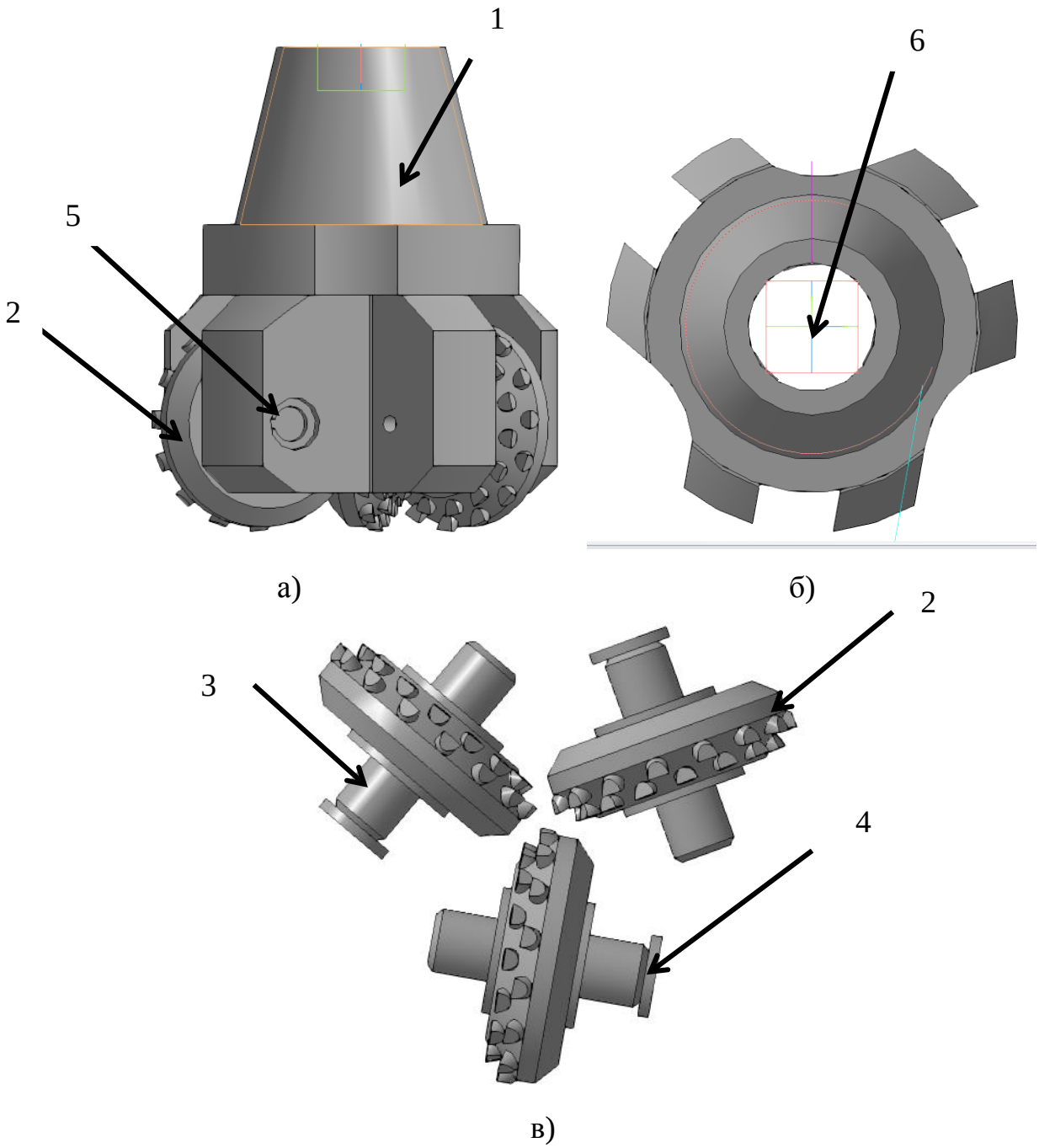

Рисунок 4. Долото Режущее с Фрезерными Дисками: 1- корпус, 2- Фрерные диски с резцами, 3-ось вращения дисков, 4-стопорное кольцо, 5-паз для стопорного кольца, 6-канал для подачи воздуха.

В отличие от шарошечного долота (с конусными шарошками), у которого ось конусной шарошки находится в диаметральной плоскости долота (или смещена параллельно ей на некоторое расстояние), ось вращения у режущей зубчато-дисковой шарошки перпендикулярна диаметральной плоскости долота. Такая ориентация плоскости вращения зубчато-дисковой

шарошки коренным образом изменяет кинематику работы долота по сравнению как с шарошечными долотами, так и с применяемыми режущими долотами со стационарными резцами.

Рассмотрим кинематические особенности функционирования режущего долот с принятой ориентацией плоскости вращения зубчато-дисковых шарошек более подробно. Зубчато-дисковые шарошки, установленные в корпусе долота, в скважине совершают перемещение по сложной траектории (рис. 5) Каждый зуб шарошки (точка M_ℓ) вращается с частотой $n_ш$ относительно ее оси (точка O_2) и вместе с шарошкой также вращается относительно оси скважины O_1-O_1 с частотой n_d. Кроме того, под действием осевого усилия шарошка совершает поступательное движение и перемещается вдоль оси скважины O_1-O_1 сверху вниз со скоростью, равной скорости бурения $V_б$, и за один оборот вращения долота (за один оборот вращения шарошки вокруг оси O_1-O_1) проходит вертикальный участок, равный величине внедрения долота в породу h. При этом зуб за один оборот вращения шарошки вокруг вертикальной оси скважины O_1-O_1 также перемещается вниз на определенный отрезок, а за один оборот шарошки проходит вертикальный участок $\ell_ш$ (без учета сил трения в опоре скольжения на оси O_2 и возможного проскальзывания по стенкам скважины).

С каждым оборотом шарошки вокруг оси скважины O_1-O_1 зуб возвращается на дугу а-н (рис. 5), а с каждым полуоборотом – на дугу б-м. При перемещении по отрезку дуги а-ж и дуги б–ж зуб с породой не имеет контакта, т.е. разрушение породы он не производит. При перемещении по дугам ж-н и ж-м зуб с породой контактирует, осуществляя ее разрушение и образуя рабочий сектор ж-м-н.

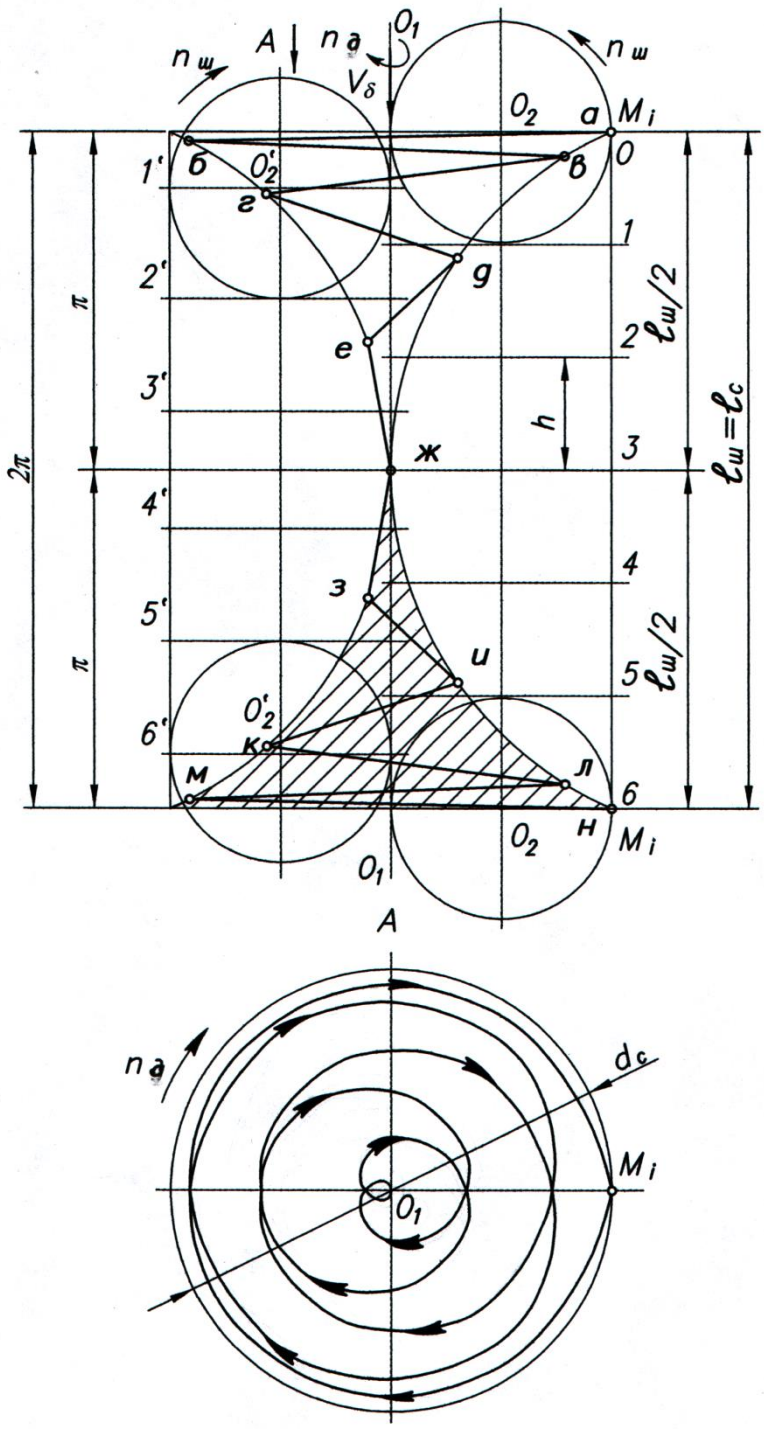

Рисунок 5. Траектория движения зуба дисковой шарошки в скважине

Все зубья шарошек, имея сложную траекторию движения, образуют сетку разрушения породы в скважине, величина «ячеек» которой зависит от диаметра зубчато-дисковых шарошек, количества зубьев, установленных на них, и скорости бурения (рис. 6,1-6,3).

На стойкость зубьев шарошки, а следовательно, и на стойкость долота в целом оказывает влияние не только характер взаимодействия с породой, но и путь трения при их контакте в зоне разрушения.

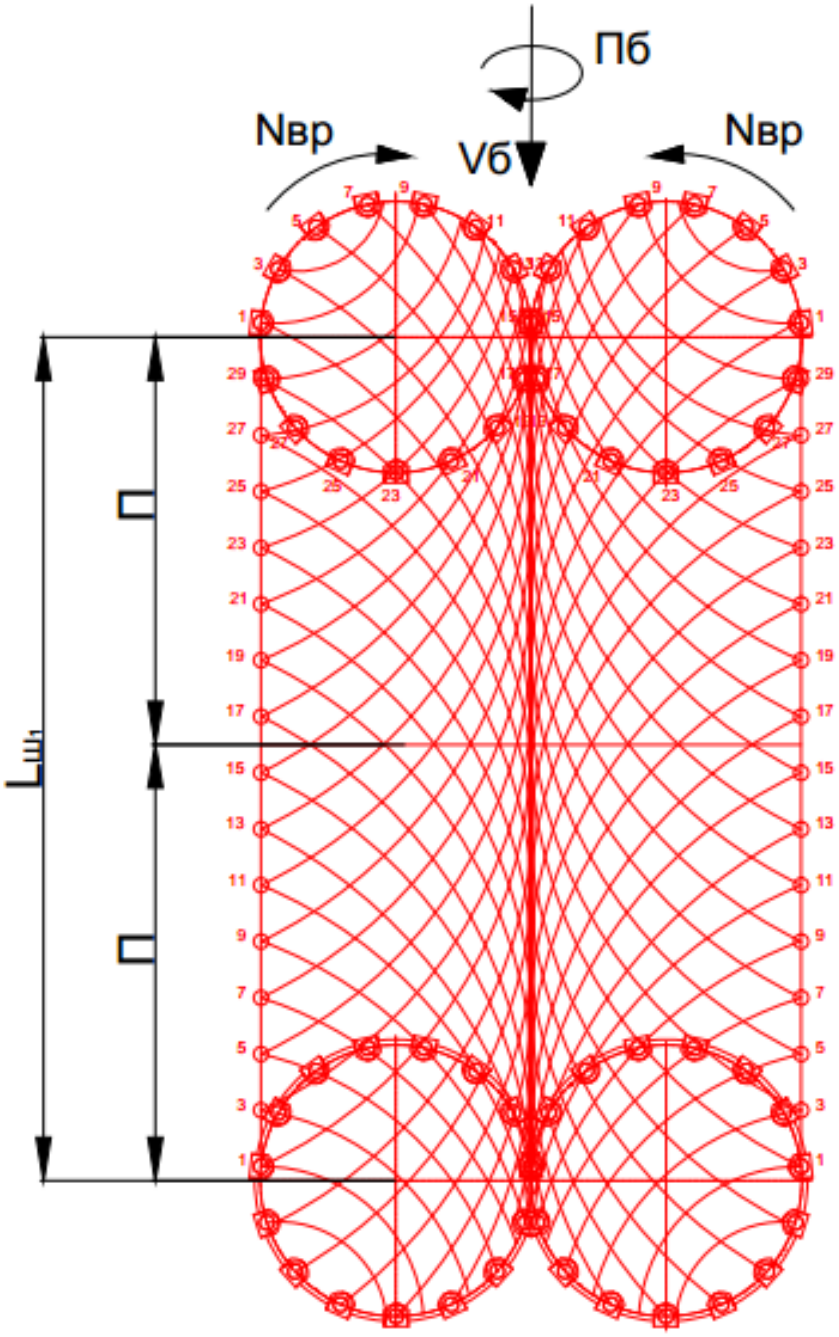

Рисунок 6.1 Сетка разрушения породы в скважине зубьями шарошек внешнего ряда

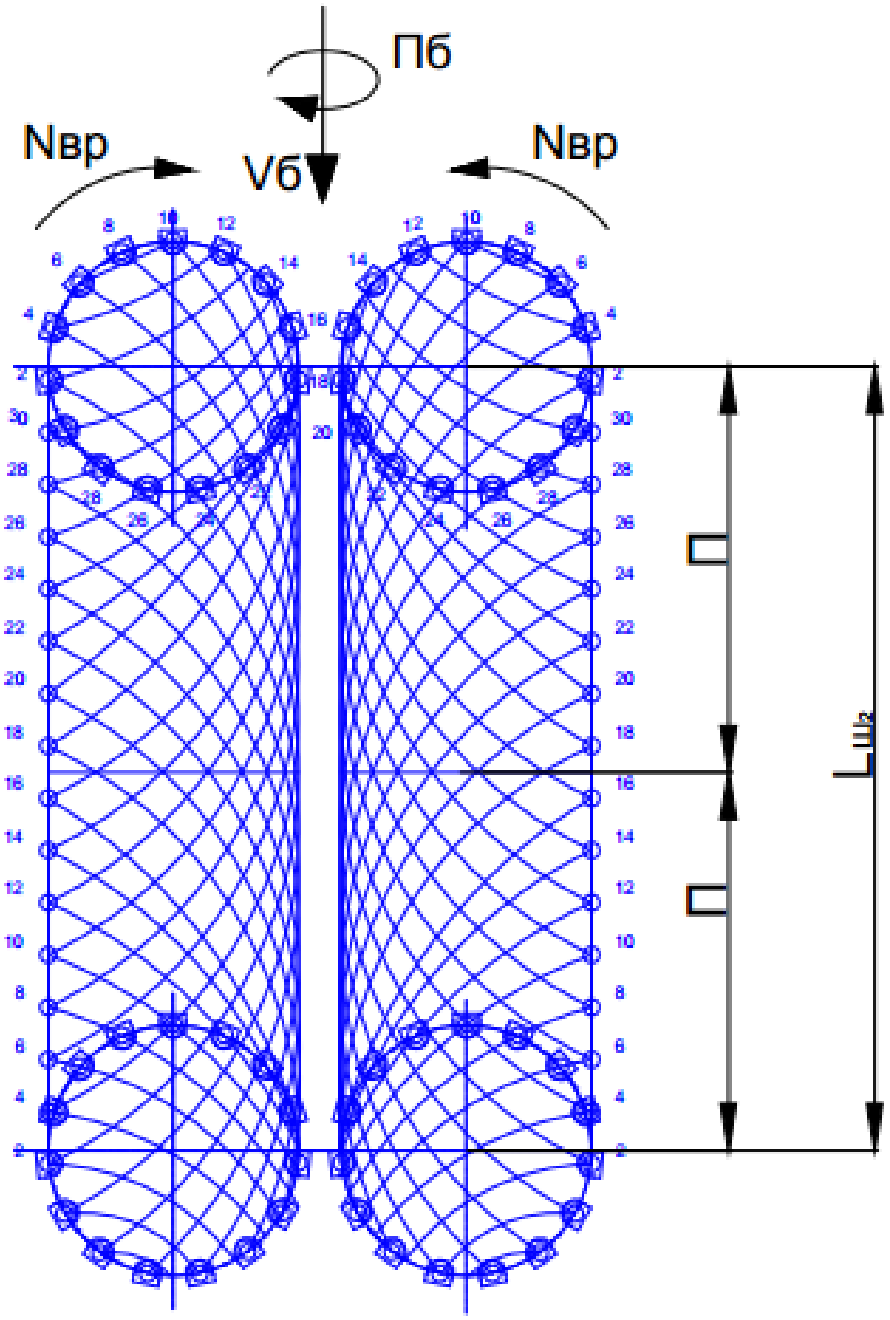

Рисунок 6.2. Сетка разрушения породы в скважине зубьями шарошек внутреннего ряда

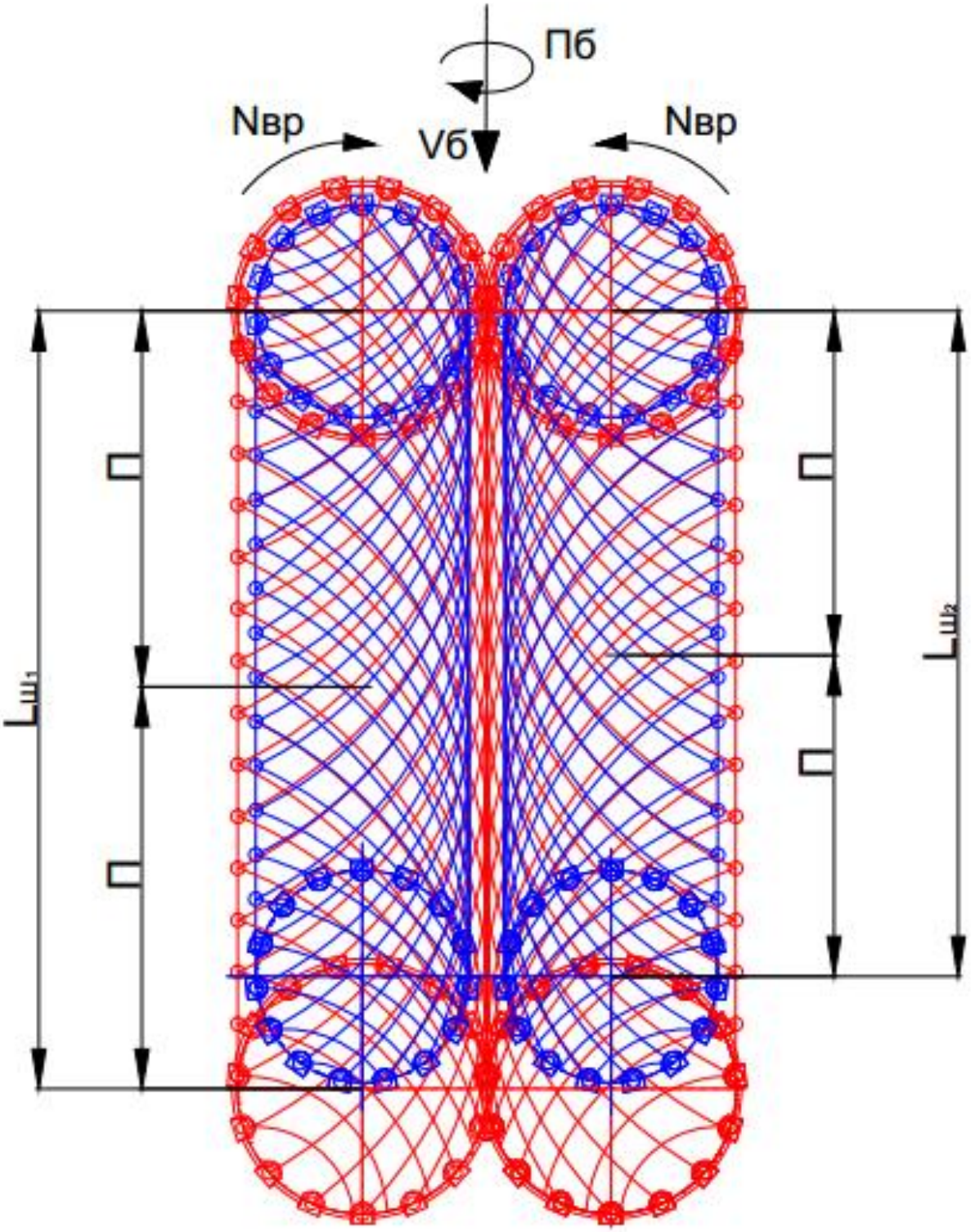

Рисунок 6.3 Совмещенная сетка разрушения породы в скважине зубьями шарошек

Для определения пути трения зуба при разрушении породы составим схему кинематической работы долота (ДРДФ-244,5-2) (рис. 7).

Каждая шарошка, вращаясь вокруг вертикальной оси долота с частотой $n_д$, за один оборот проходит в скважине путь, равный внедрению долота в породу h. При этом каждый зуб шарошки опускается в скважину, перемещаясь по дуге АБ на расстояние

$$\Delta h = h - z_0, м, \quad (1)$$

а при перемещении по дуге БА на расстояние

$$\Delta h = h + z_0, м, \quad (2)$$

где z_0 – проекция точки M_i (зуба) на ось z.

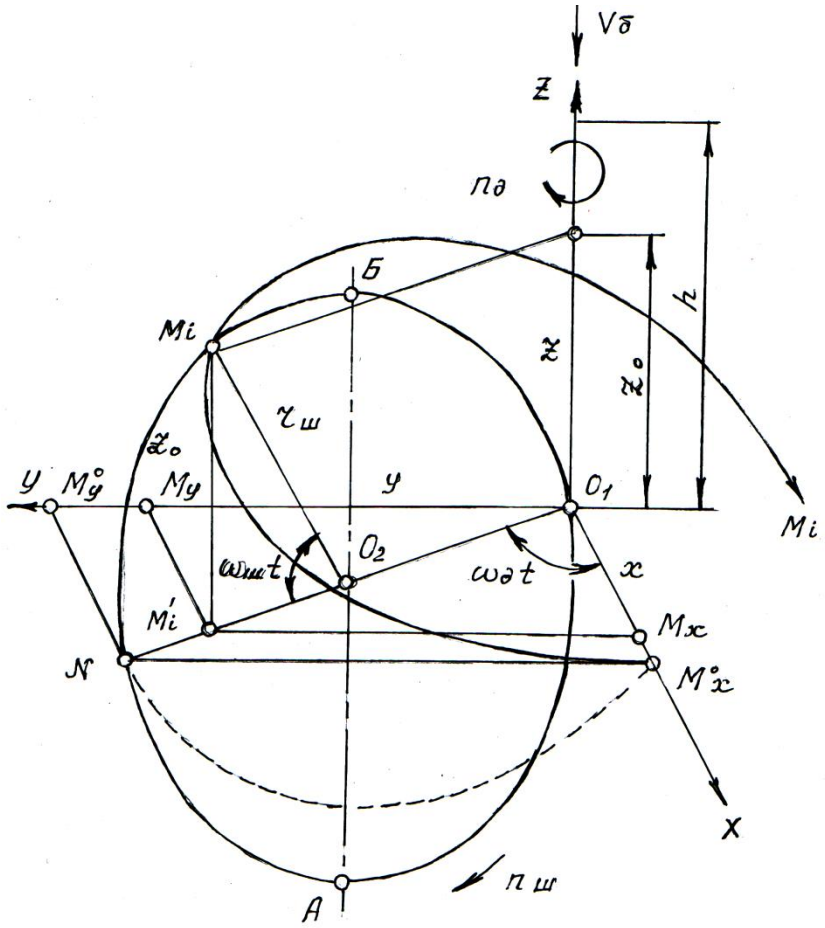

Рисунок 7. Кинематическая схема работы долота ДРДФ-244,5-2

При перемещении по образующей шарошки точка M_i будет иметь проекцию

$$z_0 = r_ш \cdot \sin \varpi_ш t, \quad (3)$$

где $\varpi_ш$ – угловая скорость вращения шарошки; t – время перемещения точка M_i по образующей шарошки; $r_ш$ – радиус шарошки.

Пусть точка M_i в начальный момент времени t находилась в точке M^0_x (рис. 4.10). При вращении вокруг вертикальной оси долота O_1–O_1 с частотой вращения n_d точка M^0_x переместится в точку M^1_i, а при вращении с частотой $n_ш$ вокруг оси шарошки O_2 – из точки N в точку M_i. Таким образом, за время t точка (зуб) пройдет путь по траектории из точки M^0_x в точку M_i. Ее проекцией на плоскости O_1YX будет точка M^1_i с координатами: $x = O_1M_x$; $y = O_1M_y$;

$z = O_1M_z$.

В общем виде координаты движения точки M_ℓ с учетом перемещения ее в указанных выше плоскостях по определенной траектории M^0_x – M_ℓ – $M_к$ могут быть представлены следующими уравнениями.

1. Из треугольника $O_1M^1_iM_x$ имеем:

$$X = O_1M^1_i \cdot \cos \varpi_d t, \text{ где } O_1M^1_i = r_ш \pm O_2M^1_i.$$

Из треугольника $O_2M^1_iM_i$ получим:

$$O_2M^1_ш = r_ш \cdot \cos \varpi_ш t.$$

Таким образом:

$$O_1M^1_i = r_i (1 \pm \cos \varpi_ш t).$$

Тогда:

$$X = r_ш \cdot \cos \varpi_d t (1 \pm \cos \varpi_ш \cdot t). \quad (4)$$

2. Из треугольника $O_1M^1_iM_y$ получим: $Y = O_1M^1_i \cdot \sin \varpi_d \cdot t$, или

$$Y = r_ш \cdot \sin \varpi_d t (1 \pm \cos \varpi_ш t). \quad (5)$$

3. Из треугольника $O_2M_iM_i^1$ имеем: $Z_0 = r_ш \cdot \sin \varpi_ш t$.

С учетом выражений (1) и (2) получим

$$Z = \frac{\varpi_d t}{2\pi} h \quad r_ш \cdot \sin \varpi_ш t . \tag{6}$$

В уравнениях (4) и (5) знак (+) следует учитывать при движении точки M_i от А к Б (работа зуба на периферийных участках забоя), а знак (-) – при движении точки M_i от Б к А (работа зуба на среднем участке забоя). В уравнении (6) знак (+) следует учитывать при движении точки M_i от Б к А (работа зуба на среднем участке забоя), а знак (-) – при движении точки M_i от А к Б (работа зуба на периферийном участке забоя).

Таким образом, получено параметрическое уравнение траектории точки M_i, т.е. уравнение движения зуба, установленного на зубчато-дисковой шарошке бурового долота, при разрушении породы в скважине, которое выглядит следующим образом:

$$X = r_ш \cdot \cos \varpi_d t(1 \pm \cos \varpi_ш \cdot t),$$

$$Y = r_ш \cdot \sin \varpi_d t(1 \pm \cos \varpi_ш t), \tag{7}$$

$$Z = \frac{\varpi_d t}{2\pi} h \quad r_ш \cdot \sin \varpi_ш t .$$

В процессе бурения долото совершает двоякое движение: поступательное сверху вниз под действием осевой нагрузки от механизма подачи и вращательное, осуществляемое двигателем вращателя через буровые штанги. Первое движение обеспечивает внедрение долота в породу, а второе производит срезание или скалывание породы за счет крутящего момента.

При одновременном вращении зубьев вокруг оси шарошки и относительно оси скважины изменяется радиус их вращения вокруг оси долота практически от 0 до $2r_ш$, однако средний радиус вращения каждого зуба за один оборот шарошки оказывается равным $r_ш$. Приняв допущение, что, участвуя одновременно в двух движениях, точки (зубья), находящиеся на поверхности породоразрушающих элементов, например, точки М, описывают винтовые линии со средним радиусом вращения $R = r_ш$ (рис. 8), определим длину пути, проходимого любой точкой, находящейся на поверхности зубчато-дисковой шарошки, в сравнении с длиной пути резцов, установленных на режущих долотах со стационарными породоразрушающими элементами.

Координаты движения точки М могут быть представлены следующими уравнениями [135, 136]:

$$x = R\cos\omega t, \quad y = R\sin\omega t, \quad z = \frac{\omega h}{2\pi}t, \tag{8}$$

где R – среднее расстояние (средний радиус) точки М от оси вращения; h – внедрение долота в забой скважины за один оборот.

Проекция N точки М на плоскость OXY имеет координаты: $x = R\cos\omega t$; $y = R\sin\omega t$ и $Z = 0$. Поскольку для точки N угол поворота $\alpha(t) = \omega t$, то она совершает один оборот вокруг точки О, находящейся на оси вращения долота, по окружности радиусом R за время $T = 2\pi/\omega$, так как $\alpha(T) = \omega T = 2\pi$.

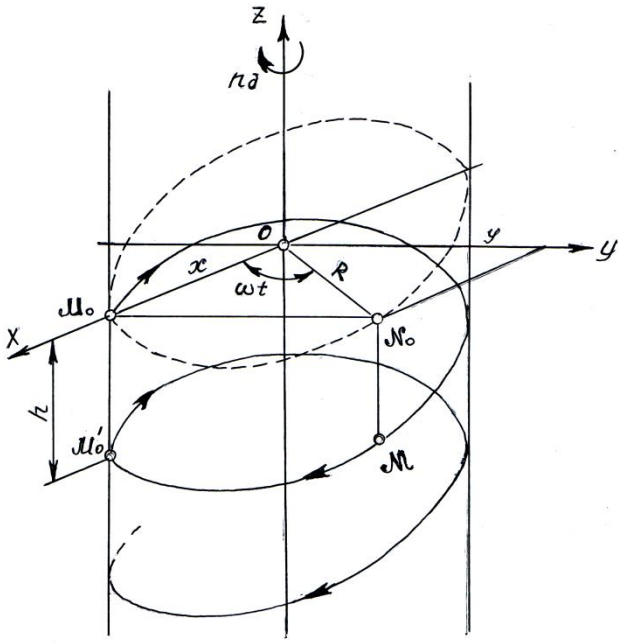

Рисунок 8. Траектория движения зуба шарошки по среднему радиусу вращения вокруг оси долота

Значит, в начальный момент времени t = 0 точки M и N находились в положении M_o (рис. 8).

Аппликата Z точки M пропорциональна времени t и в момент времени t = T равна

$$Z(T) = \frac{\omega h}{2\pi} T = h . \qquad (9)$$

Таким образом, точка M за время T перемещается по вертикали на расстояние h, хотя представляет собой внедрение долота в породу за один оборот и одновременно является шагом винта.

Теперь важно отметить длину пути (витка) $L_д$, проходимого любой точкой, находящейся на поверхности лезвия или заторможенной (не вращающейся), зубчато-дисковой шарошки за один оборот долота.

Следуя работе и исходя из параметрических уравнений винтовой линии (8), имеем следующие скорости движения:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = -R\omega \sin \omega t, V_y = \frac{dy}{dt} = R\omega \cos \omega t, V_z = \frac{dz}{dt} = \frac{\omega h}{2\pi} . \qquad (10)$$

Тогда модуль вектора скорости равен:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_Z^2} =$$

$$= \sqrt{R^2\omega^2 \sin^2 \omega t + R^2\omega^2 \cos^2 \omega t + \frac{\omega^2 h^2}{4\pi^2}} =$$

$$= \frac{\omega}{2\pi}\sqrt{4\pi^2 R^2 + h^2}.$$

А направляющие косинусы вектора скорости равны:

$$\cos(V, x) = \frac{V_x}{V} = -\frac{2\pi R}{\Gamma}\sin \omega t, \quad \cos(V, y) = \frac{V_y}{V} = \frac{2\pi R}{\Gamma}\cos \omega t,$$

$$\cos(V, z) = \frac{V_z}{V} = \frac{h}{\Gamma},$$

где $\Gamma = \sqrt{4\pi^2 R^2 + h}$.

В силу известной формулы аналитической геометрии сумма квадратов направляющих косинусов равна единице. Поскольку $\cos(V, z) = \text{const},$ то касательная к винтовой линии в каждой ее точке образует с осью Z постоянный угол, т.е:

$$\gamma = (V, z) = \arccos \frac{h}{\Gamma}.$$

Так как модуль скорости постоянен во все время движения, то заданное уравнениями (8) движение по винтовой линии является равномерным. Если мы отсчитываем пройденный путь от положения M_o (рис. 8), то:

$$L_b(t) = Vt = \frac{\omega\Gamma}{2\pi}t.$$

Тогда L_b за время $T = \frac{2\pi}{\omega}$ равен :

$$L_b = \frac{\omega\Gamma}{2\pi} \cdot \frac{2\pi}{\omega} = \Gamma = 2\pi R\sqrt{1 + \frac{h^2}{4\pi^2 R^2}} .$$

В подкоренной части полученной формулы отношение $\frac{h^2}{4\pi^2 R^2}$ обычно значительно меньше единицы. Используем для этой части разложение, получаемое в теории рядов [135]: $\sqrt{1+u} = 1 + \frac{u}{2} + \ldots$.

Отсюда имеем следующее приближенное выражение величины L_b:

$$L_b \approx 2\pi R(1 + \frac{h^2}{8\pi^2 R^2}) . \qquad (11)$$

Известно, что скорость бурения резанием в породах крепостью f = 1–10 при наиболее употребительной скорости вращения долота 100 об/мин изменяется в пределах от 30 до 170 м/ч. При этом внедрение долота за один оборот колеблется, соответственно, от 0,005 до 0,028 м. При таком небольшом значении шага h величина $\frac{h^2}{8\pi^2 R^2}$ в формуле (11) близка к 0 и величину L_b с достаточной точностью можно вычислить по формуле:

$$L_b \approx 2\pi R , \qquad (12)$$

где R – расстояние резца от оси вращения долота.

Для периферийных резцов приближенно:

$$L_b \approx \pi d_d , \text{ м}, \qquad (13)$$

где $d_д$ – диаметр долота.

Путь трения периферийных резцов режущих долот с неподвижными относительно корпуса стержневыми резцами составляет:

$$L_T \approx \pi d_d \cdot n_d, \text{ м/мин}. \qquad (14)$$

Совершенно иные показатели взаимодействия с породой наблюдаются у режущих долот с вращающимися зубчато-дисковыми шарошками благодаря оригинальным особенностям их кинематики.

На рис. 6 показана схема взаимодействия зубчато-дисковых шарошек режущего долота с забоем скважины.

Вращение и перекатывание по забою зубчато-дисковой шарошки, ориентированной радиально к оси долота, происходит в основном за счет зацепления зубьев с образующейся криволинейной поверхностью у стенки углубляющейся скважины и частично за счет дифференцированного вращения от действия части реактивного усилия забоя.

При движении долота вниз зубчато-дисковая шарошка вращается вверх по часовой стрелке (рис. 9)

Заметим, что такое вращение шарошек, во-первых, облегчает эвакуацию буровой мелочи из скважины и, во-вторых, объясняет успешность прохождения долотом включений крепких пород (в толще слабых пород), которые после скалывания отбрасываются к периферии забоя.

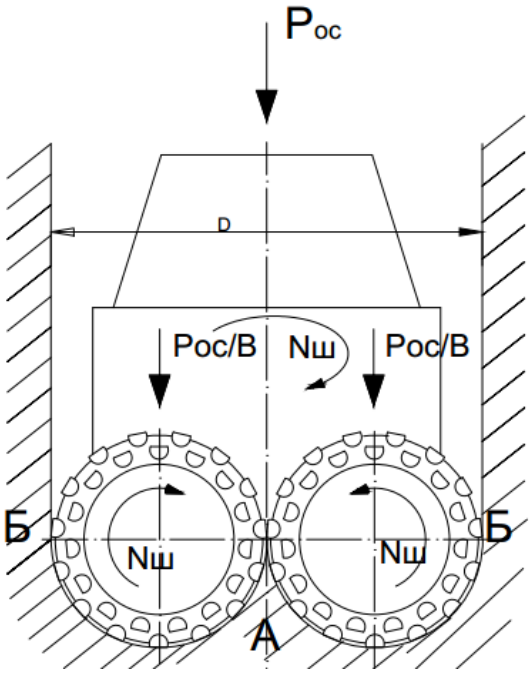

Рисунок 9. Схема взаимодействия зубчато-дисковых шарошек режущего долота с забоем скважины: β – количество шарошек

Забой скважины имеет округлую форму у стенок скважины и выпуклость в центре забоя. Вследствие дополнительной степени свободы и вращательного движения шарошки относительно корпуса долота каждый зуб описывает сложную траекторию и постепенно перемещается по профилю забоя от начальной точки контакта А (рис. 9) до крайней точки Б в периферийной части забоя. При этом зуб работает с переменным радиусом и образует спиральную канавку в забое.

В контакте с породой зуб проходит (рис. 9) примерно 3/8 своего пути (за один оборот). На протяжении 5/8 пути он не контактирует с породой при любом количестве зубьев на шарошке. Иными словами, только 3/8 количества зубьев шарошки контактирует с забоем в каждый момент времени. Все зубья шарошки проходят равный путь контакта с горной породой, что способствует равномерному их износу.

При одновременном участии в двух движениях (вращении вокруг своей оси и оси долота) зубчато-дисковая шарошка при разрушении породы в скважине для каждого зуба образует две зоны, в которых зуб попеременно оказывается в зоне охлаждения зуба (нерабочей зоне) и в зоне разрушения породы (рабочей зоне) (рис. 9).

В нерабочей зоне окружная скорость зуба $V_{окр}$ изменяется от $V_{окр\ max}$ до $V_{окр} = 0$. В рабочей зоне зуб шарошки развивает окружную скорость от $V_{окр} = 0$ (точка ж) до $V_{окр\ max} = \pi \cdot d_d \cdot n_d$. Так, при $n_d = 100$ об/мин максимальная окружная скорость зуба на долоте ДРДФ-244,5 будет $V_{окр\ max} = 3{,}14 \cdot 0{,}2445 \cdot 100 = = 77$ м/мм.

В рабочей зоне зуб шарошки, разрушая породу, образует сектор ж-м-н, который по условиям режимов разрушения можно разделить на три участка.

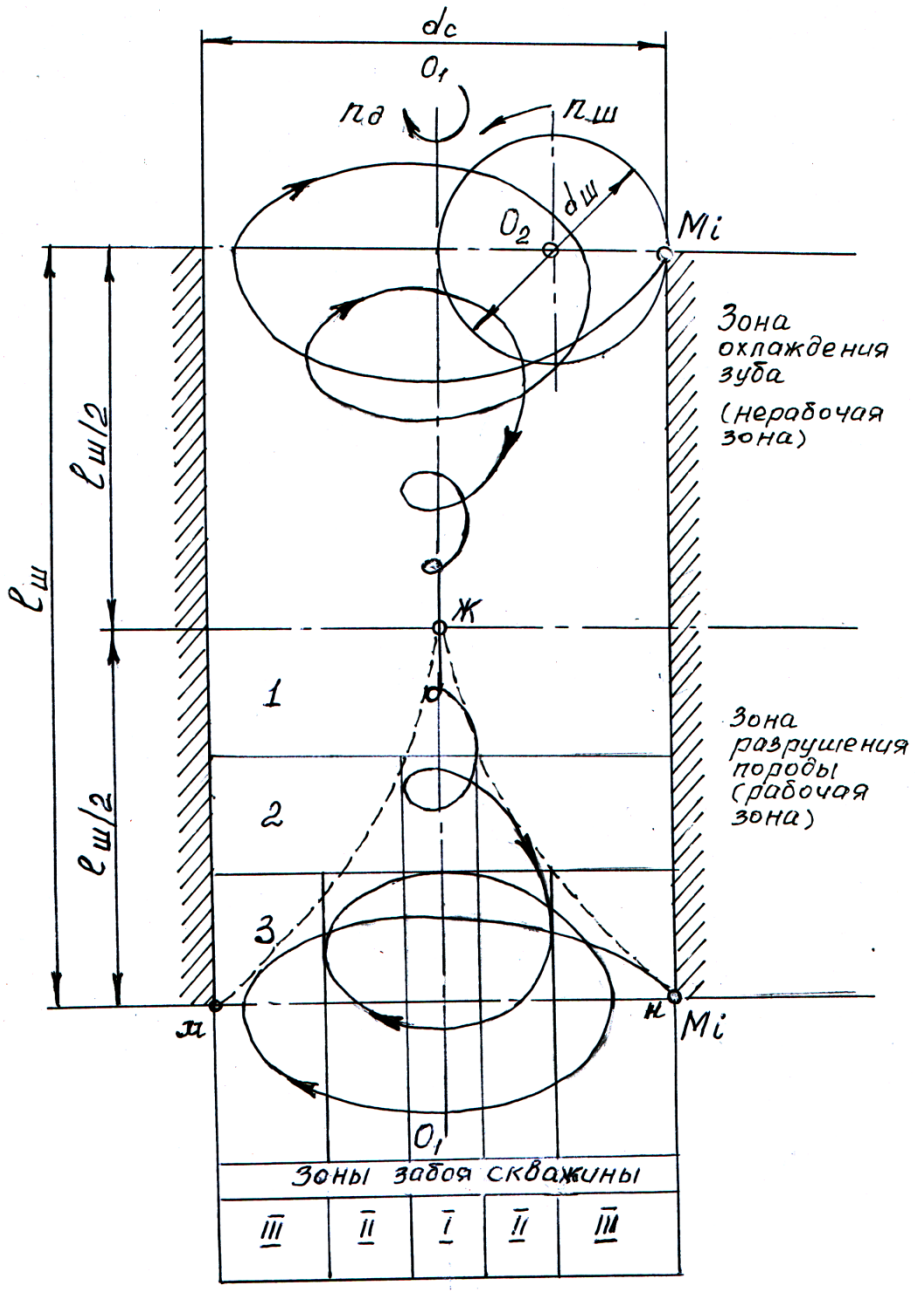

Рисунок 10. Зоны работы зуба шарошки долота ДЗДШ

Участок 1 характеризуется минимальными значениями окружной скорости зуба и горизонтальной составляющей результирующего усилия, но максимальными значениями вертикальной составляющей результирующего усилия, действующего на породу со стороны зуба . На этом участке происходит разрушение центральной части забоя скважины (керна) (рис. 10, зона I забоя скважины).

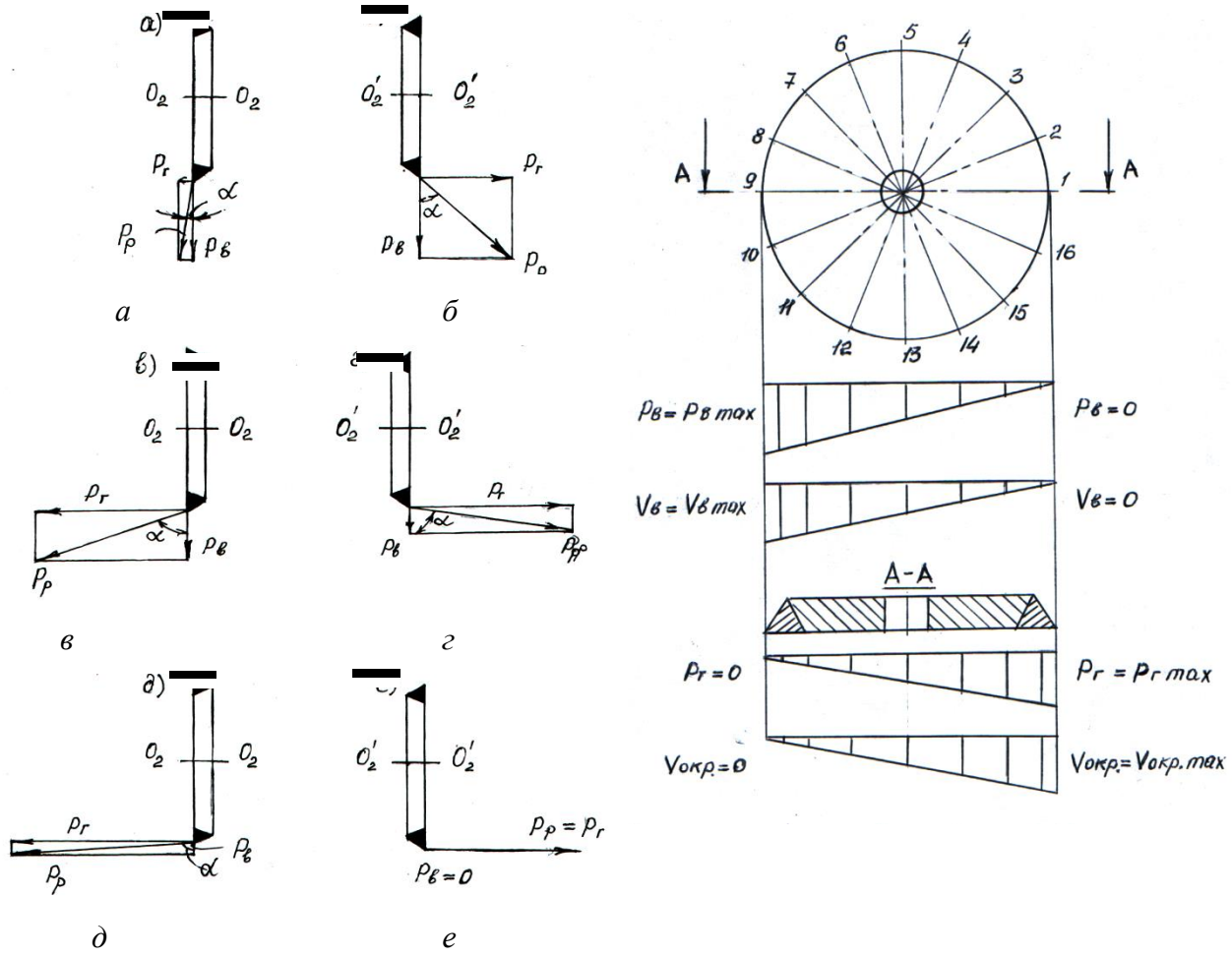

Рисунок 11. Изменение усилий разрушения породы зубом шарошки и скорости его перемещения в скважине на отрезках пути: *а* – ж-з; *б* – з-и; *в* – и-к; *г* – к-л; *д* – л-м; *е* – м-н; I – изменение результирующей усилия; II – эпюры усилий и скорости

Участок 2 характеризуется средними значениями окружной скорости, горизонтальной и вертикальной составляющих результирующего усилия, действующего на породу со стороны зуба. На этом участке происходит разрушение средней части забоя скважины (рис. 10, зона II забоя скважины).

Участок 3 характеризуется максимальными значениями окружной скорости, горизонтальной составляющей результирующего усилия и минимальными значениями вертикальной составляющей результирующего усилия, действующего на породу со стороны зуба.

При перемещении зуба в рабочей зоне по сектору разрушения породы ж-м-н (рис. 10) составляющие результирующего усилия $P_р$, действующего на породу со стороны зуба, определяются следующими выражениями:

$$P_в = P_р \cdot \cos\alpha, Н, \qquad P_г = P_р \cdot \sin\alpha, Н,$$

где $P_в$, $P_г$ – соответственно, вертикальная и горизонтальная составляющие результирующего усилия Р; α – угол между вертикальной осью скважины и касательной к траектории движения зуба на конкретном участке сектора ж-м-н.

На рис. 10 видно, что по мере перемещения по сектору разрушения породы угол α изменяется от 0 до 90°. Результирующее усилие $P_р$ в момент начала разрушения породы в секторе ж-м-н можно определить по формуле

$$P_р = P_{ос} /(N_h \cdot \beta),$$

где $N_р$ – количество зубьев шарошки, одновременно участвующих в разрушении породы ($N_h = N\frac{3}{8}$); β – число зубчато-дисковых шарошек, установленных на долоте.

Для долота ДРДФ-244,5 с тремя зубчато-дисковыми шарошками и 2 рядами зубьев (N), установленными на каждой зубчато-дисковой шарошке, при $P_{ос}$ = 110 кН, n_d = 100 об /мин значения составляющих результирующего усилия и средней окружной скорости зуба на участках сектора разрушения породы представлены в табл. 5.

Таблица 5-Значения $P_в$, $P_г$ и $V_{окр}$ зуба шарошки долота ДРДФ-244,5

Зона	Участки	α, град	$P_в$, кН	$P_г$, кН	$V_{окр}$, м/мин (ср)
I	ж-з	10	0,85	0,14	5,6
II	з-и	45	0,66	0,53	21,8
	и-к	75	0,33	0,79	38,3
III	к-л	80	0,27	0,82	55,1
	л-м	85	0,20	0,84	70,7
	м-н	88	0,17	0,85	76,3

Как следует из табл. 5 и рис. 11, зуб шарошки в центральной зоне забоя скважины работает с преобладанием вертикального перемещения, а в

периферийной зоне – горизонтального перемещения с максимальной окружной скоростью. Именно в этой зоне зуб шарошки работает в наиболее нагружаемом режиме.

Для определения ориентировочных значений осевых усилий воспользуемся следующей зависимостью:

$$\mathbf{P_{ос} = (0,6 - 0,8) \cdot f \cdot d_{ш} \cdot 10^3} = 0{,}6 \cdot 2 \cdot 11{,}7 \cdot \mathbf{10^3} = 34{,}23 \text{ кН}; \qquad (15)$$

Проведя аналогичные расчеты для разных крепостей получаем, данные приведенные в таблице 6.

Таблица 6 – зависимость осевого усилия от крепости пород.

f	2	4	6	8	10	12	14
$\mathbf{P_{ос}}$ (кН)	34,23	68,46	102,69	136,92	171,15	205,38	239,61

Таким образом, условия работы зуба в забое скважины характеризуются изменением силовых и скоростных режимов бурения, что, очевидно, следует учитывать при выборе геометрических параметров породоразрушающих элементов долота.

Одна из характерных особенностей кинематики рассматриваемой конструкции долота состоит в том, что окружная скорость зубчато-дисковой шарошки практически равна скорости бурения. Поэтому скорость вращения зубчато-дисковой шарошки пропорциональна скорости бурения и определяется по формуле:

$$n_{ш} = \frac{V_{б} \cdot К_{д}}{\pi d_{ш}}, \text{об / мин}, \qquad (16)$$

где $V_б$ – скорость бурения, м/мин; $d_ш$ – диаметр шарошки; $К_д$ – коэффициент, учитывающий дополнительное увеличении скорости вращения от части реакции забоя.

В табл. 7 даны примерные величины скорости бурения режущими долотами с зубчато-дисковыми шарошками диаметром 245 мм и соответствующие им величины скоростей вращения породоразрушающих

элементов (шарошек) $n_ш$ при проходке скважин в породах различной крепости.

По этим данным можно судить, что величина $n_ш$ изменяется в пределах 1,65–5,88 об/мин, а отношение $n_d/n_ш$ изменяется в диапазоне 25,5–55,4. В породах средней крепости зубчато-дисковая шарошка вращается в 20 раз медленнее скорости вращения долота. Такие значения скоростей вращения породоразрушающих элементов являются вполне благоприятными для применения простых опор скольжения.

Таблица 7-Ориентировочные величины скорости бурения $V_б$, внедрения долота за один оборот h и скорости вращения шарошек $n_ш$

Степень крепости пород	Коэффициент крепости f	Скорость бурения $V_б$		h, мм/об	$n_ш$, об/мин при $d_ш$ = 0,117м	$n_d/n_ш$	$V_б/ n_ш$
		м/ч	м/мин				
Мягкие и довольно мягкие	2	130	2,16	0,00485	5,88	25,5	0,367
Средние	4	100,4	1,67	0,00465	4,56	26,3	0,367
Средние и довольно крепкие	6	85,9	1,43	0,00442	3,89	27,8	0,367
Крепкие	8	68,7	1,15	0,00424	3,13	28,7	0,367
Крепкие	10	44,4	0,74	0,00374	2,01	32,8	0,367
Крепкие	12	25,75	0,43	0,00298	1,17	41	0,367
Крепкие	14	14,3	0,24	0,00221	0,65	55,4	0,367

По данным табл. 7 построены графики (рис. 11, 12), показывающие прямо пропорциональный рост $n_ш$ в зависимости от скорости бурения и примерно гиперболическую зависимость скорости вращения зубчато-дисковых шарошек от крепости пород f.

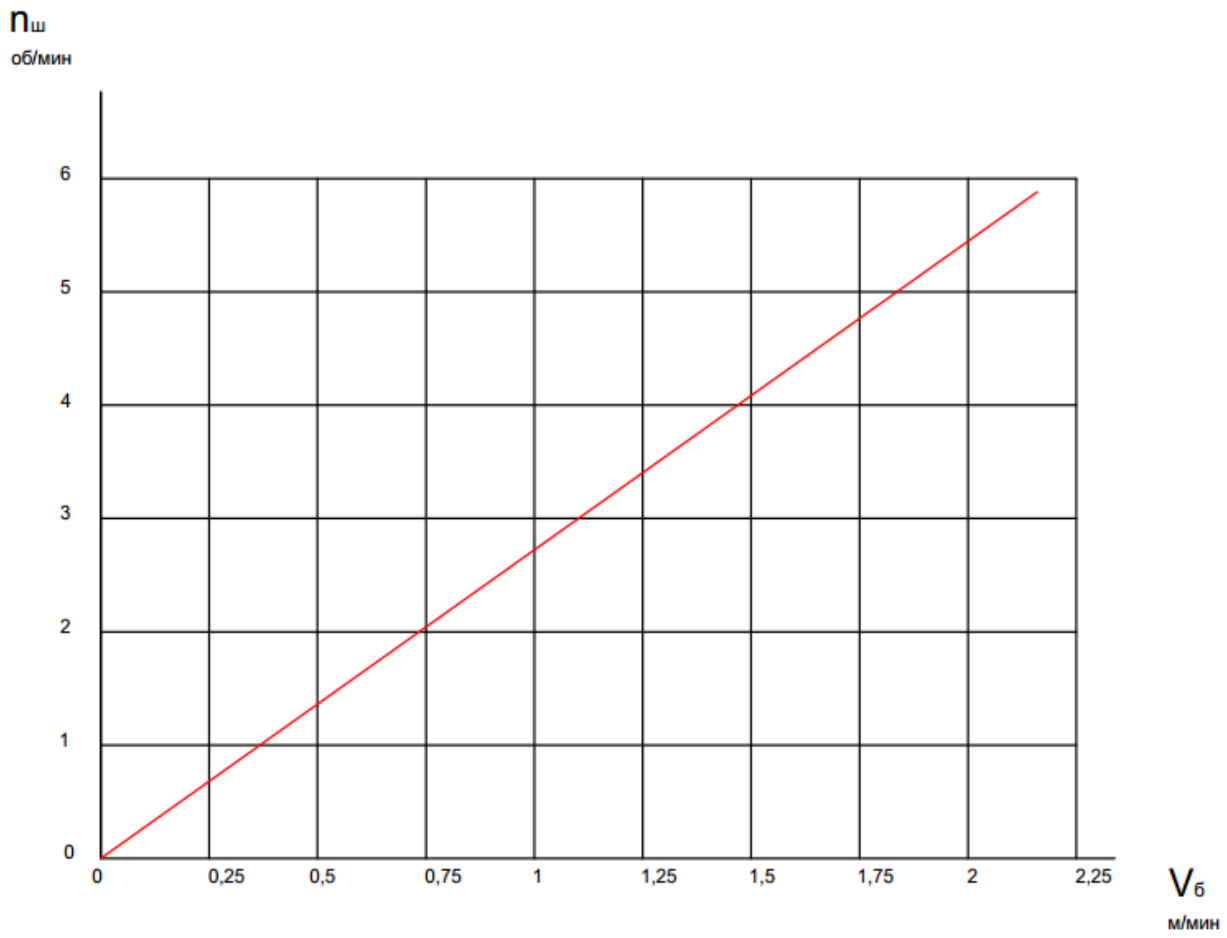

Рисунок 12. Изменение скорости вращения зубчато-дисковой шарошки $n_ш$ в зависимости от
скорости бурения $V_б$.

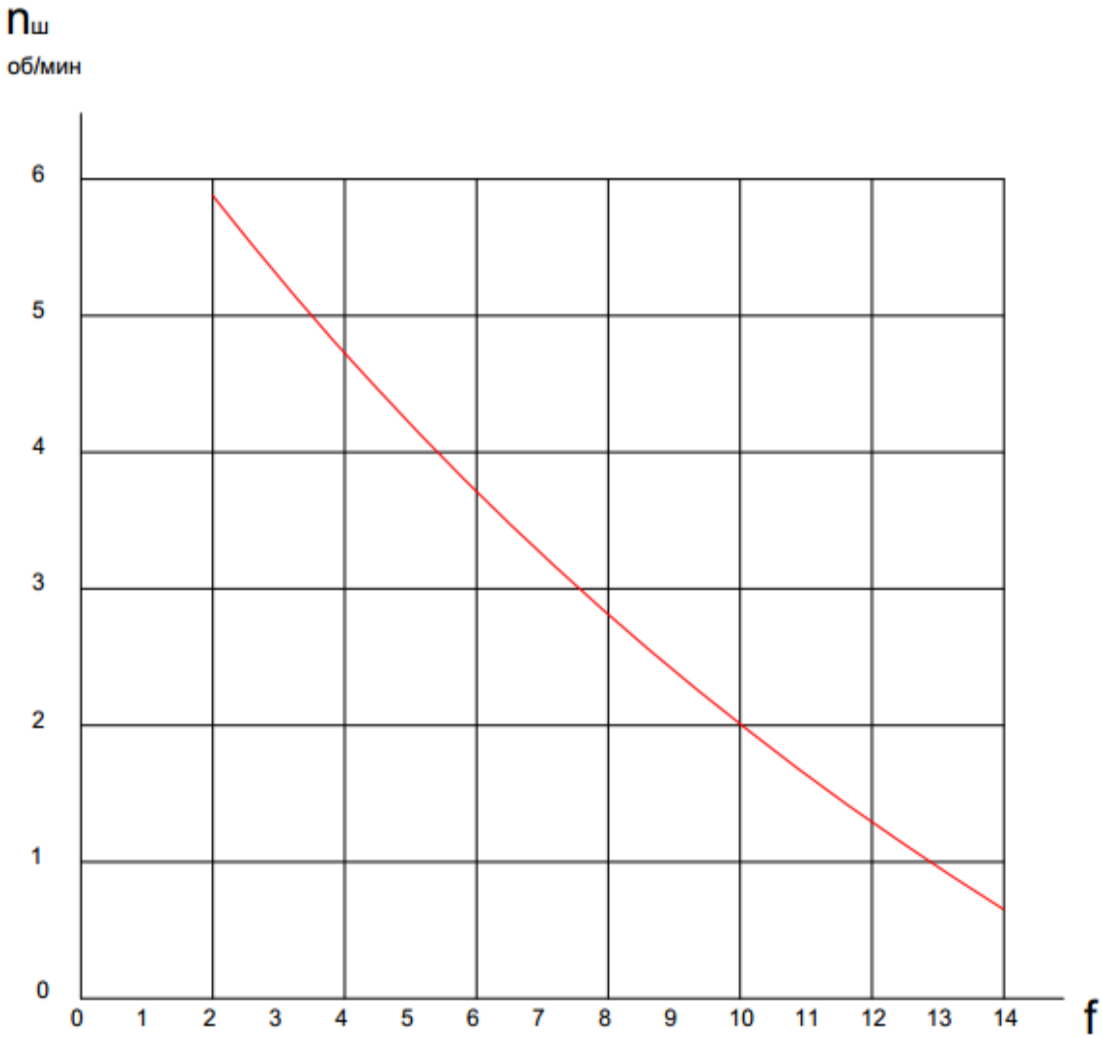

Рисунок 13. Зависимость скорости вращения зубчато-дисковой шарошки $n_ш$ от крепости породы f

При длине окружности $L_ш = \pi d_ш$ время одного оборота зубчато-дисковой шарошки составляет

$$t_{об} = \frac{\pi d_ш}{V_б}. \quad (17)$$

Путь перемещения зуба шарошки по профилю забоя (по дуге АБ, рис. 4) составляет примерно

$$\ell_{АБ} = \frac{3\pi d_ш}{8}. \quad (18)$$

Время контакта с породой зуба шарошки за один ее оборот равен

$$t_к = \frac{\ell_{АБ}}{V_б} = \frac{3\pi d_ш}{8V_б}. \quad (19)$$

Применительно к долоту диаметром 245 мм при $d_ш = 0{,}117$м, $V_б = 2$ м/мин = 0,033 м/с и $n_d = 100$ об/мин имеем

$$\ell_{АБ} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}117 \cdot 3}{8} = 0{,}14\,м, \quad t_к = \frac{\ell_{АБ}}{V_б} = \frac{0{,}14}{2} = 0{,}07\,мин; t_{об} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}12}{2} = 0{,}18\,мин.$$

Из этих данных следует, что за один оборот шарошки в контакте с породой зуб находится 0,07 мин, затем движется без контакта (охлаждается) в течение времени $t_{б.к} = t_{об} - t_к = 0{,}18 - 0{,}07 = 0{,}11$ мин. Следовательно, в течение своего оборота зуб охлаждается в среднем в 1,5 раза больше (0,11/0,07 = 1,57), чем контактирует с забоем.

При скорости бурения 2 м/мин и $n_d = 100$ об/мин, т.е. за 1 мин, зуб входит в контакт с забоем 5,3 раза (табл. 5) и находится в контакте $0{,}7 \cdot 5{,}3 =$ = 0,37 мин, а остальное время (0,63 мин) охлаждается.

Путь трения зуба шарошки определить достаточно сложно, так как за минутный интервал каждый зуб очерчивает несколько спиральных траекторий с переменным радиусом, зависящим от глубины внедрения зубьев h и крепости породы f. Если принять средний радиус спиральной траектории $r_{ср}$, то путь трения каждого зуба:

$$_Т = 2\pi r_{ср}\, t_{об}\, n_ш\, n_d .$$

Учитывая формулу (16), имеем:

$$_Т = \frac{2\pi^2 r_{ср} d_ш n_ш n_d}{V_б} . \qquad (20)$$

При $r_{ср} = d_ш/2$ путь трения будет равен:

$$_Т = \frac{\pi^2 d^2 n_ш n_d}{V_б} . \qquad (21)$$

Учитывая, что $V_б = n_d h$, получаем:

$$\ell_Т = \frac{\pi^2 d_ш^2 n_ш}{h} . \qquad (22)$$

Из формулы (16) следует, что с увеличением толщины среза h путь трения зубьев, а значит их износ, уменьшается. Это может достигаться увеличением осевой нагрузки и уменьшением скорости вращения долота $n_д$, что указывает на целесообразность силовых режимов резания.

Сопоставим пути трения зубьев долот с зубчато-дисковыми шарошками $\ell_Т$ и периферийных резцов режущих долот со стационарными резцами $L_Т$ одинакового диаметра.

Тогда из формул (17) и (20) следует соотношение:

$$К_Т = \frac{L_Т}{Т} = \frac{2rV_б}{\pi\ d_ш^2 n_ш}. \qquad (23)$$

Из формулы (16) находим $V_б / n_ш = \pi d_ш$. Подставляя это выражение в формулу (23) и учитывая, что при одинаковых диаметрах сравниваемых долот $d_ш = r$, получаем:

$$К_Т = \frac{L_Т}{Т} = 2. \qquad (24)$$

Сравнение путей трения показывает, что износостойкость вооружения долот с зубчато-дисковым вооружением, с учетом режимов трения, по крайней мере, в 2 раза выше, чем у РД со стержневыми резцами, что совпадает с утверждением работы ,относящейся к дисковым долотам.

Поскольку величина $n_ш$ изменяется пропорционально значениям $V_б$ и h, то из формул (19) и (20) следует, что для долот заданного диаметра путь трения (а значит, и $К_Т$ = 2) будет постоянным для всех условий (f и $V_б$) бурения, указанных в табл. 5.

Для конкретных условий, применительно к зубчато-дисковому долоту диаметром 244,5 мм при $d_ш$ = 0,117 м, $V_б$ = 2 м/мин, f = 3–4, $n_ш$ = 5,32 об/мин по формуле (21) имеем:

$$Т = \frac{\pi^2 d^2_ш n_ш n_d}{V_б} = \frac{3{,}14^2 \cdot 0{,}12^2 \cdot 5{,}32 \cdot 100}{2} = 37{,}76\ м. \qquad (25)$$

Тогда путь трения периферийного резца обычного режущего долота такого же диаметра, согласно (14), будет равен:

$$L_T = \pi dn = 3{,}14 \cdot 0{,}2445 \cdot 100 = 76{,}77\text{м}, \quad (26)$$

а соотношение пути трения периферийного резца режущего долота к пути трения долота ДРДФ составит:

$$K_T = \frac{L_T}{\ell_T} = \frac{76{,}77}{37{,}76} = 2{,}03. \quad (27)$$

Таким образом, выполненные выше теоретические выкладки и построенные формулы верны.

Значительное повышение износостойкости характеризуют также высокие значения коэффициентов эффективности резания $К_э$ и запаса рабочей кромки $К_з$, рассчитываемых по формулам (1) и (13).

Для определения коэффициентов эффективности резания $К_э$, запаса рабочей кромки $К_з$ и формы $К_ф$ составим схему (рис. 13), с помощью которой определим компоненты, содержащиеся в формулах (1)–(13), (табл. 8).

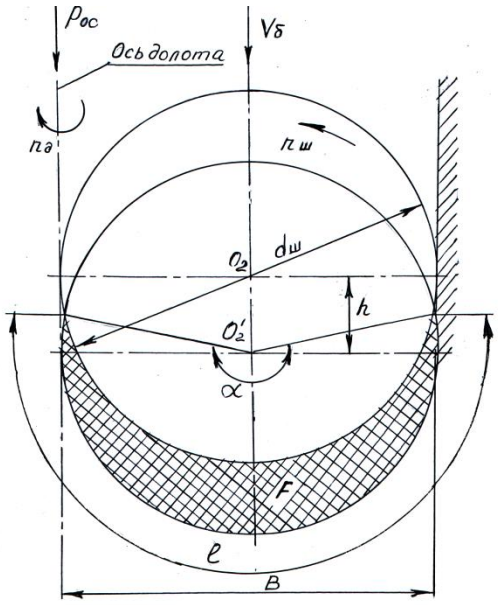

Рисунок 14. Схема к определению параметров зубчато-дисковой шарошки, характеризующих эффективность резания пород.

Таблица 8-Параметры зубчато-дисковой шарошки, характеризующие эффективность резания породы

h, мм/об	F, мм^2	ℓ, мм	B, мм	P, мм	C, мм
0,00485	3000	104/195	120	160/300	377
0,00465	2300	96/181	120	160/300	377
0,00442	1700	89/166	120	160/300	377
0,00424	1250	81/152	120	160/300	377
0,00374	910	73/138	120	160/300	377

Примечание. Символ h – внедрение долота в породу за 1 оборот; F – площадь поперечного сечения среза; ℓ – часть периметра режущей кромки, находящейся в зоне резания; B – проекция участка контактирующей с породой режущей кромки на плоскость, перпендикулярную направлению подачи шарошки; P – суммарная длина режущих кромок зубьев при прерывистой форме вооружения; C – длина окружности сплошной режущей кромки; в числителе – значения для штыревого вооружения; в знаменателе – значения для вооружения, выполненного из полукруглых пластин.

Расчетные значения коэффициентов $К_э$, $К_з$ и $К_ф$ для зубчато-дисковых долот, армированных твердосплавными штырями (первый вариант) и пластинами (второй вариант), приведены в табл. 9.

Таблица 9 - Величины коэффициентов эффективности резания $К_э$ запаса рабочей кромки $К_з$ и коэффициентов формы $К_ф$ для режущих долот с зубчато-дисковыми шарошками диаметром 244,5 мм

Степень крепости пород	Коэффициент крепости f	Внедрение долота h, м/об	Типы вооружения шарошек					
			Штыри (головка-клин)			Пластины полукруглые		
			$К_э$	$К_з$	$К_ф$	$К_э$	$К_з$	$К_ф$
Мягкие и довольно мягкие	1–2	0,00485	60	3,6	0,42	31	1,9	0,80
Средние	3–4	0,00465	46	3,9	0,42	24	2,1	0,80
Средние и довольно крепкие	5–7	0,00442	34	4,2	0,42	18	2,3	0,80
Крепкие	8	0,00424	25	4,7	0,42	13	2,5	0,80
Крепкие	10	0,00485	18	5,2	0,42	9	2,7	0,80

По табл. 9 можно видеть, что величины коэффициентов $К_ф$ и $К_з$ при штыревом вооружении значительно выше, чем при пластинчатом, соответственно, выше и $К_э$. Во всех случаях (для разного вооружения) коэффициент эффективности резания $К_э$ уменьшается с ростом крепости пород, что объясняется уменьшением площади поперечного сечения реза F. В породах с f = 1–2 величина h может превышать вылет штыря. В крепких породах (f = 8–10) соотношение между h и вылетом штыря иное. В этих условиях повышения $К_э$ можно достигнуть переходом на более низкие скорости вращения долота (80–50 об/мин) и повышенные осевые нагрузки, т.е. применением силовых режимов резания.

4. Экономическая часть

Конструктивной особенностью долота ДРДФ-244,5-2 является то, что оно разборное, при этом корпус в отличие от шарошечного долота имеет стойкость большую. На основании опытно-промышленных испытаний аналога данного долота ДЗДШ-244,5 (рис. 14) на ООО “Черногорская угольная компании”, были получены следующие результаты средней проходки которые указаны в таблице 8.

Рисунок 15. Долото ДЗДШ-244,5

Характеристика стоимости и стойкости долота ДРДФ-244,5-2 представлена в таблице 10.

Таблица 10 - Характеристика стоимости и стойкости долота ДРДФ-244,5-2

стоимость долота, тыс. руб./шт		Средняя проходка долота, п/м	
корпус	Фрезерные диски	корпус	Фрезерные диски
25	25	50000	5000-6000

На Изыхском и Восточно-Бейском угольных разрезах компании ЗАО «Хакасвзрывпром» применяется пять типов долот: 250,8 ТК3-ПГВ; 250,8 МГПВ; 215,9 ТЗПГВ; 215,9 JUNJIN 632Y; 215 JUNJINSA-SM635.

В табл. 11 отражены стоимость и стойкость долот, эксплуатируемых на Черногорском угольном разрезе за 2013 г.

Таблица 11-Характеристика стоимости и стойкости долот за 2013 г.

Тип бурового станка	СБШ-250-МНА-32		Alas Copco DML		
Тип шарошечного долота	ТКЗ-ПГВ 250,8	МГПВ 250,8	JUNJIN 632Y 215,9 (экспери-ментально)	JUNJIN SA-SM635 215	ТЗПГВ – 215,9
Средняя проходка долота, п/м	6228	3183,5	9800	11000	6899
Стоимость долота, тыс. руб./шт	47,880	38,000	75,000	85,500	45,000

Для сравнения возьмем первое долото типа ТКЗ-ПГВ250,8 у которого средняя проходка долота составляет 6228 п/м при стоимости 47880 рублей, и разработанного долота ДРДФ-244,5-2 на среднюю проходку до износа корпуса долота 50000 п/м. Возьмем минимальное значение проходки фрезерных дисков которое равно 5000 п/м. чтобы пробурить 50000 п/м потребуется 10 комплектов фрезерных дисков.

Общая стоимость разработанного долота до полного износа корпуса составит:

$$25000\text{руб} + 25000\text{руб} * 10 = 275000 \text{ руб};$$

Чтобы пробурить 50000 п/м долотом ТКЗ-ПГВ250,8 потребуется:

$$^{50000}/_{6228} = 8 \text{ шт};$$

Общая стоимость составит:

$$47880 * 8 = 383040 \text{ руб};$$

Экономия составит:

$$383040 - 275000 = 108040 \text{ руб};$$

Проведя аналогичные расчеты для всех типов долот получаем данные, которые приведены в таблице 12.

Таблица 12-Расчетные данные экономии до полного износа корпуса долота ДРДФ-244,5-2

Тип долота	Экономия, руб
ТКЗ-ПГВ 250,8	108040
МГПВ 250,8	499960
JUNJIN 632Y 215,9 (экспери-ментально)	100000
JUNJIN SA-SM635 215	152500
ТЗПГВ – 215,9	40000
итого	**900500**

Судя по данным приведенным в таблице 10, применение долота ДРДФ-244,5-2 позволит данному предприятию сэкономить как минимум 40 тыс. рублей при замене долота типа ТЗПГВ – 215,9.

5. Безопасность жизнедеятельности. Правила безопасности работы на буровых станках.

При эксплуатации буровых станков необходимо знать и соблюдать действующие нормы и правила безопасности, относящиеся к ведению буровзрывных работ на карьерах. Кроме этого, необходимо соблюдать следующие специальные требования:

1 К управлению станком и его обслуживанию допускаются лица, сдавшие установленный техминимум, прошедшие стажировку на рабочем месте и получившие соответствующее удостоверение;

2 Машинисты и помощники машинистов должны знать правила эксплуатации компрессоров и сосудов, работающих под давлением, установленных на станке;

3 Машинист станка является ответственным за соблюдение правил техники безопасности членами бригады в своей смене;

4 Перед началом работы необходимо:

а) проверить исправность заземления станка (при отсутствии заземления работать на станке запрещается) ;

б) произвести внешний осмотр питающих кабелей с целью определения их исправности.

в) убедиться в надежности крепления узлов и деталей станка, наличии и исправности ограждений. Ослабевшие гайки и болты нужно подтянуть и закрепить. При этом следует особое внимание обратить на крепление лестниц, трапов, а также узлов и деталей, расположенных на высоте;

г) проверить наличие и исправность инструмента, диэлектрических резиновых перчаток, галош и диэлектрических резиновых ковриков.

5 При производстве работ на мачте необходимо пользоваться предохранительным поясом. Производить ремонт двигателя вращателя на верху мачты разрешается только в дневное время.

6 Перед подъемом или опусканием мачты необходимо отгоризонтировать станок, убедиться в исправности гидроцилиндров мачты и их соединительных элементов с мачтой и опорами, а также их гидросистемы. Провести смазку опор цилиндров мачты.

7 Не допускается пребывание на станке посторонних лиц, за исключением техперсонала, проверяющего работы бригады.

8 Производство работ в ночное время разрешается только при исправной осветительной сети и достаточном освещении. Переносная электролампа с напряжением не более 36 В должна быть в исправном состоянии.

9 Перед пуском в работу механизмов, а также перед началом перемещения станка машинист должен убедиться, что выполнение этих операций не грозит опасностью лицам, находящимся на станке или в непосредственной близости от него.

10 При производстве ремонтных работ, связанных со снятием напряжения, необходимо на рычаг воздушного выключателя повесить плакат « Не включать, работают люди!»

11 При работе станка дверцы шкафов управления должны быть закрыты. Снимать ограждения с оборудования и оставлять токоведущие части открытыми запрещается.

12 Не реже одного раза в месяц необходимо производить проверку изоляции электрооборудования станка мегометром. В случае понижения сопротивления изоляции ниже допустимой нормы работа на станке запрещается.

13 Запрещается:

а) производить регулировку, смазку и ремонт механизмов во время их работы;

б) перемещение станка от скважины к скважине с поднятой мачтой по неспланированной площадке и с уклоном, превышающим $2\text{-}3^0$;

в) бурение и перемещение станка с поднятой мачтой без закрепления мачты в рабочем положении;

г) производить подключение и отключение кабеля к станку и к питающей сети. Выполнение этой работы разрешается электромонтерам, имеющим удостоверение соответствующей группы по технике безопасности.

14 При уходе со станка необходимо отключить питание станка электроэнергией.

15 Для замены долота на станках всех типов предусмотрены специальные приспособления. После установки и закрепления в приспособлении, долото отвинчивается сначала гидроключом, а затем электродвигателем. Свинчивание долота с концевой штангой производится ее вращением от приводного электродвигателя.

Заключение.

Изложенное выше позволяет дать следующую обобщающую конструктивно-технологическую оценку долота ДРДФ.

1. Использование опор скольжения обусловливает простоту технологии изготовления этих долот, позволяет резко снизить требования по точности и чистоте механической обработки деталей, упрощает их термическую обработку, а также сборку долот.

2. Разборность долот позволяет заменять изношенные детали и полнее использовать остальные, а также применять взаимозаменяемые вращающиеся резцы различных моделей, отличающиеся числом и формой зубьев, способом их армировки и т.д.

3. По сравнению с лопастными или зубчатыми долотами, режущие элементы которых неподвижны относительно корпуса и находятся в постоянном контакте с забоем скважины, резцы режущих зубчато-дисковых долот при вращении имеют переменный контакт зубьев с породой, характеризуются лучшими условиями охлаждения и температурным режимом, более равномерным износом и, как следствие, повышенной износостойкостью при бурении более крепких пород.

4. Выявленные кинематические особенности долота типа ДРДФ указывают на эффективность взаимодействия его вооружения с породным забоем скважины и целесообразность силовых режимов бурения, отличающихся повышенными скоростями вращения долота с ростом крепости горных пород.

5. Долото ДРДФ занимают промежуточное положение между лезвийными (режущими) и шарошечными долотами. От лезвийных (режущих) долот они отличаются большим ресурсом резцов и переменным (непостоянным) контактом зубьев с горной породой, а от шарошечных долот – кинематикой, наличием простейшей опоры скольжения, разборностью и ремонтопригодностью.

6. Разработанные долото режущего действия со сменными зубчато-дисковыми шарошками (ДРДФ) следует отнести к перспективному виду бурового инструмента, позволяющему расширить область эффективного применения высокоскоростного бурения резанием, включая уступы со сложной структурой пород, содержащих 20-40 % включений с f =8-14.

7. Разработанное долото более дешевое в изготовлении, большим плюсом является его разборность, что позволяет с экономить на комплектующие (фрезерные диски).

Список использованной литературы.

1. В.Д. Буткин, И.И. Демченко, “Буровые машины и инструменты” учебное пособие – 118 с, Красноярск 2012 г.
2. С.Б. Васильев, И.И. Демченко, “Буровые станки для открытых горных работ” лабораторный практикум – 114 с, Красноярск 2008 г.
3. М.С. Сафохин, Б.А. Катанов “Машинист бурового станка на карьере”- 306 с, Москва 1984 г.
4. В. Д. Буткин, А.В. Гилев, В.Т. Чесноков, Д.Б. Нехорошев, Р.А. Шаповаленко “ Опыт и развитие силового бурения резанием на карьерах” – м. макс пресс 2005 г.
5. Повышение эффективности эксплуатации буровой техники на горных предприятиях : монография / А. В. Гилёв, А. О. Шигин, В. Т. Чесноков, И. Р. Белозеров. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. – 372 с

Приложение