

**Б. А. СИМКИН Б. Н. КУТУЗОВ
В. Д. БУТКИН**

**СПРАВОЧНИК
ПО БУРЕНИЮ
НА КАРЬЕРАХ**

СПРАВОЧНИК



МИНИСТЕРСТВО ТЯЖЕЛОГО, ТРАНСПОРТНОГО
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ
ПО РУДГОРМАШ

Специальное конструкторское бюро
самоходного горного оборудования

СБШ-270 «КВАРЦИТ»

Предназначен для бурения на карьерах взрывных скважин диаметром 270 (250) мм, глубиной до 36 м и в породах и рудах с коэффициентом крепости $f = 8 \div 20$ по шкала проф. М.М. Прото-
дьяконова. Станок нормально работает при температурах от $+40^{\circ}\text{C}$ до -40°C .

СБШ-270 "КВАРЦИТ" имеет прогрессивную конструкцию, высокие технические параметры и надежность, обеспечивающие повышение производительности труда и снижение себестоимости буровых работ по сравнению со станком СБШ-250МНА, снижение затрат труда и времени на техническое обслуживание, безопасность работы обслуживающего персонала при эксплуатации, монтажных и ремонтных работах, комфортные условия труда буровой бригады.

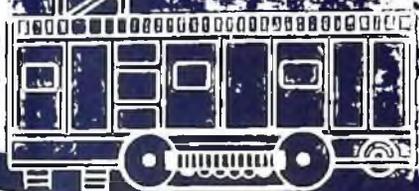
САМОХОДНЫЙ БУРОВОЙ ШИРОШЕЧНЫЙ СТАНОК СБШ-270 «КВАРЦИТ» ОСНАЩЕН:

- устройством автоматизированного управления процессом бурения;
- устройством автоматического горизонтирования;
- устройством контроля глубины пробуренной скважины;
- блокировкой привода хода с системой подачи бурового става;
- блокировкой привода насосной станции с напорной магистралью гидросистемы;
- системой смазки опор долот;
- забойным амортизатором и стабилизатором.

САМОХОДНЫЙ БУРОВОЙ ШАРОШЕЧНЫЙ СТАНОК

СБШ-270

«КВАРЦИТ»



При разработке станка использован опыт промышленной эксплуатации буровых станков на карьерах черной и цветной металлургии, а также лучших зарубежных аналогов.

СТАНОК СБШ-270 «КВАРЦИТ» РАЗРАБОТАН В ДВУХ МОДИФИКАЦИЯХ

для бурения на глубину 36 м с наращиванием бурового става и на глубину 18 м одной штангой без наращивания бурового става.

УПРАВЛЕНИЕ БУРОВЫМ СТАНКОМ производится машинистом бурового станка с пульта управления и в автоматизированном режиме, а гусеничным ходом — с выносного пульта.

Допускается буксировка станка СБШ-270 «КВАРЦИТ» по карьерным дорогам с помощью тягачей без нарушения линий электротяговых сетей.

РАЗРАБОТЧИК — ПО Рудгормаш — специальное конструкторское бюро самоходного горного оборудования.

ИЗГОТОВИТЕЛЬ — ПО Рудгормаш — Воронежский завод горно-обогатительного оборудования.

ЗА СПРАВКАМИ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:
141540 Поварово Московской обл., СКБСГО,
телефон 205638 НЕДРА

9005 054-25 114-1-06 11-7
0-37

**Б. А. СИМКИН Б. Н. КУТУЗОВ
В. Д. БУТКИН**

СПРАВОЧНИК ПО БУРЕНИЮ НА КАРЬЕРАХ

2-е ИЗДАНИЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ

Handwritten notes and signatures, including "Симкин Б. А." and "Курузов Б. Н.".

ГЕОТЕХНИКА
СПИСОК
Т. 3
№ 483,85



МОСКВА "НЕДРА" 1990

Handwritten notes at the bottom of the page, including "10/10/90" and "10/10/90".

ББК 33.13

С 37

УДК 622.233.012.3(035)

Симкин Б. А., Кутузов Б. Н., Буткин В. Д.

С 37 Справочник по бурению на карьерах. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1990. — 224 с.: ил.

ISBN 5-247-00541-4

Рассмотрены свойства горных пород, характеризующие их сопротивляемость разрушению при бурении взрывных скважин. Описаны способы бурения и конструкции бурового оборудования, даны его технические характеристики. Приведены классификации и области применения бурового инструмента; методы расчета параметров и оптимальных режимов бурения. Во втором издании (1-е изд. — 1981) уделено внимание системам автоматизированного управления процессом бурения, технико-экономическим показателям и нормативам буровых работ.

Для инженерно-технических работников горнодобывающей промышленности.

С $\frac{2502010300-200}{043(01)-90}$ 239-90

ББК 33.13

ISBN 5-247-00541-4

© Издательство «Недра», 1981

© Б. А. Симкин, Б. Н. Кутузов,
В. Д. Буткин, 1990, с изменениями и дополнениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современный этап развития производства энергетического, металлургического и горнохимического сырья характеризуется ускоренным развитием открытого способа добычи полезных ископаемых преимущественно на Востоке страны в районах со сложными горно-геологическими и климатическими условиями.

Начиная с 60-х годов, научно-технический прогресс в области бурения на карьерах базировался в основном на создании мощных высокопроизводительных станков вращательного действия и шарошечных долот, которые раньше использовались лишь для бурения скважин на нефть и газ.

В настоящее время шарошечное бурение стало основным, составляя более 80% общего объема буровых работ на карьерах. Начат выпуск новых шарошечных станков СБШ-2-150, 2СБШ-200-40, 3СБШ-200-60, 4СБШ-200-40, СБШ-250-32, СБШ-250-55. Готовятся к выпуску СБШ-250-36 и СБШ-160-48. Появились новые технические средства по бурению шпуров и механические средства для разрушения негабаритов горной массы, объемы которых существенно возросли.

В настоящее время горнодобывающая промышленность является крупнейшим потребителем шарошечных долот, качество изготовления которых улучшено, а конструкции — усовершенствованы. В дополнение к широко распространенным на карьерах шарошечным долотам типа К, ОК и Т созданы и применяются новые: М, МЗ и ТЗ диаметром 215,9; 244,5; 269,9 и 320 мм.

Созданы комбинированные термошарошечные станки СБШ-250-МНР для термического расширения скважин до 400—600 мм. Это позволяет на рудных карьерах расширить сетку расположения скважин и получить значительную экономию средств.

Начат выпуск усовершенствованной модели гидрофицированного шарошечного станка СБШ-160, который должен заменить станок БТС-150. Мобильная высокопроизводительная техника низкой единичной мощности весьма необходима для ведения буровзрывных работ на объектах небольшой годовой мощности в различных отраслях промышленности. То же относится к станкам для бурения контурных скважин.

Усовершенствовано оборудование для вращательного бурения резанием, которое преобладает на угольных разрезах и используется на карьерах горнохимического сырья. Внедряются

режущие долота новых типов ДР, НПИ, РД диаметром 125 и 160 мм со шнековой очисткой.

Наряду с вращательным бурением скважин малого диаметра (115 и 160 мм) со шнековым удалением буровой мелочи все шире применяется бурение скважин диаметром 214 и 243 мм с пневмоочисткой, при этом используются буровые долота ДР-214В, ДР-243В, РД-244,5 и др.

Испытаны комбинированные режуще-шарошечные и режуще-ударные инструменты, расширители скважин, забойные амортизаторы и различные (например, пневмоударные) интенсификаторы процесса бурения. Усовершенствованы погружные пневмоударники. На ряде карьеров буровые станки обслуживаются одним машинистом. Улучшены стоимостные показатели, увеличена производительность станков, повышена стойкость буровых долот.

Оборудование буровых станков системами автоматического управления (САУ) позволяет реализовать оптимальные режимы бурения.

Станки нового поколения должны иметь более высокие (не менее чем в 1,5—2 раза) технико-экономические показатели работы по сравнению с выпускаемыми в настоящее время. Ориентиры для их разработки в сопоставлении с показателями мирового уровня даны в настоящем справочнике, включая современные методы расчета параметров и основы выбора наилучших эксплуатационных условий.

В написании отдельных разделов справочника также принимали участие: А. С. Телешов (разд. 1,4); В. А. Зимин (разд. 3); В. А. Перетолчин, В. Е. Буданов (разд. 6); А. А. Жуковский (разд. 7); Ю. А. Данков, В. А. Перетолчин (разд. 8); В. М. Богоявленский, Л. В. Филатов (разд. 9 и 10).

Всем указанным специалистам авторы приносят искреннюю благодарность за участие в подготовке, предоставлении своего и подборке дополнительного материала для справочника.

1. ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД РАЗРУШЕНИЮ ПРИ БУРЕНИИ

Эффективность бурения скважин в первую очередь определяется скоростью бурения и величиной проходки на долото, которые зависят от физико-технических свойств горных пород. Важнейшие свойства горных пород, характеризующие их сопротивляемость разрушению при бурении: крепость, твердость или контактная прочность и абразивность.

Крепость горных пород. Наиболее широко применяется классификация горных пород проф. М. М. Протодьяконова (табл. 1.1).

Твердость — свойство горной породы сопротивляться внедрению в нее резца, зуба шарошки, пуансона или другого индентора. Разработано несколько методов определения твердости. Наиболее широко распространен метод Л. А. Шрейнера, по которому твердость определяется путем вдавливания в плоскую хорошо отшлифованную поверхность испытываемого образца породы штампа с использованием специального прибора УМГП-3.

В табл. 1.2 приведена классификация горных пород по твердости.

Контактная прочность пород. Л. И. Барон и Л. Б. Глатман предложили более простой метод определения твердости путем вдавливания пуансона в нешлифованную поверхность образца. При этом разрушающая нагрузка получается меньше, чем при вдавливании в шлифованную поверхность. Этот показатель называется контактной прочностью породы

$$p_k = \sum_1^n p/(nS),$$

где p — нагрузка в момент хрупкого разрушения (выкола лунки), Н; S — площадь штампа, см²; n — число опытов на одном образце породы.

Контактная прочность широко используется в инженерных расчетах (табл. 1.3).

Абразивность — способность горной породы изнашивать контактирующие с ней поверхности горного оборудования в процессе его работы. Абразивные свойства горных пород при бурении проявляются при движении резцов или зубьев долот по породе под определенной нагрузкой, когда происходит износ породы и буровых инструментов. Чем выше твердость отдель-

Таблица 1.1

Классификация горных пород по проф. М. М. Протодяконову

Категория	Степень крепости	Горные породы	Коэффициент крепости f
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты, исключительные по крепости другие породы	20
II	Очень крепкие	Очень крепкие гранитные породы. Кварцевый порфир, очень крепкий гранит, кремнистый сланец Менее крепкие, нежели указанные выше, кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки	15
III	Крепкие	Гранит (плотный) и гранитные породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Крепкий конгломерат. Очень крепкие железные руды	10
IIIa	То же	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит. Крепкие песчаники. Крепкий мрамор. Доломит. Колчеданы	8
IV	Довольно крепкие	Обыкновенный песчаник. Железные руды	6
IVa	То же	Песчанистые сланцы. Сланцевые песчаники	5
V	Средние	Крепкий, глинистый сланец Некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	4
Va	То же	Разнообразные сланцы (некрепкие), плотный мергель	3
VI	Довольно мягкие	Мягкий сланец. Очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс. Разрушенный песчаник, цементированная галька и хрящ, каменный грунт	2
VIa	То же	Щебнистый грунт. Разрушенный сланец, слежавшийся сланец, слежавшаяся галька и щебень, крепкий каменный уголь. Отвердевшая галька	2
VII	Мягкие	Глина (плотная). Мягкий каменный уголь. Крепкий иланос, глинистый грунт	1
VIIa	То же	Легкая песчаная глина, лесс, гравий	0,8
VIII	Землистые	Растительная земля. Торф, легкий суглинок, сырой песок	0,6
IX	Сыпучие	Песок, осипи, мелкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5
X	Плывучие	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лесс и другие разжиженные грунты	0,3

ных породообразующих минералов, тем больше абразивность породы. На абразивность породы значительно влияют форма и размер зерен породообразующих минералов. Абразивные свойства породы существенно зависят от степени ее неоднородности: при равной твердости минералов полиминеральные породы более абразивны, чем мономинеральные. Например, гранит, содержащий около 30% кварца, более абразивен, чем мономинеральный кварцит, состоящий полностью из кварца.

Таблица 1.2

Классификационная шкала горных пород по твердости (по Л. А. Шрейнеру)

Категория пород по буримости	Твердость по штампу $R_{ш}$, МПа	
	минимальная	максимальная
I	0	100
II	100	250
III	250	500
IV	500	1000
V	1000	1500
VI	1500	2000
VII	2000	3000
VIII	3000	4000
IX	4000	5000
X	5000	6000
XI	6000	7000
XII	7000	7000

Таблица 1.3

Классификация горных пород по контактной прочности

Категория пород	Характеристика пород по контактной прочности	Класс прочности	R_k , МПа
I	Слабые	1	300
		2	300—400
II	Ниже средней крепости	3	400—500
		4	500—650
III	Средней крепости	5	650—900
		6	900—1250
IV	Крепкие	7	1250—1750
		8	1750—2450
V	Очень крепкие	9	2450—3400
		10	3400—4500
VI	Крепчайшие	11	4500—5650
		12	5650

Примерное деление горных пород по абразивным свойствам и буримости для вращательного механического бурения скважин приведено в табл. 1.4.

Существует ряд способов количественной оценки абразивных свойств горных пород: *метод Л. И. Барона и А. В. Кузнецова* — по износу эталонного стержня при трении его о породу; *метод Е. Ф. Эшштейна* — по износу твердосплавных резцов при опытном бурении; *метод Л. А. Шрейнера, П. С. Баландина и А. И. Спивака* — по износу эталонного кольца при трении о породу.

Буримость горных пород количественно оценивается скоростью бурения v или обратной ей величиной — t_0 (время бурения единицы длины скважины) при заданных стандартных услови-

Таблица 1.4

Разделение горных пород по абразивным свойствам и буримости

Характеристика породы	Группа твердости	Категория пород по буримости
Малоабразивные породы Слегка затронутые выветриванием базальты, диабазы, лабрадориты, габбро, сенинты, пегматиты, пироксениты, диориты, андезиты, порфириды, амфиболиты, гнейсы, гранитоидеисы. Слабо окварцованные плотные известняки, кремнистые глинистые сланцы, хлорито-серпичитовые сланцы	Средней твердости	VII—IX
Наиболее твердые разновидности базальтов, диабазов, сенинтов, гранитов, пегматитов, габбро, гранодиоритов. Микрограниты, гнейсы, альбитофиры и кератофиры и др.	Твердые	IX—X
Крепкие, плотные мелкозернистые, сильно окремненные, окварцованные сливные породы — роговики, кварциты, яшмы, кремни, нефриты и др.	Очень твердые	XI—XII
Абразивные породы Аркозовые песчанки, сильновыветрелые, трещиноватые граниты, порфириды, гранодиориты, пегматиты; кварцевые породы — альбитофиры, порфиры и др.	Средней твердости	VII—IX
Твердые кварцевые песчанки, плотные магнетитовые и гематитовые руды, гранатовые скарпы, пористые кварциты, джеспилиты и др.	Твердые	IX—X
Сильно окремненные или окварцованные породы — роговики, кварциты, джеспилиты, скарированные породы, твердые корундовые породы, магнетито-гематитовые руды и др.	Очень твердые	XI—XII

ях — определенные типоразмеры бурового станка и инструмента и параметры режима бурения. Получаемая при этих условиях классификационная шкала буримости может быть использована только применительно к определенному виду техники и технологии бурения. При изменении типа бурового инструмента и режима бурения изменяется количественно и показатель буримости. Даже при постоянном режиме бурения принятым долотом в однородной породе показатель буримости изменяется в процессе проходки скважины вследствие износа бурового инструмента. Поэтому существующие классификации горных пород по буримости относительны, а создание единой классификации остается пока задачей нерешенной.

Таблица 1.5

Единая классификация горных пород Центрального бюро нормативов по труду (ЦБНТ)

Категория горных пород	Горные породы
I	Глина сухая, рыхлая в отвалах. Лессе рыхлый, влажный. Песок. Супесь рыхлая. Торф и растительный слой без корней.
II	Гравий. Суглинок легкий, лёссовидный. Торф и растительный слой с корнями или с небольшой примесью мелкой гальки и щебня
III	Галька размером от 10 до 40 мм. Глина мягкая жирная. Песчано-глинистые грунты. Дресва. Лед. Суглинок тяжелый. Щебень различных размеров
IV	Галька размером от 41 до 100 мм. Глина сланцеватая, моренная. Галечно-щебенистые грунты, связанные с глиной. Песчано-глинистые грунты с включением гальки, щебня и валунов. Соли мелко- и среднезернистые. Суглинки тяжелые с примесью щебня. Угли весьма мягкие
V	Алевриты глинистые, слабоцементированные. Аргиллиты слабые. Конгломераты осадочных пород. Марганцевые окисные руды. Мергель глинистый. Мерзлые породы I—II категорий. Песчаники слабоцементированные с песчано-глинистым цементом. Угли мягкие. Мелкие желваки фосфорита.
VI	Гипс пористый. Доломиты, затронутые выветриванием. Железная руда — сыпучая. Известняки оталькованные. Мерзлые породы III—IV категорий. Меловые породы мягкие. Мергель неизменный. Руды охристо-глинистые с включением желваков бурого железняка до 50%. Пемза. Сланцы углистые. Трепел. Угли средней крепости с ясно выраженными плоскостями напластования
VII	Алевриты плотные глинистые. Гипс плотный. Глины песчаные. Доломиты неизменные. Маритовые руды мягкие. Эмсевики оталькованные. Известняки мягкие. Ил плотный мелкозернистый. Конгломераты слабых осадочных пород с известково-глинистым цементом. Мергель известковый. Олоки топкозернистые. Сильвиниты с прослойками каменной соли. Сланцы сильновыветрелые: аспидные, хлоритовые, слюдяные. Сланцы охристые и углистые с прослойками глины. Соль каменная с мергелистыми прослойками и включением ангидрита. Солончак плотный. Угли выше средней крепости

Категория горных пород	Горные породы
VIII	<p>Антрациты и другие крепкие угли. Аргиллиты средней плотности. Глины отвердевшие. Железные руды мягкие. Змеевики с включением асбеста. Колчеданы зоны выщелачивания. Карналит. Ракушечник. Свинцово-цинковые окисленные руды. Сильвиниты мелкокристаллические. Сланцы: метаморфизованные хлоритовые, кальцито-хлоритовые, серпичитовые, кварцево-серпичитовые и серпичито-хлоритовые, глинистые, углисто-глинистые, слабо-песчанистые. Туфы выветрелые. Мерзлые породы VI—VII категорий</p>
IX	<p>Алевролиты песчано-глинистые. Антрациты плотные и весьма крепкие вязкие угли. Совершенно выветрелые каолинизированные граниты, гранодиориты, диориты. Диабазы совершенно выветрелые. Выветрелые железные руды пористые, известняки мергелистые Лимониты. Мел плотный. Песчаники выветрелые каолинизированные и глинистые крупнозернистые. Совершенно выветрелые каолинизированные порфириты, слениты. Соль калийная. Туфы, затронутые выветриванием</p>
X	<p>Апатитовая сахаровидная руда. Брекчии рудные. Граниты сильновыветрелые. Гипсо-ангидрит. Дуниты сильновыветрелые. Руды бурожелезняковые оолитовые. Змеевики сильновыветрелые. Известняки мергелистые средней крепости. Конгломераты с глинистым цементом. Сланцы глинистые, кристаллические, слюдяные, серпичитовые и талькохлоритовые, углистые и горючие. Сульфидные брекчиевидные и сульфидно-медноникелевые руды. Фосфориты слабоцементированные желваковые. Церусситовые руды. Перидотиты сильновыветрелые. Песчаники с глинистым цементом</p>
XI	<p>Алевролиты с включением кварца. Амфиболиты выветрелые. Аргиллиты плотные. Березиты выветрелые. Бокситы слабоуплотненные Брекчии джаспероидно-кварцевые и роговико-кварцевые, в значительной степени раздробленные. Гнейсы ботритовые и пироксеновые разрушенные. Сильновыветрелые гранодиориты, диабазы. Дуниты выветрелые. Руды гематитовые и мармитовые. Змеевики выветрелые. Известняки крупнозернистые, мраморизованные, доломитизированные. Кварциты выветрелые минерализованные. Колчеданные руды выветрелые. Марганцевые руды крупнозернистые. Перидотиты выветрелые. Песчаники с известковым цементом. Роговики выщелаченные железистые. Сланцы известково-хлоритовые, известково-глинистые, серпичитовые и кварцево-серпичитовые, амфиболовые, плотные глинистые. Сульфидные свинцово-цинковые руды. Медно-никелевые руды. Туфы альбитофирные, филлиты неокварцованные</p>

Категория горных пород	Горные породы
XII	<p>Выветрелые андезиты. Апатит-нефелиновая руда. Аргиллиты весьма плотные. Ангидриты. Базальты, затронутые выветриванием. Березиты слабовыветрелые. Бокситы плотные. Выветрелые: габбро, гнейсы, граниты, диабазы. Диориты выветрелые крупнозернистые. Доломиты плотные. Дуниты сильносерпентинизированные. Змеевки неизменные. Известняки среднезернистые плотные доломитизированные. Кварцево-турмалиновые выветрелые породы и кварцевые жильные породы с преобладанием сульфидов. Кварцево-карбонатные породы. Кварциты слабовыветрелые минерализованные. Медно-колчеданные руды.</p> <p>Конгломераты с галькой из изверженных пород с известковым цементом. Липариты сильновыветрелые. Песчаники аркозовые медистые. Полиметаллические руды среднезернистые. Порфириды сильновыветрелые кварцевые. Роговики пироксен-плагиоклазовые. Выветрелые сyenиты, скарны. Сланцы бескварцевые: хлоритовые, хлорит-серпентитовые, крепкие глинистые. Фосфориты пластиковые. Слабые хромитовые руды в серпентинитах</p>
XIII	<p>Амфиболиты среднезернистые. Андезиты крупнозернистые выветрелые. Березиты невыветрелые. Габбро крупнозернистые, выветрелые. Слабовыветрелые граниты, гранодиориты, диабазы. Диориты выветрелые среднезернистые. Железные руды магнетитовые крупнозернистые и маритовые плотные Зеевики плотные. Известняки мелкозернистые доломитизированные и слабоскарнированные. Кварциты крупнозернистые выветрелые. Кератофиры оруденелые кварцевые. Колчедан медный. Липариты выветрелые крупнозернистые. Магнетиты мелкокристаллические. Мончикиты выветрелые. Руды пентландитовые и пирротитовые медно-никелевые. Песчаники медистые мелкозернистые с известково-кремнистым цементом. Пироксениты оруденелые. Руды полиметаллические с кварцем. Порфиры выветрелые крупнозернистые кварцевые. Роговики оруденелые баритовые. Сyenиты выветрелые крупнозернистые. Сидериты неизменные. Руды сульфидные массивные. Хромитовые руды в серпентинитах</p>
XIV	<p>Андезиты среднезернистые выветрелые. Березиты плотные. Габбро измененные. Крупнозернистые: гнейсы, граниты, гранодиориты. Джемперонды дробленые и интенсивно трещиноватые. Диабазы крупнозернистые. Руды крупнозернистые магнетито-гематитовые. Змеевки весьма плотные. Известняки тонкозернистые, баритизированные плотные и доломитизированные очень плотные. Кварцевые золотоносные жилы с большим содержанием сульфидов. Кварциты трещиноватые минерализованные. Липариты выветрелые среднезернистые. Магнетиты окварцованные. Меднопорфиновые крупнозернистые руды. Опоки кремнистые. Пегматиты слюдяные оловосодержащие. Перидотиты слабовыветрелые. Песчаники плотные среднезернистые. Пироксениты измененные. Порфиры выветрелые</p>

Категория горных пород	Горные породы
	среднезернистые кварцевые. Роговики оруденелые. Спенины среднезернистые. Скарны слабыветрелые. Сланцы окварцованные глинистые, углистоглинистые, хлоритовые, серпичитовые, крепкие глинистые, песчанистые, филлиты. Сульфидно-магнетитовые руды. Титано-магнетитовые руды крупнозернистые. Титано-магнетитовые руды крупнозернистые. Туфопесчаники. Плотные хромитовые руды в серпентинитах
XV	Альбитофиры неизменные. Амфиболиты мелкозернистые. Березитовые окварцованные золотосодержащие. Среднезернистые граниты, гранодиориты. Джесперионды трещиноватые. Джеспилиты, затронутые выветриванием. Диабазы среднезернистые. Доломиты окварцованные. Руды рассланцованные магнетитовые, гематитовые и кремнистые бурые железняки. Мраморы. Кварц жильный трещиноватый. Кератофиры неизменные. Колчедан окварцованный. Конгломераты из галек изверженных пород с кремнистым цементом. Руды браунит-псило-мелановые. Мончикиты, не затронутые выветриванием. Пироксениты оловосодержащие. Руды полнметаллические мелкозернистые с преобладанием пирита. Гранит-порфиры весьма плотные мелкозернистые кварцевые. Руды свинцово-цинковые сурьмяные с прожилками кварца. Скарны с оруденением. Сланцы аспидные. Туфы порфириновые. Туффиты известковые пористые. Туфобрекчин альбитофиров. Филлиты
XVI	Альбитофиры кварцевые. Базальты пористые. Габбро среднезернистые. Габбро-амфиболиты. Среднезернистые гнейсы. Диориты с включением рудных минералов. Дуниты среднезернистые. Магнетитовые руды с включением скариновых минералов. Известняки сильно окварцованные. Кварцево-турмалиновые породы и кварцевые жилы с небольшим содержанием сульфидов. Кварциты вторичные и с прослойками железной руды. Кварциты мелкозернистые. Колчеданы сильноокварцованные. Липариты мелкозернистые. Руды браунитовые. Перидотиты среднезернистые. Песчаники кремнистые. Порфиры среднезернистые кварцевые. Порфириты среднезернистые кварцевые. Роговики гидрогематитовые. Сидериты кремнистые. Скарны гранато-пироксеновые. Фосфориты кремнистые. Хромитовые руды мелкозернистые
XVII	Альбитофиры плотные кварцевые. Базальты среднезернистые. Мелкозернистые габбро, граниты, гранодиориты. Грейзены среднезернистые. Джесперионды сильноокремненные. Джеспилиты плотные. Диабазы мелкозернистые. Диориты окварцованные. Дуниты плотные. Руды мелкозернистые магнетито-гематитовые. Змеевики кремнистые. Известняки кремнистые. Кварц жильный без сульфидов. Микрокварциты с суль-

Категория горных пород	Горные породы
	фидами. Колчеданы тонкозернистые окварцованные. Пегматиты слабые Песчаники кремнистые плотные. Порфиры очень плотные кварцевые. Роговики с кварцево-турмалиновыми прожилками. Спелиты плотные и нефелиновые. Скарны датолит-геденбергитовые. Трахиты среднезернистые. Яшмы плотные
XVIII	Андезиты плотные. Базальты мелкозернистые. Гнейсы биотитовые, биотит-гранатовые и пироксеновые, окварцованные. Грейзены кварцевые. Мелкозернистые диориты. Кварцевые брекчии с кварцевым цементом. Микрокварциты с прожилками кварца. Кератофиры мелкозернистые. Песчаники плотные кварцитовые. Спелит-порфиры. Порфиры кварцевые. Порфиры мелкозернистые весьма плотные. Роговики железистые. Спелиты плотные мелкозернистые. Скарны мелкозернистые. Сланцы яшмовидные кремнистые. Титано-магнетитовые руды мелкозернистые. Трахиты мелкозернистые весьма плотные. Яшмы весьма плотные
XIX	Альбитофиры сильноокварцованные мелкозернистые. Весьма плотные андезиты, базальты. Микрограниты. Джеспилиты очень плотные. Весьма плотные диабазы, диориты. Руды плотные гематитовые, микрокварциты неизменные. Колчеданные мелкозернистые сильноокварцованные брекчиевидные руды. Песчаники неизменные, кварцитовидные. Порфириты весьма плотные, совершенно не затронутые выветриванием. Роговики весьма плотные железистые. Скарны окремненные. Титано-магнетитовые руды весьма плотные. Яшмы неизменные
XX	Неизменные сливные андезиты, джеспилиты. Базальты. Железные руды неизменные гематито-сливные. Кварц сливной. Кремль. Микрокварциты очень плотные сливные. Роговики магнетито-рогово-обманковые и магнетитовые. Скарны интенсивно окремненные. Титано-магнетитовые неизменные — сливные руды. Яшмы в высшей степени плотные — сливные

Таблица 1.6

Классификация горных пород по буримости

Класс породы	Горные породы	Время (мин) чистого бурения 1 м шурва буровыми		Подвигание (мм) забоя шурва за 1 мин чистого бурения буровыми	
		стальными	армированными ВК-15	стальными	армированными ВК-15
1	В высшей степени труднобуримые В высшей степени плотный, сливной кварц без сульфидов. Плотные яш-	83	32	12	31

Класс породы	Горные породы	Время (мин) чистого бурения 1 м шпура бурями		Подвигание (мм) забоя шпура за 1 мин чистого бурения бурями	
		стальными	армированными ВК-15	стальными	армированными ВК-15
	мы и микрокварциты. Оливиновые и лабрадоровые базальты. В высшей степени плотные роговики				
2	В высшей степени плотные кварциты, железистые роговики, базальты, диабазы, порфириты, кварцевые порфириты, кератофирры петрещиноватые без малейших следов выветривания и выщелачивания. Очень плотный кварц без сульфидов	67	25	15	40
3	В высшей степени плотные кварциты, порфириты, магнетиты, железистые роговики, базальты и диабазы, содержащие следы сланцеватости. неизменные микрограниты, сенинты. Золото-олово-молибдено - вольфрамоносный плотный жильный кварц. В высшей степени плотные безрудные скарны	50	20	20	50
	Очень труднобуримые				
4	Очень плотные и другие кварциты, железистые роговики, андезиты, базальты и диабазы. Гранит мелкозернистый. Очень плотные мелкозернистые диориты, гранодиориты, сенинты, габбро. Очень плотные гранато-пироксеновые минерализованные (вольфрамовые, молибденовые и др.) скарны	40	17	26	60
5	Кварцевый порфир. В высшей степени плотная, мелкозернистая, магнетитовая железная руда. Плотный жильный кварц с сульфидами. В высшей степени плотные мелкозернистые окварцованные песчаники. Плотные гнейсы и трахиты. Среднезернистые граниты и сенинты. Неизменные платиносодержащие дуниты. Гранато-пироксеновые скарны с кальцитом и другими минералами	33	13	30	75

Продолжение табл. 1.6

Класс пород	Горные породы	Время (мин) чистого бурения 1 м шпура бурями		Подвигание (мм) забоя шпура за 1 мин чистого бурения бурями	
		стальными	армированными ВК-15	стальными	армированными ВК-15
6	<p>В высшей степени плотная магнетито-гематитовая железная руда. Плотные кварциты. Очень плотный кремнистый песчаник, окварцованные известняки. Очень плотная равномерно-зернистая хромитовая руда. Золото-содержащий окварцованный березит. Окремненные бурые железняки. Слабовыветрелые породы: трахиты, сиениты, андезиты, базальты, порфиристы, диабазы, крупнозернистые гнейсы, гранодиориты, диориты, перидотиты, кварцево-турмалиновые породы, кварцевые порфиры, кератофиры, габбро, пироксениты. Слюдистые оловосодержащие пегматитовые данки. Конгломерат из изверженных пород на кремнистом цементе. Плотные мелкозернистые свинцово-цинковые и сурьмяные руды с кварцем, серный колчедан. Выветрелые скарны. Плотные медно-никелевые руды</p>	25	11	40	90
7	<p>Труднобуримые</p> <p>Плотный крупнозернистый гранит и гранитные породы. Очень плотная, крупнозернистая магнетит-гематитовая железная руда. Плотные кварцевые песчаники. Крупнозернистый сиенит. Очень плотные окварцованные доломиты. Очень плотные буро-железняки. Пентландитовые и пирротиновые медно-никелевые руды. Хлоритовые сланцы, обогащенные пиритом, халькопиритом и другими сульфидами. Плотные змеевики (серпентиниты). Медно-порфировые руды. Доломитизированные слабоскарнированные известняки. Никельсодержащие серпентиниты. Конгломераты с галькой из изверженных пород на известковом цементе</p>	20	9	50	110

Класс породы	Говные породы	Время (мин) чистого бурения 1 м шпура бурями		Подвигание (мм) забоя шпура за 1 мин чистого бурения бурями	
		стальными	армированными ВК-15	стальными	армированными ВК-15
8	Плотные известняки, песчаники, медный колчедан, гематито-мартитовая железная руда, березиты. Плотная равномерно-зернистая хромитовая руда в серпентинитах. Слабовыветрелые диориты, граниты, спениты, диабазы, протеробазы, андезиты, липариты, кварцевые порфиры. Сланцы: слюдяные, хлоритовые, серпичитовые со значительным содержанием кварца. Медный колчедан. Аркозовые медистые песчаники, ртутные руды	15	9	65	130
9	Выше средней буримости Песчаники Выветрелые граниты, гнейсы, габбро, диориты, кварцевотурмалиновые породы. Сильновыветрелые диабазы, протеробазы, андезиты, амфиболиты, липариты, порфиры. Хромовые руды в серпентинитах. Кварцевые жильные руды с преобладанием сульфидов. Кварцево-карбонатные породы. Сидерит, магнезит. Эмсевик оталькованный Известняк. Плотные золотосодержащие бариты. Слабовыветрелый минерализованный кварцит. Мартитовые руды	12	6	85	160
10	Ниже средней буримости Сильновыветрелые минерализованные кварциты. Мел, обыкновенный мергель, совершенно выветрелый песчаник, галька и щебенка на известковом цементе, каменный грунт. Совершенно выветрелые (каолинизированные) коренные породы: граниты, порфириты и пр. Глинистые крупнозернистые песчаники. Выветрелые пористые известняки. Мерзлые плотные глины. Антрациты слитные	4	2,9	250	350
11	Щебенистый грунт. Совершенно выветрелые сланцы: углистые, тальково-хлоритовые, слюдяные. Церуситовые руды. Каолинизированные про-	3,1	2,5	325	400

Класс породы	Горные породы	Время (мин) чистого бурения 1 м шпура бурями		Подвигание (мм) забоя шпура за 1 мин чистого бурения бурями	
		стальными	армированными ВК-15	стальными	армированными ВК-15
	дукты выветривания. Сахаровидная апатитовая руда. Выщелоченный колчедан. Колчеданная «сыпучка». Каменные угли слитные. Антрациты. Конгломераты с галькой из осадочных пород на известково-глинистом цементе				
12	Легкобуримые Гипс. Конгломераты из слабых осадочных пород на глинистом цементе. Мерзлый крупнозернистый песок, плотный маловодный ил. Каменные угли с ясно выраженным кливажом. Бурые угли без признаков кливажа	2,4	2	425	500
13	Слабовыветрелые березиты. Апатито-нефелиновые руды. Плотные бокситы. Бескварцевые хлорито-талковые, гальково-серпичитовые, хлорито-серпичитовые, серпичитовые и другие сланцы	9	5	110	200
14	Средней буримости Песчаники на известковом цементе. Известняк. Выветрелые минерализованные кварциты. Выветрелые колчедановые руды. Бокситы. Сланцевые песчаники. Крупнозернистые сульфидные свинцово-цинковые руды. Выветрелые дуниты, перидотиты и змеоциты. Выветрелые березиты. Пористые бурые железняки. Конгломераты с галькой из осадочных пород на кремнистом и известково-кремнистом цементе	7	4	150	250
15	Сильновыветрелые коренные породы: диориты, граниты, сенииты, порфиры, габбро, березиты. Сульфидно-кварцевые сильновыветрелые жилы. Выветрелые сланцы: слюдяные, хлоритовые, серпичитовые. Железная шляпа. Антрациты слитные с включением колчедана	5	3,3	200	300

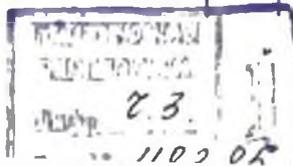


Таблица 1.7

Классификация грунтов и пород по СНиПу

Грунт и порода	Время чистого бурения 1 м шпура буряльным молотком ОМ-506, мин	Группа грунтов и пород
Ангидрид	5—6,6	VI
Бокситы плотные	5—6,6	VI
Вечномерзлые и мерзлые сезоннопротаивающие грунты:		
растительный слой, торф, заторфованные грунты, пески, супеси, суглинки и глины	—	IV
пески, супеси, суглинки и глины с примесью гравия, гальки, дресвы, щебня и валунов (валунов до 10% по объему), а также моренные грунты и речные отложения с содержанием крупной гальки и валунов до 30% по объему	—	V
то же, с примесью валунов более 10% гравийно-галечные и щебеночно-дресвяные грунты, а также моренные грунты и речные отложения с содержанием крупной гальки и валунов до 50% по объему	—	VI
моренные грунты и речные отложения с содержанием крупной гальки и валунов до 70% по объему	—	VII
то же, с содержанием крупной гальки и валунов более 70%	—	VIII
Галька и гравий размером:		
<80 мм	—	II
>80 мм с примесью валунов	—	III
Гипс	<0,22	IV
Глина:		
мягко- и текучепластичная с примесью гальки, гравия и щебня до 10% по объему	—	II
то же, с примесью гальки, гравия и щебня более 10% по объему, а также тугопластичная и полутвердая	—	III
твердая	<0,22	IV
Грунт растительного слоя:		
без корней кустарников и деревьев	—	I
с корнями кустарников и деревьев, а также с примесью гравия, щебня или строительного мусора	—	II
Диабаз:		
сильновыветрелый	9—12,1	VIII
слабовыветрелый	12,2—16,5	IX
крепкий, не затронутый выветриванием	16,6—22	X
особо крепкий, не затронутый выветриванием	22,1 и более	XI
Доломит:		
мягкий, пористый, выветрелый	5—6,6	VI
плотный	6,7—8,9	VII
крепкий	9—12,1	VIII
Дресва	До 3,7	IV

Грунт и порода	Время чистого бурения 1 м шпура бурильным молотком ОМ-506, мин	Группа грунтов и пород
Змеевик (серпентинит):		
выветрелый	3,8—4,9	V
средней крепости	5—6,6	VI
крепкий	6,8—8,9	VII
Известняк:		
мягкий, пористый, выветрелый	3,8—4,9	V
мергелистый слабый	5—6,6	VI
мергелистый плотный	6,7—8,9	VII
крепкий доломитизированный	9—12,1	VIII
плотный окварцованный	12,2—16,5	IX
Кварцит:		
сланцевый выветрелый	6,7—8,9	VII
сланцевый	12,2—6	VIII
с заметной сланцеватостью	12,2—16,5	IX
без сланцеватости	16,5—22	X
мелкозернистый	22,1 и более	XI
Конгломераты:		
слабосцементированные	<37	IV
из осадочных пород на глинистом цементе	3,8—4,9	V
из осадочных пород на известковом цементе	5—6,6	VI
из осадочных пород на кремнистом цементе	6,7—8,9	VII
с галькой из изверженных пород на известковом и кремнистом цементе	9—12,1	VIII
Коренные глубинные породы (граниты, гнейсы, диориты, слениты, порфириды, габбро и др.):		
крупнозернистые выветрелые и дресвяные	3,8—4,9	V
среднезернистые выветрелые	5—6,6	VI
мелкозернистые выветрелые	6,7—8,3	VII
крупнозернистые, не затронутые выветриванием	9—12,1	VIII
среднезернистые, не затронутые выветриванием	12,2—16,5	IX
мелкозернистые, не затронутые выветриванием	16,6—22	X
микрозернистые, не затронутые выветриванием	22,1 и более	XI
Коренные излившиеся породы (андезиты, базальты, трахиты и др.):		
сильновыветрелые	6,7—8,9	VII
слабовыветрелые	9—12,1	VIII
со следами выветривания	12,2—16,5	IX
без следов выветривания	16,6—22	X
микроструктурные, не затронутые выветриванием	22 и более	XI
Кремень	22,1 и более	XI
Лёсс:		
естественной влажности и рыхлый	—	I
то же, смешанный с гравием, галькой или щебнем	—	II
отвердевший (сухой)	—	III
Мел:		
мягкий	<3,7	IV
плотный	3,8—4,9	V

Грунт и порода	Время чистого бурения 1 м шпура бурильным молотком ОМ-506, мин	Группа грунтов и пород
Мергель:		
мягкий	<3,7	IV
средней крепости	3,8—4,9	V
крепкий	5—6,6	VI
Моренные грунты и речные отложения с содержанием крупной гальки и валунов по объему:		
до 30%	—	IV
до 50%	—	V
до 70%	—	VI
более 70%	—	VII
Мрамор	6,7—8,9	VII
Опоки	<3,7	IV
Пемза	3,8—4,9	V
Песок:		
естественной влажности с примесью гальки, щебня или гравня до 10% по объему	—	I
то же, с примесью гальки, щебня или гравня более 10%	—	II
по объему сухой сыпучий, барханный и дюнный	—	II
Песчаник:		
выветрелый	3,8—4,9	V
слабый на известковом цементе	5—6,6	VI
глинистый	5—6,6	VI
плотный	6,7—8,9	VII
на кварцевом цементе	9—12,1	VIII
кремнистый, очень плотный	9—12,1	VIII
Ракушечник	3,8—4,9	V
Сланцы:		
выветрелые	До 3,7	IV
глинистые средней крепости и слабыветрелые	3,8—4,9	V
крепкие	5—6,6	VI
окварцованные и слюдяные	6,7—8,9	VII
песчанники крепкие	9—12,1	VIII
окремненные	16,6—22	X
кремнистые	22,1 и более	XI
Солончак и солонец:		
мягкий	—	II
отвердевший	<3,7	IV
Суглинок:		
с примесью гальки, щебня или строительного мусора до 10% по объему	—	I
то же, более 10% по объему	—	II
Супесок:		
с примесью гравия, гальки, щебня или строительного мусора до 10% по объему	—	I
то же, более 10% по объему	—	II
Строительный мусор	—	III

Грунт и порода	Время чистого бурения 1 м шпура бурильным молотком ОМ-506, мин	Группа грунтов и пород
Торф:		
без корней	—	I
с корнями	—	II
Трелел:		
слабый	<3,7	IV
плотный	3,8—4,9	V
Туф	3,8—4,9	V
Чернозем и каштановый грунт:		
естественной влажности	—	II
отвердевший (сухой)	—	III
Щебень всех размеров	—	II
Шлак:		
котельный	—	I
металлургический выветрелый	—	III
металлургический неветрелый	<3,7	IV

Примечание. Время чистого бурения 1 м шпура для пневматических бурильных молотков ПР-24ЛГБ, ПРО-24ЛУ, ПР-24ЛУ, ПР-24ЛУБ, ПР-18ЛУ, ПР-22, ПР-30ЛУ, ПР-30ЛУС и ПР-30 следует умножать на коэффициент 0,5; для молотков ПР-30ЛУБ, ПР-30К, ПР-30КС и ПР-30РУ — на коэффициент 0,7, для молотков ПР-19, ПР-35 и ПМ-508 — на коэффициент 0,8.

В практике известен ряд специализированных классификаций (шкал) буримости для различных способов бурения и типоразмеров бурового инструмента. Они необходимы главным образом для нормирования буровых работ и могут быть использованы с этой целью совместно с единой классификацией горных пород Центрального бюро нормативов по труду (ЦБНТ), предназначенной для установления норм выработки (времени) и нормативов на бурение скважин станками шарошечного и вращательного бурения на карьерах (табл. 1.5).

Классификация горных пород по буримости (табл. 1.6) характеризуется по методике проф. А. Ф. Суханова временем чистого бурения 1 м шпура или подвиганием забоя шпура за 1 мин чистого бурения. Буримость определяется в стандартных условиях (бурильные молотки ПА-23, шпуры глубиной 1 м при давлении сжатого воздуха 400 ± 25 кПа и диаметре головки бура 42 мм).

При оперативном нормировании буровзрывных работ применяется классификация по СНиПу (табл. 1.7).

При отсутствии бурильных молотков и компрессоров в порядке исключения допускается определять группы грунтов и пород по средним затратам времени на бурение 1 м скважины или шпура станками или сверлами, используемыми на карьере. Группу устанавливают сравнением результатов наблюдений

Время чистого бурения I и скважины буровыми станками в скальных породах (мин)

Буровой станок	Тип станка	Длина левого долота, коронки резца, мм	Группа пород по СНиПу							
			IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
С погружным пневмоударником	СВМК-5	105	2,3	2,4—3,4	3,5—5,9	6—9,4	9,5—15,7	15,8—25,6	25,7—42,1	42,24
	СБУ-100Г	105	4	4,1—5,3	5,4—8,2	8,3—11,5	11,6—17,2	17,3—24,5	24,6—36	36
	СБУ-125	125	4,2	4,3—5,7	5,8—8,8	8,9—12,3	12,4—18,2	18,3—26,1	26,2—28,2	38,2
	ШПА-2	105	4,2	4,3—5,7	5,8—8,6	8,7—12,1	12,2—18	18,1—25,7	25,8—37,8	37,8
	УРАЛ-64	160	2,3	2,4—3	3,1—4,7	4,8—6,4	6,5—9,7	9,8—14,6	14,7—24,3	24,3
Шарошечного бурения	2СБШ-200Н	215,9	1,5	1,6—2	2,1—3,1	3,2—4,6	4,7—7,1	7,2—11,6	11,6	—
	2СБШ-200	215,9	1,7	1,8—2,4	2,5—3,9	4—5,8	5,9—8,9	9—14,6	14,6	—
		244,5	1,9	2—2,8	2,9—4,5	4,6—6,4	6,5—10,1	10,2—16,4	16,4	—
Вращательного бурения	СВБ-2М	160	1,7	1,8—2,8	2,9—5,4	5,4	—	—	—	—
	УГБ-50М	135	0,8	0,9—1,3	1,4—2,6	—	—	—	—	—
		151,5	1,3	1,4—2,4	2,5—4,5	—	—	—	—	—
		244,3	1,4	1,5—2,7	2,8—5	—	—	—	—	—
Ударно-катанного бурения	БС-1М	215,9	9	9,1—11,9	12—17,4	17,5—24,9	25—38,6	38,7—56,3	56,4—91,2	91,2

Таблица 1.9

Сопоставление коэффициента крепости f и категории породы по шкале ЦБНТ с удельной энергоемкостью бурения

Породы	Коэффициент крепости породы f	Удельная энергоемкость бурения, МДж/м	Категория породы по шкале ЦБНТ
Кимберлиты	4—6	1,08—3,24	VI
Аргилляты	4—6	2,16—4,32	VI—IX
Каройские сланцы	5	2,16—6,84	VI—XII
Кремнистые фосфориты	10—12	4,32—5,76	IX—XI
Глубо плитчатые фосфато-кремнистые сланцы	8—10	4,68—6,48	X—XII
Массивные мелкозернистые доломиты	8—10	5,4—6,84	XI—XII
Массивные стекловидные кремни	12—14	4,68—9,0	X—XIII
Каолинизированные вторичные кварциты	4—7	1,8—2,52	VI
Каолинизированные гранодиориты	4—5	2,16—3,24	VII
Вторичные кварциты по эффузивам	7—10	2,52—3,24	VII
Мрамор кристаллический серый	6—10	3,6—6,46	VIII—XI
Песчаники	9	3,6—4,32	VIII—IX
Каолинизированный сиенитодiorит	8—12	3,6—4,68	IX—X
Вторичные кварциты по гранодиоритам	12	3,6—4,68	IX—X
Скарны гранатомые	10—12	5,04—6,46	X—XI
Вторичные кварциты по гранодиоритам, моноклинные	14—15	6,48—7,2	XII—XIII
Вторичные кварциты моноклинные	12—16	6,48—7,3	XII—XIII
Сиениты крупноблочные	12—14	7,3—8,28	XIII
Гранодиорит-порфиры	15—17	7,2—8,64	XIII
Гранодиориты	17	9,0—12,6	XIV—XV
Дайки диоритовые порфиритов	17—18	12,6—14,4	XV—XVI
Ороговикованные песчаники	20	10,8—14,4	XV—XVI
Ороговикованные туфоалевролиты	12—20	14,4—19,8	XVI—XVIII
Песчаники на известковом цементе	6—8	5,04—6,46	XI—XII
Аспидные сланцы	8—10	6,46—8,28	XII—XIII
Хлоритовые сланцы	8—10	5,04—6,46	XI—XII
Карбонато-магнетитовые роговики	10—14	5,76—7,2	XI—XII
Песчаник крепкий	10—12	8,64—9,36	XIII
Мартиито-гематитовые роговики	16—20	8,64—11,52	XIII—XV

с данными табл. 1.8. Пробное бурение должно охватывать проходку не менее трех скважин, глубина которых выбирается по проекту или паспорту ведения взрывных работ на данном карьере. По результатам наблюдений определяют средние арифметические затраты времени чистого бурения 1 м скважины, которое измеряют с точностью до 30 с, а длину скважин — с точностью до 0,1 м.

Сопоставление коэффициента крепости горных пород и категорий пород по классификации ЦБНТ с удельной энергоемко-

Таблица 1.10

Стандартные условия бурения станками 2СБШ-200, 2СБШ-200Н
для определения буримости горных пород

Группа горных пород по буримости	Коэффициент крепости породы f	Контактная прочность p_k , МПа	Осевое усилие на долото, кН	Частота вращения долота, мин ⁻¹	Скорость бурения, см/м		Категория пород по классификации ЦБНТ
					от	до	
I. Легкобуримые	<5,0	до 500	80—120	110—150	39	58	VII
					59	81	VIII
					81	105	IX
					106	130	X
II. Средней буримости	5,0—8,0	500—1000	100—160	80—120	130	156	XI
					156	183	XII
					184	210	XIII
III. Труднобуримые	8,0—16,0	1000—1500	160—200	60—80	211	251	XIV
					252	300	XV
					300	360	XVI

Примечание. Бурение производится шарошечными долотами типа 111215,9ТПВ диаметром 215,9 мм.

стью бурения дает возможность приближенных количественных оценок производительности буровых станков (табл. 1.9).

Академик В. В. Ржевский при оценке буримости рекомендует принимать относительный (безразмерный) показатель трудности бурения породы P_6 , полагая, что при разрушении породы в процессе бурения решающее значение имеет предел прочности породы на сжатие и сдвиг. Показатель трудности бурения должен учитывать также плотность пород.

По величине P_6 все породы при механических способах бурения подразделяются по буримости на пять классов, в каждый из которых входят пять категорий, отличающихся на единицу: I класс — легкобуримые ($P_6=1\div 5$), II класс — средней буримости ($P_6=6\div 10$), III класс — труднобуримые ($P_6=11\div 15$), IV класс — весьма труднобуримые ($P_6=16\div 20$), V класс — исключительно труднобуримые ($P_6=21\div 25$). Породы с показателем $P_6 > 25$ относятся к внекатегорным.

Категория горных пород по классификации ЦБНТ определяется по затратам основного времени бурения 1 м скважины.

Группа горных пород по буримости определяется по величине коэффициента крепости f или контактной прочности пород p_k . Оптимальные значения осевого усилия $p_{ос}$ и частоты вращения долота для каждой группы пород по буримости выбираются в пределах значений, приведенных в табл. 1.10.

Таблица 1.11

Нормативы основного времени бурения 1 м скважины станками шарошечного бурения (мин)

Категория горных пород	2СБШ-200	2СБШ-200Н	СБШ-250	СБШ-250МН	СБШ-320		
	Диаметр долота, мм						
	215,9	215,9	244,5	244,5	244,5	289,9	320
VIII	2,02	1,89	1,98	1,35	1,35	—	—
IX	2,03	2,46	2,71	1,66	1,66	2,16	—
X	3,34	3,12	3,46	2,04	2,04	2,57	—
XI	4,14	3,87	4,34	2,47	2,47	3,15	—
XII	5,09	4,76	5,38	2,99	2,99	3,78	2,68
XIII	6,21	5,80	6,45	3,62	3,62	4,50	3,27
XIV	7,46	6,97	7,74	4,38	4,38	5,40	4,09
XV	8,94	8,36	9,13	5,21	5,21	6,26	4,74
XVI	10,65	9,95	10,77	6,19	6,19	7,47	5,45
XVII	12,56	11,74	12,60	7,32	7,32	8,91	6,26
XVIII	14,82	13,85	14,74	8,63	8,63	10,62	7,20
XIX	17,20	10,07	17,09	10,18	10,18	12,33	8,28
XX	19,60	18,32	19,65	11,91	11,91	14,67	9,52

На участке с наиболее представительными для каждой группы породами, для которых известны их прочностные характеристики (f , p_k , $\sigma_{сж}$), необходимо пробурить не менее трех скважин на глубину, принятую практикой работы предприятия. В процессе бурения скважин в карте наблюдений по каждой разновидности горных пород указываются средние (наиболее устойчивые) значения осевого усилия и частоты вращения долот. Данные опробования обрабатываются методами математической

Таблица 1.12

Нормативы основного времени бурения 1 м скважины станками вращательного бурения (мин)

Категория горных пород	БТС-2	БТС-150	СВБ-2М	
	Частота вращения бурового ства, мин ⁻¹			
	60—180	105—195	120	200
III	0,85	0,71	0,45	0,45
IV	1,05	0,92	0,70	0,55
V	1,29	1,20	1,00	0,65
VI	1,59	1,47	1,30	0,80
VII	1,95	1,81	1,70	1,30
VIII	2,39	2,23	2,20	1,75
IX	2,93	2,74	2,80	2,20
X	3,58	3,36	3,50	2,80
XI	4,34	4,08	4,20	3,40
XII	5,24	4,93	5,04	4,10
XIII	6,28	5,92	6,05	4,90

Таблица 1.13

Нормативы вспомогательного времени на бурение 1 м скважины станками шарошечного бурения (мин)

Наименование операции	2СБШ-200		2СБШ-300Н		СБШ-250		СБШ-250МН		СБШ-320
	Глубина бурения, м		Глубина бурения, м		Глубина бурения, м		Глубина бурения, м		Глубина бурения, м
	<16	16-24	<16	16-24	<16	16-24	<16	16-21	<20
Подъем и разборка бурового става	0,19	0,28	0,18	0,27	0,46	0,49	0,63	0,70	0,15
	0,19	0,24	0,14	0,19	0,08	0,10	0,08	0,10	0,15
	0,34	0,36	0,34	0,36	0,33	0,38	0,33	0,38	—
Осмотр, замена долота и его приработка по категориям горных пород:	0,05	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	—
	0,09	0,15	0,09	0,14	0,05	0,05	0,05	0,05	—
	0,13	0,19	0,12	0,18	0,11	0,11	0,11	0,11	—
	0,14	0,21	0,14	0,21	0,13	0,13	0,13	0,13	—
	0,15	0,22	0,14	0,21	0,15	0,15	0,15	0,15	—
0,41	0,38	0,39	0,33	0,41	0,37	0,38	0,34	—	
Подготовка к переезду, передвижение станка от скважины, подтягивание шлангов, кабеля, установка станка, зонтирование	0,33	0,33	0,33	—	—	—	—	—	—
	0,33	0,33	0,33	—	—	—	—	—	—
Итого вспомогательное время по категориям пород:	1,51	1,65	1,44	1,55	1,33	1,39	1,47	1,57	1,40
	1,55	1,74	1,47	1,62	1,33	1,39	1,47	1,57	—
	1,59	1,78	1,50	1,66	1,39	1,45	1,53	1,63	—
	1,60	1,80	1,52	1,69	1,41	1,47	1,55	1,65	—
	1,61	1,81	1,52	1,69	1,43	1,49	1,57	1,67	—

Таблица 1.14

Нормативы вспомогательного времени на бурение 1 м скважины станками вращательного бурения СВБ-2М (мин)

Наименование операции	Глубина бурения, м	
	<10	>10
Подъем бурового става	0,26	0,30
Нарращивание и рассоединение шнеков	0,65	0,76
Переезд от скважины к скважине, подтягивание кабеля	0,15	0,15
Чистка скважины по категориям горных пород:		
III—IV	0,05	0,06
V—VI	0,10	0,11
VII—X	0,15	0,17
XI	0,20	0,23
XII—XIII	0,25	0,28
Замена долота по категориям горных пород:		
III—XI	0,05	0,05
XII—XIII	0,10	0,10
Итого вспомогательное время по категориям горных пород:		
III—IV	1,16	1,32
V—VI	1,21	1,37
VII—X	1,26	1,43
XI	1,31	1,48
XII—XIII	1,41	1,59

статистики с группировкой горных пород по категориям в заданных интервалах шкалы буримости. Величина среднего квадратического отклонения не должна превышать 0,5 величины среднего значения интервала.

Нормативы основного и вспомогательного времени бурения для различных буровых станков приведены в табл. 1.11—1.15.

Таблица 1.15

Нормативы вспомогательного времени на бурение 1 м скважины станками вращательного бурения (мин)

Наименование операции	БТС-2	БТС-150
Подъем и разборка бурового става	1,20	1,06
Осмотр, чистка, продувка скважины	0,14	0,35
Нарращивание бурового става	1,18	1,03
Осмотр и замена долота	0,10	0,22
Подготовка к переезду, переезд, подтягивание кабеля, шлангов, установка станка, горизонтирование	0,67	0,66
Итого вспомогательное время	3,29	3,32

2. КЛАССИФИКАЦИЯ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА КАРЬЕРАХ

Существующие способы бурения принято разделять на три группы.

К первой группе относят *механические* способы бурения, при которых порода разрушается под непосредственным механическим воздействием бурового инструмента — долота. Главный признак этой группы — непосредственный разрушающий контакт долота с забоем скважины, в связи с чем эти способы иногда называют *долотными*. По форме, характеру движения и воздействию бурового инструмента на породу различают бурение ударное, режуще-ударное, вращательное, резанием, ударно-вращательное, вращательно-ударное, шарошечное и комбинированным инструментом (режуще-шарошечный, шарошечно-ударный и др.).

К второй группе относят *бездолотные (физические)* способы бурения, при которых порода разрушается такими физическими и физико-химическими способами воздействия, как термическое, электрическое, плазменное, взрывное, лазерное, реактивное, ультразвуковое, гидроразрывное и др.

К третьей группе относят *комбинированные* способы бурения, при которых механическое воздействие сочетается с термическим, электрическим или физико-химическим.

На открытых разработках в ближайшей перспективе будут применяться в основном механические способы бурения, принципиальные схемы которых представлены на рис. 2.1. Особенности этих способов бурения состоят в следующем.

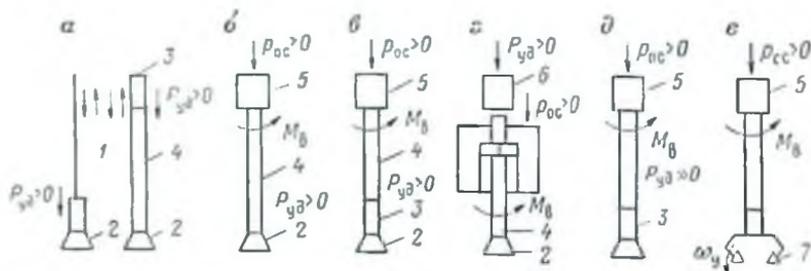


Рис. 2.1. Принципиальные схемы механических способов бурения:

1 — канат; 2 — долото; 3 — ударно-поворотный механизм; 4 — штанга; 5 — вращатель; 6 — ударный механизм; 7 — шарошки; $P_{уд}$ — энергия удара; $P_{ос}$ — осевое усилие; $M_в$ — крутящий момент; ω_y — угловая скорость вращения долота

Ударное или ударно-поворотное бурение (рис. 2.1, а) осуществляется за счет последовательно наносимых по забою ударов с энергией $P_{уд}$ долотом клиновидной формы. При ударном бурении вращательный момент на долото не накладывается, и постоянное осевое усилие отсутствует. Разрушение породы происходит за счет раздавливания и скалывания. Ударный способ бурения реализован, в частности, в станках ударно-канатного бурения.

При вращательном бурении резанием (рис. 2.1, б) разрушение породы происходит резцом под действием окружного и осевого усилий. При этом в зависимости от соотношения осевого усилия и прочности пород резы срезают, скалывают или истирают ее на поверхности забоя.

Преимущества вращательного бурения резанием: непрерывность процесса разрушения и высокая производительность в мягких породах; недостатки: ограниченная область применения, резкое снижение производительности в прочных породах ($\sigma_{сж} > 60 \div 70$ МПа).

Ударно-вращательный способ (рис. 2.1, в) объединяет признаки ударного и вращательного бурения резанием. При этом способе бурения удары осуществляются при наложении постоянного, сравнительно небольшого осевого усилия при непрерывном вращении долота. Порода разрушается главным образом в результате ударного воздействия бурового инструмента на забой скважины. По существу это вращательный способ с забойным интенсификатором ударного действия.

Вращательно-ударное бурение (рис. 2.1, г) объединяет признаки ударного и вращательного способов. Сущность этого способа состоит в том, что по буровому инструменту, вращаемому при помощи независимого вращателя, непрерывно наносятся удары через хвостовик штанги. Разрушение происходит за счет скалывания породы, предварительно ослабленной ударным воздействием. Этот способ бурения реализован в буровых установках БУР-2, СБУ-2М, СБУ-2Б, СБУ-2К и других, применяемых при проведении горизонтальных выработок в крепких породах. Он широко используется в зарубежной практике.

Режуще-ударный способ (рис. 2.1, д) сочетает особенности вращательного и ударно-вращательного способов. От ударно-вращательного бурения он отличается автоматически регулируемой частотой ударов и мощностью, подводимой к забою. При бурении в мягких породах ударный механизм снижает число ударов до полного их исключения, и тогда порода разрушается резанием. При переходе в более прочные породы число ударов возрастает с увеличением прочности породы. В этом случае преобладает ударное разрушение породы.

Шарошечный способ бурения (рис. 2.1, е) резко отличается от рассмотренных выше. Шарошечное долото представляет со-

Таблица 2.1

Типы и основные параметры станков для бурения скважин на открытых работах

Основные параметры буровых станков	СБШ-160	СБШ-200	СБШ-230	СБШ-400	СБР-123	СБР-160	СБУ-100	СБУ-123	СБУ-160	СБУ-200
Диаметр скважины, мм	160	200	250	400	125	160	100	125	160	200
Глубина бурения, м	12; 32	32	15; 32	32	24	24	35	24	18	32
Частота вращения, мин ⁻¹	200	150	150	120	150	200	76	22-75	60	60
Осевое усилие на долоте, кН	150	240	300	600	10	80	1-6	4,5-20	—	—
Энергия удара пневмоударника, Дж, не менее	—	—	—	—	—	—	90	150	280	420
Масса станка, т	35	55	75	160	10	25	4	10	30	40

бой механизм, существенно отличный от бурового инструмента, используемого при других способах бурения. Процесс разрушения породы шарошками значительно более сложен. При перекачивании шарошки по забою под действием осевого усилия и крутящего момента порода разрушается за счет вдавливания, удара и, наконец, резания. Соотношение различных видов разрушения пород шарошкой зависит от ее конструкции (формы зубьев, конфигурации шарошек) и от расположения ее осей как в плане, так и в вертикальных плоскостях. При определенной форме и ориентации осей шарошек преобладают элементы вдавливания и удара зубьев о породу. В этом случае шарошечное бурение ближе к ударно-вращательному способу. При смещении оси шарошки относительно оси долота (в плане) происходит проскальзывание шарошек по забою, и тогда могут преобладать явления резания породы.

Типаж станков для механического бурения взрывных скважин на открытых горных работах включает следующие подгруппы станков:

СБШ — шарошечного бурения;

СБР — вращательного бурения режущими долотами;

СБУ — ударно-вращательного (пневмоударного) бурения.

Регламентируемые типы и основные параметры буровых станков указанных подгрупп представлены в табл. 2.1.

Кроме указанных подгрупп, по согласованию с потребителями, в типаж включены подгруппы станков для открытых горных работ:

СБУГ — бурения с выносными ударниками (гидроударниками),

СБУШ (СБШК) — шарошечного, ударно-шарошечного и пневмоударного бурения (универсальные или комбинированные).

Типаж станков для механического бурения взрывных скважин на открытых горных работах представлен в табл. 2.2.

Начиная с 60-х годов научно-технический прогресс в области бурения скважин на карьерах был обеспечен в основном за счет создания и освоения мощных станков шарошечного бурения. По сравнению с прежними малопроизводительными ударно-канатными и маломощными станками вращательного и ударно-вращательного бурения был обеспечен рост производительности бурения в 5—6 раз.

Шарошечным способом выполняется более 80% общего объема буровых работ на карьерах. На угольных разрезах доля шарошечного бурения на вскрышных работах непрерывно возрастает и в ближайшие годы превысит 50% всего объема буровых работ.

По сравнению с режущим буровым инструментом шарошечные долота имеют значительно большую рабочую поверхность при меньшей площади контакта в каждый момент времени. Внедрение зубьев при перекатывании шарошек происходит кратковременно, поэтому работа сил трения и износ зубьев оказываются значительно меньшими, чем у режущих долот. При большем числе взаимодействий зубьев с забоем и способности шарошечных долот передавать значительные величины мощности и контактных нагрузок на породу этот способ оказывается эффективным в широком диапазоне пород по прочности.

Благодаря указанным особенностям и возможности использования различных интенсификаторов процесса бурения шарошечный способ длительное время сохранит доминирующее положение на открытых разработках.

Технико-экономические показатели шарошечного бурения зависят от правильного выбора типа шарошечного долота и режимов бурения с учетом конкретных горно-геологических условий. Эти положения являются исходными для проектирования шарошечных станков. Они особенно важны для условий разрезов вследствие широкого разнообразия горно-геологических факторов и свойств горных пород.

На угольных разрезах для бурения скважин на угольных и вскрышных уступах, представленных породами мяг-

Таблица 2.2
Типаж станков для бурения взрывных скважин на открытых горных работах

Обозначение модели	Условный диаметр скважины, мм	Глубина бурения взрывных скважин, м	Угол наклона скважины к вертикали, градус	Ресурс до первого капитального ремонта, ч, не менее	Коэффициент крепости породы	Техническая производительность, м ³ /ч	Удельная масса, кг/м ³	Удельный расход электроэнергии при бурении МДЖ/м ³	Начало промышленного производства	Год снятия с производства	Какой моделью заменяется
Станки шарошечного бурения (СБШ)											
<i>Типоразмер СБШ-160</i>											
СБШ-160-48	160	48	0, 15, 30	9000	8—10	20,0	12,4	1080	1990	1998	—
<i>Типоразмер СБШ-200</i>											
2СБШ-200-32	200	32	0	11 000	8—10	20,0	7,2	936	1965	1987	4СБШ-200-40
4СБШ-200-40	200	40	0, 15, 30	11 000	8—10	18,0	8,8	1026	1982	1991	СБШ-200-55
2СБШ-200Н-40	200	40	0, 15, 30	11 000	8—10	18,0	8,8	1026	1970	1988	3СБШ-200-60
3СБШ-200-60	200	60	0, 15, 30	12 000	8—10	23,0	6,9	846	1984	1991	СБШ-200-55
СБШ-200-55	200	55	0, 15, 30	15 000	8—10	24,0	5,7	972	1991	1988	—
<i>Типоразмер СБШ-250</i>											
СБШ-250МНА-32	250	32	0, 15, 30	11 500	12—14	15,0	7,77	1044	1984	1988	СБШ-250-36
СБШ-250-36	250	36	0, 15, 30	16 500	12—14	19,0	4,9	918	1988	1998	2СБШ-250-36
СБШ-250-20	250	20	0, 15, 30	16 500	12—14	22,0	4,3	828	1990	1998	—
СБШ-250-55	250	55	0, 15, 30	16 500	8—10	22,0	3,78	745	1984	1998	3СБШ-250-36
<i>Типоразмер СБШ-320</i>											
СБШ-320-36 (СБШ-320М)	320	36	0, 15, 30	20 000	16—18	13,0	5,3	1548	1988	1998	—
<i>Типоразмер СБШ-400</i>											
СБШ-400-55 (СБШ-320/380НС)	400	55	0, 15, 30	22 500	10—12	25,0	2,3	1002	1990	1998	—
СБШ-400-20	400	20	0, 15, 30	22 500	10—12	29,0	2,0	864	1990	1998	—

Станки пневмоударного бурения (СБУ)

<i>Типоразмер СБУ-100</i>											
СБУ-100Н-35	100	35	0, 15, 30	3900	14—16	6,5	2,50	2700	1981	1988	2СБУ-100-32
2СБУ-100-32	100	32	0, 15, 30	6300	14—16	12,0	9,0	2376	1988	1999	—
СБУ-100Г-35	100	35	0, 15, 30	3900	14—16	6,5	25,0	2700	1979	1987	СБУ-100ГА-50
СБУ-100ГА-50	100	50	—15 до +30	3900	14—16	6,5	22,0	2700	1987	1991	3СБУ-100-32
3СБУ-100-32	100	32	—15 до +30	6300	14—16	12,0	9,0	2376	1991	1999	—
<i>Типоразмер СБУ-125</i>											
СБУ-125-24	125	24	0, 15, 30	4800	14—16	6,5	30,3	3240	1975	1986	СБУ-125А-32
СБУ-125А-32	125	32	0, 15, 30	5000	14—16	6,5	30,3	3240	1987	1990	2СБУ-125-32
2СБУ-125-32	100, 125	32	0, 15, 30	7500	14—16	12,0	11,0	2844	1991	1999	—
<i>Типоразмер СБУ-160</i>											
СБУ-160-18	160	18	0, 15, 30	7500	14—16	12,0	18,0	3330	1992	1999	—

Обозначение модели	Установки диаметр скважин, мм	Глубина бурения скважин, м	Угол наклона скважин к вертикали, градус	Передаточная мощность, кВт	Коэффициент сцепления скважин	Техническая производительность, м ³ /ч	Удельная масса, кг/м ³	Удельная прочность при бурении, МПа/кг/м ³	Начало производства	Год снятия с производства	Какой моделью заменится
--------------------	-------------------------------	----------------------------	--	----------------------------	-------------------------------	---	-----------------------------------	---	---------------------	---------------------------	-------------------------

Станки ударного бурения с выносными ударишками

Типоразмер СБУ-200

СБУ-200-36	200	36	0, 15, 30	15 000	16—18	25,0	5,9	1728	1990	1999	—
------------	-----	----	-----------	--------	-------	------	-----	------	------	------	---

Станки пневмоударного, шарошечного, ударно-шарошечного бурения (универсальные)

Типоразмер СБУШ-160

СБУШ-160-36 2СБУШ-160-36	160	36	0, 15, 30	7500	10—12	18,0	12,1	1656	1991	1999	—
	160	36	0, 15, 30	7500	10—12	18,0	19,1	1656	1992	1999	

Станки шнекового бурения (СБР)

Типоразмер СБР-160

СБР-160А-24 СБР-160Б-32 2СБР-160-24	160	24	0, 15, 30	5000	3—6	40,0	8,8	360	1983	1988	СБР-160-Б-32
	160	32	0, 15, 30	7500	3—6	60,0	3,9	273	1988	1999	
	160	24	0, 15, 30	7500	3—6	35,0	3,4	187	1990	1999	—

кими и средней крепости, широко применяются режущие долота. Станки вращательного бурения резанием типов СВБ-2М и СБР-160, рассчитанные на бурение скважин диаметром 160 мм, составляют около 60% общего числа станков. На разрезах Экибастузского угольного месторождения режущие долота диаметром 214 и 243 мм применяются на шарошечных станках 2СБШ-200Н как на вскрывных работах, так и на угольных уступах, разрабатываемых роторными экскаваторами. В целом по угольной отрасли режущими долотами обуривается более 50% всех пород.

Относительный объем бурения резанием на открытых разработках (с учетом карьеров строительных материалов и горной химии) составляет около 25—28%.

Удельный вес бурения взрывных скважин ударно-канатным и огневым способами, а также пневмоударниками в последние годы снизился.

Главное преимущество станков ударно-вращательного бурения — значительно меньшие осевые усилия на инструмент. Это обстоятельство при наличии малогабаритных компрессоров высокого давления даст возможность значительно снизить массу и габаритные размеры станков, повысить их производительность и мобильность.

Буровые станки СБУ-160 и СБУ-200 могут найти широкое применение при изменении их силовых и энергетических параметров и оснащении станков режуще-ударным инструментом типа РУИ160 и РУИ216. В противном случае эти станки в условиях угольных разрезов оказываются неконкурентноспособными по сравнению со станками шарошечного и вращательного бурения резанием.

Все применяемые на открытых работах станки механического бурения выполняют одинаковые рабочие функции, поэтому общая конструктивная схема их одинакова. Главное отличие — вид применяемого бурового инструмента. Остальные различия по конструкции и величине технологических, режимных и энергетических параметров определяют тип и типоразмер буровых станков.

Признаки классификации, используемые для унификации и специализации буровых станков, приведены в табл. 2.3.

Ряд буровых станков характеризуется способом бурения (по виду породоразрушающего инструмента), а тип бурового станка — конструктивными разновидностями и числом вращательно-подающих органов (ВПО), системой очистки забоя (СОЗ) и конструкциями штанг.

Один из основных показателей оценки эффективности конструкции вращательно-подающих органов станков — конструктивный показатель k_x , характеризующий удельные затраты времени на спуско-подъемные операции (холостые хо-

Таблица 2.3

Основные конструктивно-технологические признаки классификации буровых станков

Ступень классификации	Признаки, определяющие ступени классификации	Первичные оценочные показатели	Основные характеристики буровой техники
Ряд	Способ бурения (по виду бурового инструмента)	Скорость бурения, стойкость долота	СБШ — станки шарошечного бурения СБР — станки бурения резанием СБУ — станки ударно-вращательного бурения
Тип	Конструктивные разновидности и число вращательно-подающих органов (ВПО), системы очистки забоя (СОЗ), конструкции штанг (гладкоствольные; шнековые) и ходовой части. Виды приводов и подводимой энергии	Затраты времени на спуско-подъемные и вспомогательные операции	Схема вращательно-подающих органов (ВПО): патронная торцевая комбинированная Система очистки забоя (СОЗ): воздушная шнековая шнеководдушная воздушно-водяная
Типоразмер	Диаметр долота (скважины)	Мощность, производительность, масса, габариты станка, глубина бурения	Диаметр долот, мм: режущих: 80—105; 160; 125; 216; 244; 270 шарошечных: 132; 160; 216,9; 244,5; 269; 320; 400 пневмоударных: 105; 125; 160; 216; 244

да) в процессе бурения. Он зависит также от соотношения стойкости долота l_d и глубины буримых скважин L . Важная характеристика совершенства конструкции бурового станка — удельные цикловые потери времени на вспомогательные операции при бурении:

$$t_b = k_x + t_3/l_d + c_b/L,$$

где t_3 — время замены долота или сменных резцов; c_b — продолжительность вспомогательных машинных операций, проводимых после подъема става до начала технологического бурения очередной скважины.

Главный признак, определяющий типоразмер бурового станка, — диаметр d применяемого долота, оказывающий основное влияние на величину осевого усилия $p_{ос}$ на долото, расход сжатого воздуха Q , массу, мощность и габаритные размеры станка. При таком подходе классификация буровых станков

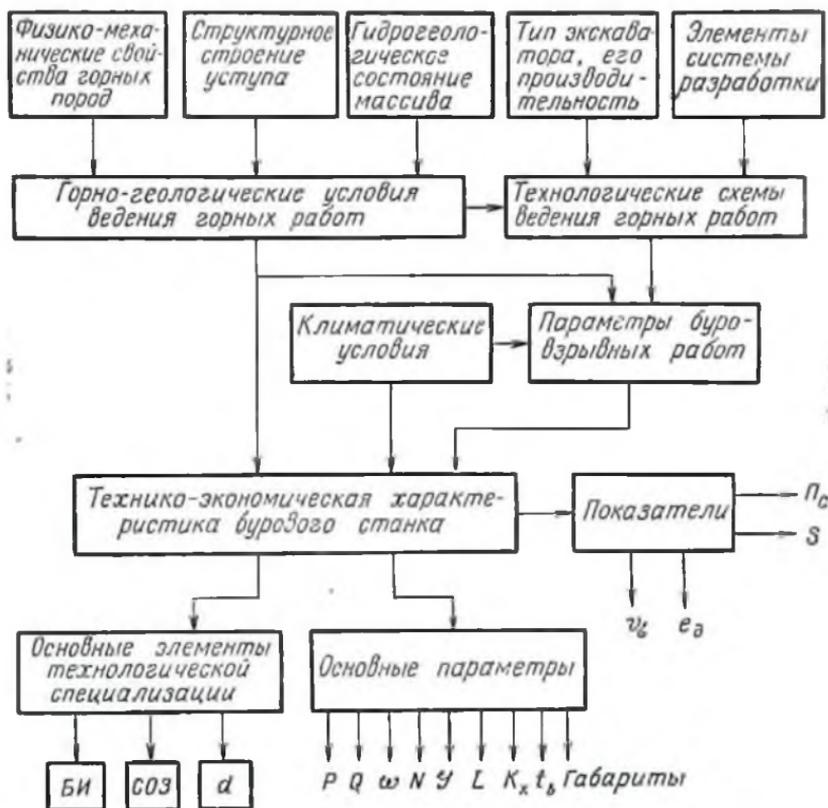


Рис. 2.2. Основные горнотехнологические факторы, определяющие технико-экономические характеристики и конструктивные решения буровых станков и инструментов для открытых разработок

является единой общей для любого применяемого на карьерах механического способа бурения.

Выделяются две основные взаимосвязанные группы горнотехнологических факторов: горно-геологические условия и технологические схемы ведения горных работ (рис. 2.2). Факторы первой группы непосредственно влияют на технико-экономическую характеристику бурового станка и параметры взрывных работ. Факторы второй группы формируют требования к степени дробления взорванной массы, параметрам взрывных работ, глубине и диаметру скважины, производительности буровых станков и менее существенно влияют на вид бурового инструмента и способы очистки скважины, чем факторы первой группы.

Главное значение имеет тип применяемого экскаватора. Его сменная производительность непосредственно оп-

ределяет сменную производительность станка, а в сочетании с вместимостью ковша предопределяет диаметр скважины с учетом требований к кусковатости взорванной горной массы. Глубина скважины зависит от высоты черпания экскаватора и окончательно задается в соответствии с высотой уступа и принятым углом наклона скважины.

Основными факторами первой группы являются физико-технические свойства горных пород (крепость, контактная прочность, абразивность, хрупко-пластические свойства), структурное строение массива (слоистость, вид перемежаемости различных пород, степень их трещиноватости) и обводненность массива, которая может отрицательно влиять на буримость слоев слабосцементированных глинистых горных пород, обуславливая их вязкость и налипание на буровой снаряд. Поэтому гидрогеологическое состояние разрабатываемых уступов на некоторых месторождениях сильно влияет на выбор конструкции бурового инструмента и системы очистки скважины.

При увеличении диаметра скважины выход взорванной горной массы с 1 м возрастает по квадратичной зависимости, поэтому переход к станкам с большим диаметром долот сопровождается уменьшением удельных приведенных затрат на единицу объема разрушаемого породного массива и с этой точки зрения является выгодным. Показатели применения буровых станков различного типоразмера для перспективных систем разработки ряда угольных месторождений с использованием экскаваторов ЭКГ-12, ЭКГ-20 и ЭВГ-35.65 рассчитаны с соблюдением рациональных соотношений ширины заходки экскаваторов и развала пород после взрыва (рис. 2.3). Переход в рассматриваемых условиях от диаметра скважины 214 к 320 мм значительно уменьшает удельные затраты (бурение) на 1 м³ горной массы, позволяет в 2—3 раза снизить необходимую численность рабочих. Это подтверждается опытом применения буровых станков с диаметром скважин 311—320 мм на разрезе «Нерюнгринский» и на разрезах Кузбасса.

Однако при увеличении диаметра долот значительно возрастает масса буровых станков. Так, для долот диаметром 215,9 мм расчетная масса бурового станка при использовании пневмоударников составляет 22 т, а для долот диаметром 244,5 и 320 мм — соответственно 30 и 49 т. Уменьшить массу буровых станков при большом диаметре долот можно за счет использования разработанных в ИГД им. А. А. Скочинского и планетарно-эксцентриковых шарошечных расширителей, принцип работы которых основан на трансформации крутящего момента в распорные усилия на зубья шарошек (рис. 2.4, табл. 2.4).

Зубья разрушают стенки скважины за счет вдавливания с одновременным фрезерованием, что увеличивает разрушаю-

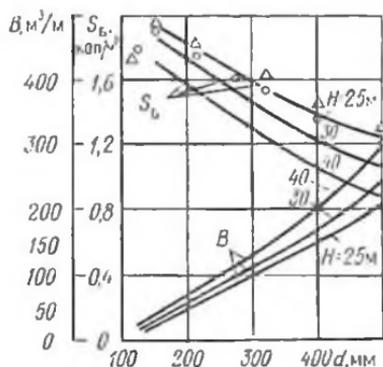


Рис. 2.3. Зависимость удельных приведенных затрат S_e на бурение и выхода взрывчатой горной массы B от диаметра d при отработке вскрышных пород средней взрываемости ($f=5\div 7$, слабовыраженная трещиноватость) экскаваторами ЭВГ-35.65 (по бестранспортной системе отработки), ЭКГ-12,5 и ЭКГ-20 при высоте уступа H

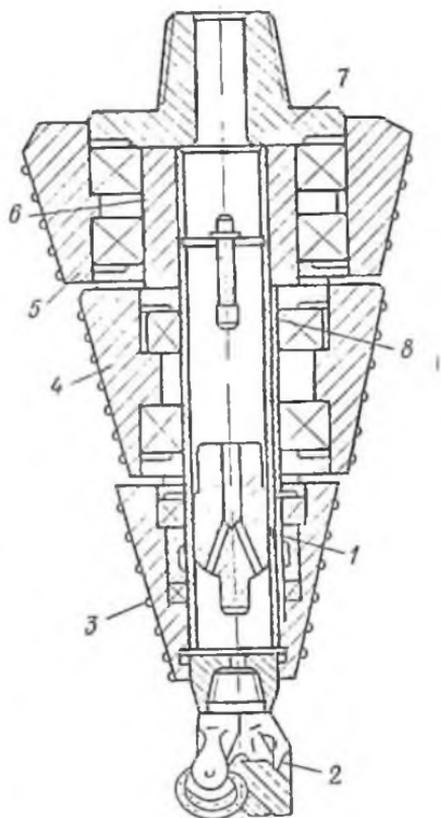


Рис. 2.4. Схема планетарно-эксцентрикового шарошечного расширителя:
1 — пневмударный механизм; 2 — шарошечное долото; 3, 4, 5 — шарошки расширителя; 6 и 8 — эксцентриковые втулки; 7 — переходник

щий эффект. Как видно из данных табл. 2.4, для расширения скважины необходимо создать большой крутящий момент.

В последние годы наблюдается тенденция к созданию и применению на буровых станках комбинированных буровых инструментов процесса (табл. 2.5).

Буровые станки с комбинированными самонастраивающимися инструментами могут иметь более широкую область применения, высокие технико-экономические показатели бурения в перемежающихся горных породах, простую систему управления процессом бурения.

При оценке технико-экономической эффективности применения скважины различного диаметра необходимо учитывать степень дробления породного массива, которая зависит от диаметра скважины и может существенно влиять на производительность экскаваторов и транспортных средств, особенно при разработке трудновзрываемых пород.

В крепких горных породах, разбитых трещинами на крупные блоки, следует бурить скважины диаметром 135—150 мм

Таблица 2.4

Техническая характеристика планетарно-эксцентрикковых расширителей

Показатели	РПЭ-150/220	РПЭ-214/320	РПЭ-320/500	РПЭ-316/600
Коэффициент крепости пород f	6—12	4—8	5—10	
Диаметр опережающего инструмента, мм	150	214	320	346
Диаметр скважины после расширения, мм	210—220	310—320	485—500	585—600
Опережающий инструмент	Трехшарошечное долото		Трехшарошечное долото с пневмударником	
Необходимый крутящий момент на расширителе, Н·м	2000—5120	6500—12 000	12 500—20 000	
Рабочий эксцентриситет расширителя, мм	5, 7, 5, 10		5, 10, 15	
Осевое усилие на расширителе, кН	17,5	35	50	55
Масса, кг	160	205	350	410

с тем, чтобы получить требуемое качество дробления горной массы и обеспечить минимум приведенных затрат на бурение, взрывание, экскавацию и транспортирование, отнесенных на 1 м³ горной массы (табл. 2.6).

На карьерах (или на участках), где преобладают горные породы с $f=2\div 6$, перемежающиеся породами с $f=8\div 10$, эффективность буровых работ повышается с применением на шарошечных станках режущих долот с воздушной очисткой скважины при обычных трубчатых штангах (табл. 2.7)

На основе теоретического анализа и обобщения опыта бурения в породах с $f=2\div 12$ различными способами (шарошечного, режущего, пневмударного, режуще-ударного) разработаны принципы построения станков комбинированного бурения (рис. 2.5).

С целью обеспечения высокой производительности комбинированных станков при бурении в сложноструктурных породных массивах их принципиальная конструктивно-технологическая схема и параметры должны быть рассчитаны на применение бурового инструмента режущего, шарошечного и режуще-ударного действия, шнеко-воздушного и воздушного способов удаления разрушенной породы из скважины и использование силовых режимов объемного разрушения горной породы. Это позволит наиболее рационально использовать каждый способ разрушения, расширить область применения станков, обеспечить максимальную межтиповую унификацию и уменьшить количество типоразмеров буровых станков.

Таблица 2.5

Основные виды интенсификаторов и комбинаций способов воздействия инструментов в бурении на карьерах

Интенсификаторы процесса бурения	Характерные группы и их особенности	Объясняемые способы бурения и инструменты	Условные обозначения	Примеры применения
Наддолотные интенсификаторы (в том числе погружные)	1. Магнитострикционные преобразователи	Принятый буровой инструмент и способ его воздействия на породу не меняются	ЭВБ	Электровибробур
	2. Инерционные трансформаторы вращающего момента			
	3. Механические вибраторы, пневмо- и гидродарники			
	4. Электромеханические устройства			
Комбинированные инструменты	1. С одновременным действием различных видов породоразрушающего инструмента	Ударный и шарошечный	УШД	Пневмоударник, сочлененный с парой шарошек
	2. С дискретным действием разных видов породоразрушающего инструмента	Механический и физический	МФД	Термо-механический
	3. С автоматическим перераспределением энергии ударных и статических (режущих) воздействий на породу инструмента заданной или переменной формы	Режущий и шарошечный	РШД	Режуще-шарошечное долото
		Шарошечный с вооружением разного типа	ШШД	Две пары шарошек разного типа
		Долото разрушает породу резанием, ударом или комбинированно	РУИ	Ударный механизм с управлением

Таблица 2.6

Затраты на бурение, взрывание, экскавацию и транспортирование в крепких породах

Диаметр долота, мм	Сменная производи- тельность, м ³			Удельные затраты (руб/м ³) на				Удельные привес- ные затраты, руб/м ³
	бурого столба	экскалатор ЭКГ-8	локомотиво- состава	бурение	исправное и вторичное взрывание	экскавацию	транспортно- рование	
97	540	2200	513	0,111	0,150	0,069	0,111	0,507
118	850	2000	500	0,078	0,143	0,076	0,117	0,485
132	1250	1700	480	0,059	0,140	0,089	0,122	0,484
151	2000	1600	475	0,045	0,134	0,095	0,124	0,480
190	3300	1200	430	0,031	0,132	0,125	0,134	0,522
214	4400	1050	409	0,029	0,136	0,150	0,141	0,566
243	5200	900	385	0,025	0,136	0,159	0,149	0,592

Таблица 2.7

Показатели работы буровых станков на разрезах
Экибастузского месторождения

Показатели	СВБ-2М	2СБШ-200Н 2СБШ-200	СБШК-200 3СБШ-200Н
Тип долота	СВБ-2-23	ДР-214В	ДР-214В
Диаметр долота, мм	160	214	214
Способ очистки скважин	Шнековый	Пневматический	
Нагрузка на 1 см диаметра долота, кН	<3,12	<7	<7
Частота вращения долота, мин ⁻¹	80; 120	15—240	0—150
Скорость бурения, см/с:			
по слабым породам	1,8—3,0	2,5	4,16
по крепким включениям	0,5—1,2	0,7—1,3	0,7—1,3
Производительность станка, м/смену	30—180*	80—208*	120—320*
	120	178	260
Выход горной массы, м ³ /м	28—34	53—54	55—60
Затраты на бурение 1 м скважины, руб.	1,4	0,93—1,08	0,8—1,0
Затраты (в среднем) на 1000 м ³ обу- ренной горной массы, руб	45	18,6	16,5

* В числителе указаны диапазоны изменения, в знаменателе — средние значения показателей.

Изложенные принципы и конструктивно-технологические схемы комбинированных буровых станков реализованы в конструкциях новых опытных станков типов 2СБР-125 и СБШК-200, целесообразность создания и применения которых подтверждена данными, приведенными в табл. 2.8.

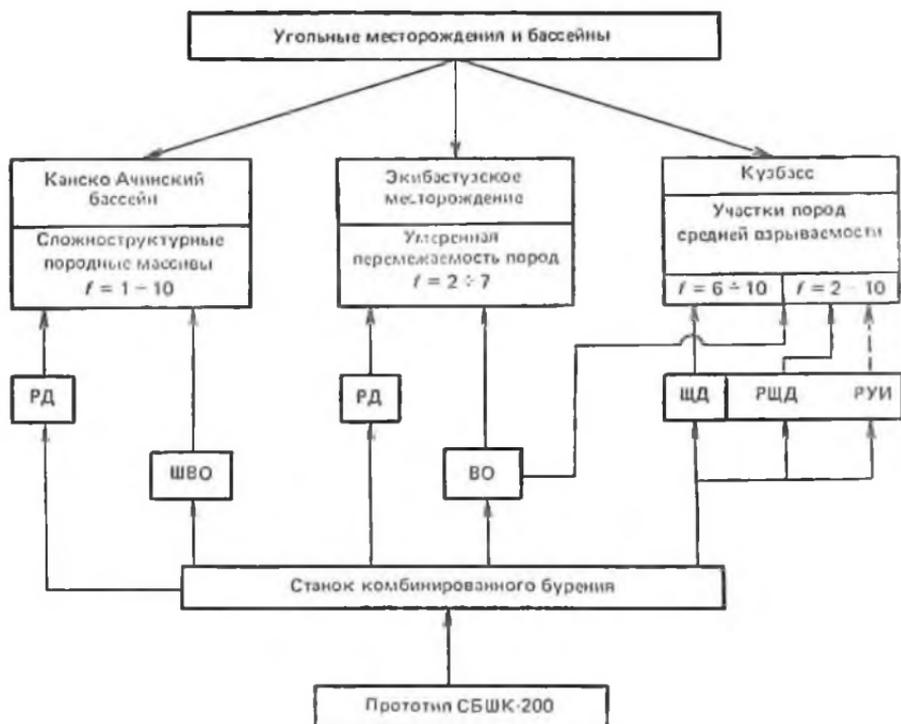


Рис. 25. Структурная схема и условия применения станка комбинированного бурения:

РД — режущий инструмент; ЩД — шарошечный; РЩД — режуще-шарошечный; РУИ — режуще-ударный; ВО — воздушный способ очистки скважины; ШВО — комбинированный шнеково-воздушный

Основные узлы и механизмы буровых станков для открытых горных работ: вращательно-подающий орган (ВПО), мачта, часто совмещаемая с механизмами ВПО; буровой став, состоящий из гладкоствольных или шнековых штанг с соединениями; буровое долото, закрепляемое различным соединением на конце первой штанги или забурника; компрессорная станция (кроме шнековых станков); пылеулавливающая установка; машинное помещение, в котором размещается электрическое, гидравлическое, компрессорное и другое оборудование; кабина экипажа с устройствами обогрева и кондиционером; расположенный в кабине и выносной пульт управления; ходовая часть гусеничного или колесного типов; домкраты для горизонтирования бурового станка на рабочей площадке; устройство для свинчивания и развинчивания бурового става; кассетирующее устройство для размещения штанг; механизм наклона мачты для бурения наклонных скважин и приведения мачты в транспортное (горизонтальное) положение; кабельный барабан; по-

Таблица 2.8

Показатели работы комбинированных буровых станков в сложноструктурных породных массивах (с крепкими включениями) в Канско-Ачинском угольном бассейне

Показатели	СБШК-200	2СБР-125	СВБ-2М
Диаметр долота, мм	190; 214	125	160
Осевое усилие на долото, кН	75—130	7—30	5—50
Частота вращения, мин ⁻¹	100—180	80—200	80—120
Скорость (чистая) бурения, см/с	1,6—5	0,8—3,3	0,16—1,36
Производительность станка, м/смену	140	135	50,2
Затраты на бурение 1 м скважины, руб.	0,82	0,37	1,19

нижающий трансформатор (если станок питается от сети высокого напряжения). Современные буровые станки оборудуются системами автоматического управления (САУ) процессом бурения.

Основное конструктивное отличие буровых станков заключается в принципе устройства вращательно-подающего механизма (его иногда называют рабочим органом или ВПО), осуществляющего вращение и подачу бурильных штанг и неразрывно связанного с механизмом сборки и разборки бурового става. Та или иная конструкция и скорость движения указанных механизмов определяет длину буровых штанг и длительность вспомогательных операций в процессе бурения.

ВПО содержит: вращатель с редуктором и двигателем для передачи буровому ставу крутящего момента; механизм подачи бурового става на забой; вертлюг или коллектор для подачи сжатого воздуха во внутренний канал штанг (коллектор часто совмещается с демпфирующей муфтой, монтируемой между шпинделем вращателя и бурильной штангой); устройства для выполнения вспомогательных машинных операций. Некоторые станки (2СБШ-200Н) имеют лебедку для извлечения бурового става из скважины.

От принципа устройства и параметров ВПО зависят возможные величины осевого усилия, крутящего момента, скоростей вращения и подачи, передаваемые долоту через бурильные штанги. Таким образом, от конструкции ВПО зависят конструктивный и технологический облик буровых станков и их производительность. Наиболее распространены две схемы ВПО, отличающиеся по способу передачи крутящего момента и осевого усилия буровому инструменту.

При первой торцовой схеме устройства ВПО крутящий момент и осевое усилие передаются через торец

штанги. Осевое усилие на вращатель создается различными способами: непосредственно от штоков гидроцилиндров, посредством канатных полиспастов (станки СБШ-250НМ, СБШ-320), цепей (М-4СС) или реечным механизмом. *Преимущества торцовой схемы* — возможность создания больших осевых усилий и крутящих моментов, простота, надежность, а также возможность применения штанг и долот различных диаметров. Поэтому, как правило, эта схема применяется на шарошечных станках тяжелого типа. *Недостаток схемы* — необходимость утяжеления мачты, по которой должен перемещаться тяжелый и крупный по размерам вращатель, что обуславливает значительную массу буровых станков.

При второй роторно-патронной схеме устройства ВПО осевое усилие и крутящий момент передаются на образующую цилиндрической штанги через зажимный патрон посредством гидросистемы. Подобные ВПО применены на отечественных буровых станках типа 2СБШ-200Н, 3СБШ-200Н. *Преимущества роторно-патронной схемы*: стационарность привода вращателя и возможность значительного облегчения мачты; *недостатки*: ограниченность величины крутящего момента и осевого усилия на долото из-за проскальзывания кулачков патрона по штанге (особенно при работе в зимних условиях и при бурении в многолетнемерзлых породах), а также ограниченность рабочего хода подачи гидроцилиндров, что обуславливает значительные потери времени на вспомогательные операции.

Классификация буровых станков и инструментов (рис. 2.6), основанная на систематизации горнотехнологических факторов влияния, (см. рис. 2.2) анализе конструктивно-технологических признаков средств бурения и обобщении закономерностей развития технологии и техники бурения на открытых горных разработках, предназначена для разработки перспективного типоразмерного ряда бурового оборудования для горнодобывающей промышленности и проведения унификации и стандартизации комплектующих изделий, узлов и деталей межтипажного применения.

В классификации выделены буровые станки:

узкоспециализированные, рассчитанные на применение одного вида бурового инструмента постоянного диаметра при одном способе очистки скважин;

специализированные, отличающиеся от первых применением буровых инструментов различного диаметра;

комбинированные, позволяющие использовать различные виды и размеры бурового инструмента, а также различные способы очистки скважин.

Узкоспециализированные станки наиболее просты по конструкции, экономичны для однородных условий и эффективны

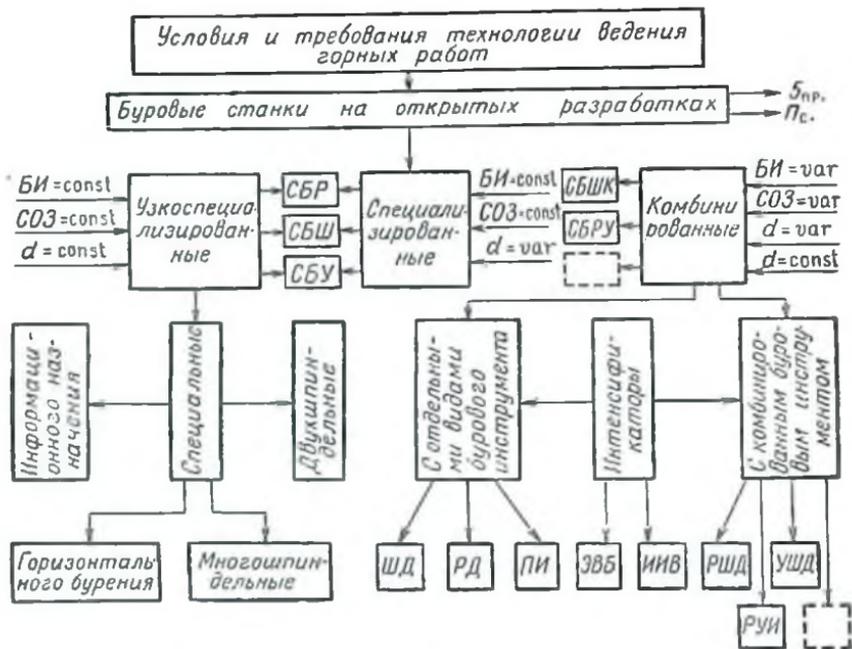


Рис. 2.6. Классификация буровых станков и инструментов по конструктивно-технологическим признакам:

ПИ — пневмоударный механизм; ЭВБ — электровибробур; ИИВ — импульсные вращатели

при больших масштабах их использования. Узкоспециализированные мобильные станки с небольшими габаритами и массой (например, с пневмоударным инструментом) целесообразны при пониженной высоте уступов, большой стесненности и малой ширине рабочих площадок.

Однако многообразие условий открытой разработки угольных месторождений, различия в мощности предприятий, параметрах экскаваторного и транспортного оборудования определяют целесообразность широкого использования специализированных станков, рассчитанных на бурение скважин различного диаметра. Комбинированные станки также могут широко применяться при разработке месторождений полезных ископаемых, характеризующихся сложным строением и гидрогеологией.

На открытых горных работах для бурения по углю и в породах с $f = 2-6$ применяются шнековые станки (табл. 2.9), в крепких породах — шарошечные станки (табл. 2.10).

Первая группа шарошечных буровых станков представляет собой разновидность одной характерной мо-

Таблица 2.9

Техническая характеристика станков вращательного бурения режущими долотами

Параметры	ЗСБР-125-30	СВБ-2М	СБР-160А-24	СБР-200-50 (СБШК-200)
Диаметр скважины, мм	115; 125	160	160; 200	160; 200
Глубина бурения, м	30	25	24	50
Частота вращения инструмента, с ⁻¹	4,2	2; 3,3	1,7; 2,3; 3,3	0,05—3
Крутящий момент, кН·м	1,8	10	12	4,4—9,7
Скорость подачи, м/с	0—0,25	0—0,16	0—0,5	0,03—0,48
Усилие подачи, кН, не более	40	50	65	200
Длина штанги, м	1,85	1,85	8,25	12
Диаметр шнековой гладкой штанги, мм	107/57; 120/65	155/76	155/70	208/108
Скорость передвижения станка, км/ч	1,3	1,36	0,9	0,8
Давление на грунт, МПа	0,07	0,05	0,06	0,1
Мощность двигателей установленная, кВт:				
вращателя	40	40	36/40/50	Н. д.
механизма подачи (рабочего/маневрового)	Н. д.	От хода	3,2/30	Н. д.
ходового оборудования	26	14	2×14,5	Н. д.
Преодолеваемый уклон, градус	15	18	15	12
Основные размеры в рабочем положении, мм				
длина	5200	4300	7080	10 300
ширина	3250	2850	3400	4900
высота	7200	3070	12 925	18 200
Масса, т	10	9,25	25	48,2

дели (первоначально обозначавшейся БСШ-1) с патронной схемой ВПО. В процессе совершенствования станков этой группы был осуществлен переход к модели ЗСБШ-200-60. Вторая группа станков создана на базе другой модели (СБШ-250) с торцовой схемой ВПО. Третья группа включает станки тяжелого типа. Такие станки эксплуатируются на разрезах Кузбасса и на разрезе «Нерюнгринский» в Якутии.

Таблица 2.10

Техническая характеристика станков буровых шарошечных

Параметры	ЗСБШ-200-32 (2СБШ-200Н)	1СБШ-200-40	ЗСБШ-200-60 (ЗСБШ-200Н)	СБШ-250МПА-32 (СБШ-250МН)	СБШ-250-55	СБШ 320-36
Диаметр долота, мм	215,9 244,5	215,9 244,5	215,9 244,5	244,5 269,9	244,5 269,9	320
Глубина бурения, м, не более	32	40	60	32	55	36
Направление бурения к вертикали, градус	0; 15; 30	0; 15; 30	0; 15; 30	0; 15; 30	0; 15; 30	0
Длина буровой штанги, м	8	8	12(8)	8	10	17,5
Ход непрерывной подачи, м	1	1	1	8	10	17,5
Осевое усилие, кН, не более	300	300	300	300	300	600
Скорость подачи/подъема бурового снаряда, м/с	0,025/0,48	0,025/0,51	0,033/0,4	0,017/0,61	0,025/0,63	0,014/0,22
Частота вращения долота, с ⁻¹	0,2—4,0	0,25—2,5	0,2—2,5	0,2—2,5	0,2—2,5	0—2,1
Крутящий момент на вращателе, кН·м	6,65÷2,12	3,2÷5,2	6,0	4,2	4,2	8,7
Производительность компрессора, м ³ /с	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417	0,834
Мощность электродвигателей, кВт:						
установленная	350	380	400	400	400	712
вращателя	60	52	68	68	68	100
компрессора	200	200	200	200	200	2×200
хода	32	44	44	44	44	44
Ходовое оборудование станка	Э-1252	УГ-60	Э-1602	УГ-60	УГ-70	ЭГ-400
Скорость передвижения станка, км/ч	0,6	0,77	0,75	0,737	0,84	0,33
Давление гусениц на грунт, МПа	0,1	0,1	0,1	0,12	0,12	0,11
Основные размеры, мм:						
длина	9 180	10 200	10 100	9 200	11 200	12 500
ширина	4 600	5 000	5 300	5 450	5 240	5 450
высота	13 840	14 300	18 400	15 350	17 730	25 200
Масса станка, т	55	59	62	71,5	85	110

Таблица 2.11

Техническая характеристика станков ударно-вращательного бурения

Параметры	СБУ-100Н-35	СБУ-100Г-35 (СБУ-100П-35)	СБУ-125-24	СБУ-125У-52
Диаметр скважины, мм	105; 125	105; 125	125	125; 160
Глубина бурения, м	35	35	24	52
Направление бурения к вертикали, градус	0; 15; 30	0; 15; 30	0; 15; 30	< 45
Диаметр штанги, мм	83	83	89	108
Длина штанги, мм	950	950	2930	4250
Масса штанги, кг	10	10	32,5	42,5
Масса долота, кг	4	5,9	5,9	5,9
Тип пневмударника	П-105К; П-125К	П-125К	П-125К	П-125К
Установленная мощность, кВт	4	24	42	80
Мощность вращателя, кВт	4	4	3,8/6,2	35
Частота вращения, с ⁻¹	0,77	0,77	0,37; 0,75	0—2,25
Крутящий момент на долоте, кН·м	0,83	0,83	1,67; 1,36	3,4
Усилие подачи на забой, кН	1,0÷6,0	1,0÷6,0	4,5÷20	< 7
Ход подачи, м	1,05	1,05	3,7	0,4
Скорость подачи, м/с	0,25	0,25	0,17	0,4
Мощность двигателей ходового оборудования, кВт	—	2×5,5	2×10	Н. д.
Колеса, мм	1200	1880(1860)	1600	Н. д.
Ширина, мм	1150	2180	1868	Н. д.
Длина (база по осям), мм	—	1520(1320)	1775	Н. д.
Ширина гусениц, мм	—	300(—)	268	Н. д.
Скорость передвижения, км/ч	—	0,83(1,0)	1,0	0,9
Давление на грунт, МПа	—	0,05(—)	0,09	0,1
Основные размеры, мм:				
длина	2175	4000	4250	5600
ширина	1000	2210	3000	3200
высота	2730	3730(3760)	7160	9500
Масса станка, т	0,71	5(4)	8,5	13,5

Для бурения трудно взрывае­мых пород с $f=6\div 12$ крупно­блочного строения предназна­чены станки ударно-вращатель­ного бурения (табл. 2.11).

Станки 2СБШ-200Н предна­значены в основном для работы в комплексе с мехлопатами и ков­шом вместимостью до $12,5\text{ м}^3$ при погрузке горной массы в транспортные средства, а 3СБШ-200Н — для работы в комплексе с драглайнами с ков­шом вместимостью $10\text{—}15\text{ м}^3$ при перевалке породы в вырабо­танное пространство. Станки СБШ-250-55 предназна­чены для работы в комплексе с мехлопатами и драглайнами с ков­шом вместимостью $12,5\text{—}16\text{ м}^3$ в условиях северных и восточных районов страны при температуре до -50°C .

На базе станка СБШ-250-55 для условий осадочных вскрыш­ных пород с $f=12$ создается станок 2СБШ-320, который будет применяться в комплексе с мехлопатами с ков­шом вместимо­стью $15\text{—}20\text{ м}^3$. Для работы в комплексе с мощными экскавато­рами (в том числе и для обеспечения работы мощных драглай­нов с ков­шом вместимостью 40 м^3 и более при бестранспортных системах разработки с частичным перемещением горной массы в выработанное пространство взрывом) намечено создать мощ­ный станок СБШ-400, завершающий ряд шарошечных станков, охватывающих весь диапа­зон типоразмеров, необходимых для выбора оптимального сочетания буровых станков и экскавато­ров для любых горнотехнических условий.

3. КОНСТРУКЦИЯ БУРОВЫХ СТАНКОВ

3.1. СТАНКИ ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ

Отечественной промышленностью выпускаются шарошечные станки для бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром $160\text{—}320\text{ мм}$ и глубиной до $32\text{—}60\text{ м}$ в породах крепостью до $18\text{—}20$. Их основные параметры приведены в табл. 2.1 и 2.10.

В маркировке станков второго поколения помимо диаметра скважины указывают и глубину бурения. Например, 3СБШ-200-60 означает — станок буровой шарошечный модели 3, диаметр скважины номинальный 200 мм (долото $215,9\text{ мм}$) и глубина бурения 60 м .

Станки шарошечного бурения по массе и осевому усилию на долото подразделяются на три группы:

- легкие (до 40 т , осевое усилие до 200 кН);
- средние (до 80 т , осевое усилие до 350 кН);
- тяжелые (более 100 т , осевое усилие более 350 кН).

Совершенствование станков шарошечного бурения на основе базовых моделей (СБШ-200, СБШ-250 и СБШ-320) происходит в направлениях: повышения глубины бурения, скорости подачи, надежности; снижения затрат времени на вспомогательные операции; оснащения системами автоматического управления (САУ) процессом бурения и вспомогательными машинами операциями; оснащения системами сухого и мокрого пылеподавления.

Ниже приведено краткое описание основных узлов станков шарошечного бурения.

Станок 2СБШ-200-32 (см. табл. 2.10) предназначен для бурения вертикальных и наклонных скважин в породах средней крепости и крепких, является модернизированной моделью станка 2СБШ-200Н. Изменению подверглись конструкция ходовой части, рамы станка, редуктор лебедки подъема бурового става и механизм свинчивания долота. Гусеничный ход унифицирован с гусеничным ходом экскаватора Э-1252. Гусеничные тележки имеют индивидуальный привод от электродвигателя через бортовой редуктор. Мачта представляет собой сварную пространственную ферму. Ее подъем в рабочее вертикальное или наклонное положение и опускание осуществляются с помощью двух гидроцилиндров.

Несущая рама платформы имеет два передних и один задний гидродомкраты для горизонтирования станка.

К мачте на кронштейнах крепится кассетирующее устройство (кассета) секторного типа, предназначенное для размещения четырех штанг диаметром 180 мм и длиной 8 м каждая. К передней части мачты прикреплены направляющие швеллеры, по которым перемещается каретка вертлюга, через который к вращающимся штангам подается сжатый воздух. Штанги из скважины поднимаются с помощью каната 6 (рис. 3.1), образующего двухкратный полиспаст, и лебедки 1.

Операции по горизонтированию станка, подъему мачты в рабочее или опусканию в транспортное положение, захвату и подъему бурового става кулачками гидродомкрата, подаче бурового инструмента, повороту кассеты при сборке и разборке бурового става, развинчиванию штанг и долота, осуществляются гидросистемой станка. Гидросистема станка имеет масляную станцию с лопастным насосом.

Вращательно-подающий рабочий орган с нижним расположением вращателя патронного типа, смонтированный в передней части платформы в мачте, выполняет основные операции бурового процесса: вращение и подачу бурового долота на забой, сборку и разборку бурового става. Он состоит из вращателя 14, закрепленного на платформе станка, гидродомкрата 8 и двух гидроцилиндров подачи 10 и 15. Двигатель М1 постоянного тока мощностью 52, 60 или 68 кВт в зависимости от

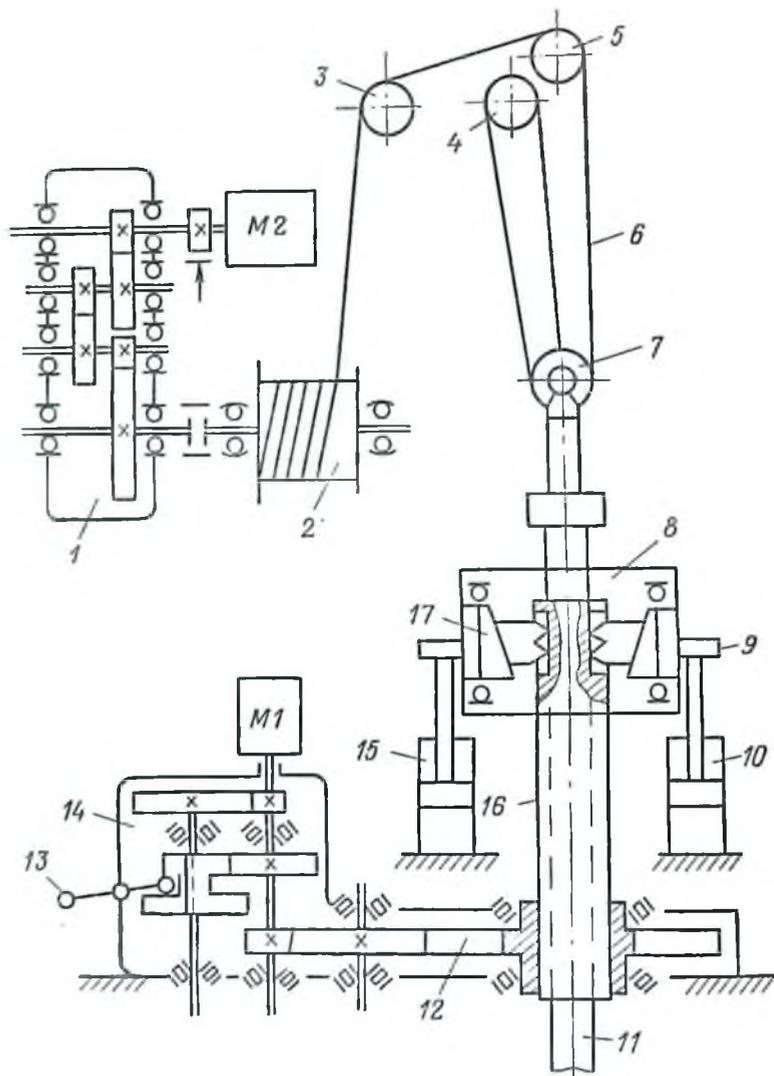


Рис. 31. Кинематическая схема вращательно-подающего механизма патронного типа шарошечного станка 2СБШ-200-32

модификации станка (см. табл. 2.10) через двухскоростной редуктор, переключаемый рычагом 13, вращает полый шестигранный шпиндель 16, переходящий через ведущую шестерню 12 редуктора. Через внутреннее отверстие шпинделя проходит буровой став 11, который получает вращение от шпинделя через

кулачки 17 гидропатрона 8. Патрон с помощью траверсы 9 и гидроцилиндров 10 перемещается на длину хода цилиндров (1 м), передавая буровому ставу усилие подачи. Далее следует разжатие кулачков и подъем патрона в исходное положение. Полное погружение 8-метровой штанги может быть осуществлено за семь перехватов става, а 12-метровой — за одиннадцать перехватов. Маневровые подъем и опускание става осуществляются канатом 6 реверсивной тормозной лебедки, состоящей из асинхронного электродвигателя М2, трехступенчатого редуктора 1, барабана 2, блока 7, вертлюга и системы блоков 3—5, установленных на верхнем конце мачты.

Нижнее расположение вращателя позволяет снизить центр тяжести станка, иметь более легкую мачту, увеличить устойчивость станка при переездах с поднятой мачтой.

Гидропатрон (рис. 3.2) клинового типа расположен на верхнем круглом конце шестигранного полого шпинделя 12 и смонтирован в расточке стальной траверсы 17, имеющей у основания четыре отверстия. Два отверстия, расположенные по центральной оси, служат для крепления штоков гидроцилиндра подачи, а два, смещенные по отношению к оси, — для крепления бронзовых втулок — скользунов, предназначенных для прохода направляющих. Последние неподвижно закреплены на мачте и коробке передач. Снизу к траверсе привинчен корпус 15, в котором смонтирована опора шпинделя, состоящая из двух упорных подшипников 14 и разъемного кольца 11. Опора сверху и снизу закрыта крышками с уплотнениями 13. Во внутренней расточке траверсы имеется гильза 7, в которой перемещается поршень 9 с уплотнительными кольцами 8. Полости между поршнем и гильзой снизу и сверху закрыты уплотнениями 4 и через каналы в верхнем 3 и нижнем 10 установочных кольцах соединены с гидросистемой станка. При подаче масла в верхнюю полость поршень начинает смещаться вниз и через гайку 1, сферический подпятник 2 и упорный шарикоподшипник 5 воздействует на планшайбу 6, надетую на верхний конец шпинделя и вращающуюся вместе с ним. Вместе с тем планшайба может скользить вдоль шпинделя и воздействовать своими скошенными пазами на сопряженные с ним скошенные поверхности трех кулачков 16. Последние проходят сквозь три отверстия в стенке шпинделя и осуществляют зажим штанги, передавая ей осевое усилие и крутящий момент.

Пневмосистема служит для удаления выбуренной мелочи из скважины сжатым воздухом. Сжатый воздух нагнетается винтовым компрессором 6ВКМ-25/8 производительностью 0,417 м³/с. Воздух из воздухоборника поступает по трубопроводу и гибкому шлангу в вертлюг, а затем по ставу штанг проходит через долото, охлаждает его и, захватив буровую мелочь, выходит к устью скважины по зазору между стенкой скважи-

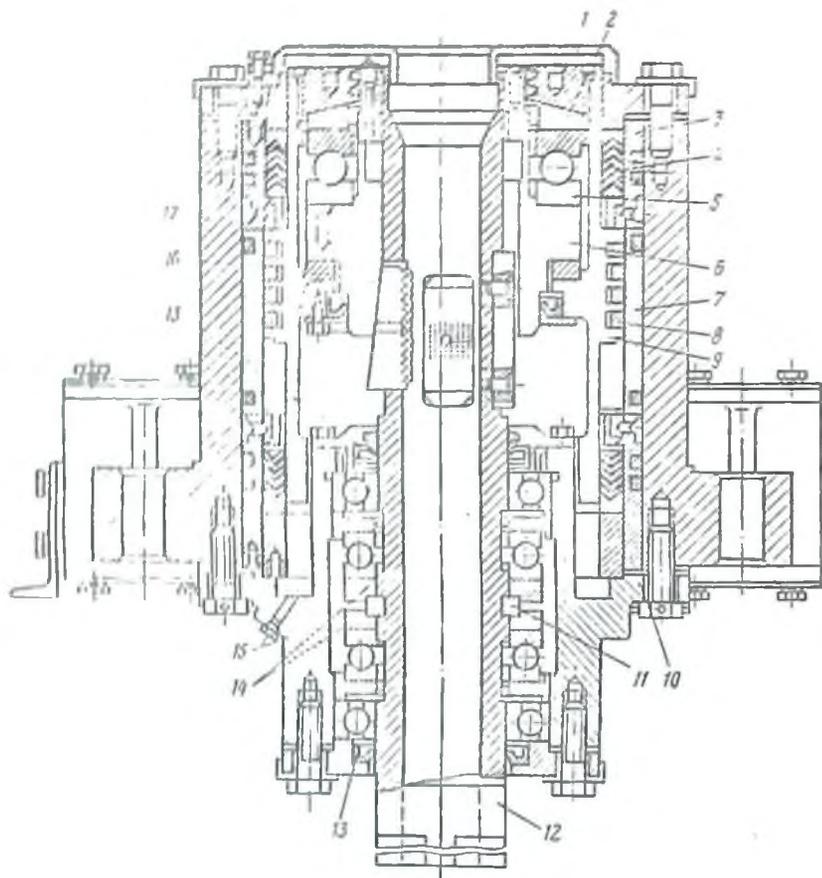


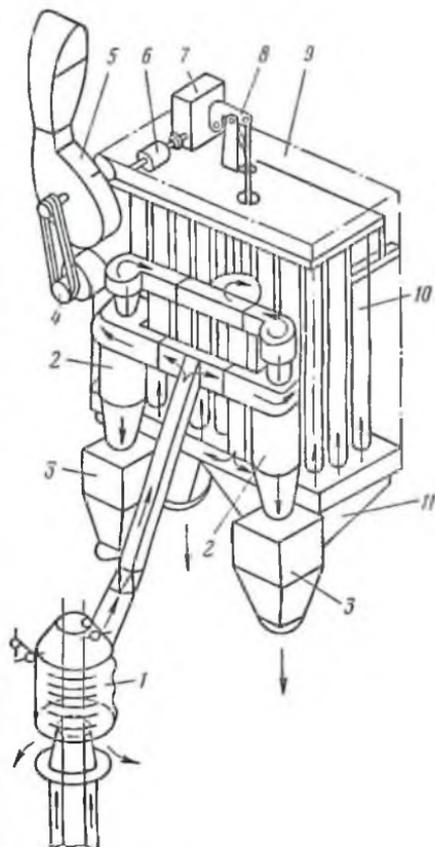
Рис. 3.2. Гидропатрон станка 2СБШ-200Н-32

ны и штангой. Выбуренная мелочь частично (наиболее крупные фракции) оседает в пылеприемнике. Более мелкие фракции поступают в другие звенья установки сухого пылеулавливания станка.

Установка сухого пылеулавливания (рис. 3.3) состоит из пылеприемника 1, размещенного над устьем скважины, и парного циклона 2 (вторая ступень очистки), после которого более крупные фракции падают в бункер 3, а мелкая пыль поступает в тканевые рукавные фильтры 10, в которых (третья ступень) происходит окончательная очистка воздуха. Затем поток через вентилятор 5 выходит в атмосферу. Для периодической очистки внутренней поверхности рукавов служит

Рис. 3.3. Схема установки сухого пылеулавливания станка 2СБШ-200-32

механизм встряхивания, состоящий из электродвигателя 6, редуктора 7 и кулачков, воздействующих на рычаг 8, связанный с подвижной рамой 9 фильтра. Выпадающая из рукавов пыль собирается в двух бункерах 11. Управление встряхивателем, контроль и регулирование давления воздуха в пневмосистеме — дистанционное из кабины машиниста. При включении встряхивающего устройства автоматически отключаются компрессорная станция и привод 4 вентилятора 5, а через определенный промежуток времени — встряхиватель.



Кабина машиниста рассчитана на круглогодичную эксплуатацию станка в различных климатических условиях. В ней сосредоточены все органы управления и контроля за механизмами станка. Схема управления процессом бурения осуществляет два режима: «Ручные операции», позволяющие управлять электроприводами вращателя и лебедки и гидросистемой при сборке и разборке бурового става, и «Бурение», обеспечивающее автоматический перехват патроном бурового става в процессе бурения скважины на глубину каждой штанги.

Кабина машиниста оборудована приборами, показывающими значение тока нагрузки электродвигателей, частоту вращения бурового става, усилие и скорость его подачи на забой. Питание станка электроэнергией осуществляется от карьерной сети через передвижную понижающую трансформаторную подстанцию, от которой ток напряжением 380 В с помощью гибких кабелей подается через вводную коробку станка ко всем его узлам.

Питание станка электроэнергией осуществляется от карьерной сети через передвижную понижающую трансформаторную подстанцию, от которой ток напряжением 380 В с помощью гибких кабелей подается через вводную коробку станка ко всем его узлам.

Модели 3СБШ-200Н, 3СБШ-200-60 и 2СБШ-200Н, 4СБШ-200-40 отличаются от 2СБШ-200-32 повышенной глубиной бурения и мощностью установленных электродвигателей.

На станке ЗСБШ-200Н увеличена длина штанги с 8 до 12 м, упрощен и усилен редуктор вращателя в расчете на силовые режимы бурения. Изменена конструкция мачты. Станок имеет систему плавного хода с тиристорным приводом. Кабина станка установлена на амортизаторах. Электрическая часть станка ЗСБШ-200Н существенно улучшена. Привод вращателя оснащен тиристорными преобразователями (системы ТП-Д). На станке установлены системы автоматического управления режимом бурения (см. раздел 8) и гидроподачи с объемным регулированием. Установлена новая система сухого пылеулавливания с замкнутым воздушным потоком и регулируемым его расходом (в замкнутом контуре). Станок оснащен двумя кабельными барабанами. Электропривод вертлюга используется для одновременного свинчивания верхнего и нижнего концов буровой штанги при наращивании става. Увеличена подача насоса гидропровода, что сокращает время холостого хода гидроратрона и горизонтирования станка.

Изготовитель станков ЗСБШ-200Н и ЗСБШ-200Н — Бузуджский завод тяжелого машиностроения, а ЗСБШ-200МН — Барвенковский машиностроительный завод.

Станок СБШ-250МН (СБШ-250МНА-32) предназначен для бурения вертикальных и наклонных взрывных скважин диаметром 250 и 270 мм в сухих и обводненных, а также трещиноватых крепких породах.

Верхний (торцовый) электромеханический привод вращения бурового става включает электродвигатель постоянного тока, редуктор и шинно-шлицевую муфту. Для предотвращения передачи вибраций электродвигатель и редуктор подвешены на канатах системы подачи и следуют за опорным узлом на определенном расстоянии.

Станок смонтирован на унифицированном гусеничном ходу УГ-60. На поперечных балках гусеничной тележки устанавливается рама станка, выполненная совместно с машинным отделением. В нем размещены узлы гидропривода и электропривода, кабина и емкость для воды. В неутепленной части машинного отделения смонтирован компрессор. Кабина, с целью уменьшения вибраций и шума, выполнена отдельно от машинного отделения и крепится к каркасу на резиновых амортизаторах.

Мачта станка с оборудованием подвешена на специальных опорах, которые закреплены на силовых элементах машинного отделения. Консольное расположение мачты обеспечивает возможность бурения наклонных скважин, расположенных близко к кромке уступа. Мачта представляет собой сварную пространственную ферму, на верхней обвязке которой смонтирована опора блока механизма подачи, а на нижней — установлены гидроцилиндры канатно-поршневой системы подачи и меха-

низма развинчивающий штанг и верхний ключ. Вдоль мачты установлены направляющие для каретки вращателя и натяжной каретки гирлянды.

Перед бурением станок горизонтируют тремя домкратами. В рабочих положениях мачта закрепляется специальным механизмом, расположенным на консолях машинного отделения.

Все узлы рабочего органа смонтированы в мачте, в том числе вращательно-подающий механизм, кассета секторного типа с тремя штангами по 8 м, механизм развинчивания штанг, верхний ключ с гидروприводом.

Вращательно-подающий механизм шпиндельного типа имеет канатно-поршневую систему подачи (рис. 3.4). Вращение от электродвигателя М1 мощностью 68 кВт постоянного тока через зубчатую муфту и шлицевой вал передается входному валу двухступенчатого редуктора 5. От выходного вала последнего вращение получает шпнно-шлицевая муфта 7, служащая для предохранения электродвигателя и редуктора от вибрации. Через опорный узел 8 на вращающийся буровой снаряд 9, 10, 11, 15 передается осевое усилие от нижних канатов механизма подачи, закрепленных на ползунах 17 опорного узла. Каретки 16 вращателя движутся по направляющим 4 мачты. Опорный узел 8, в свою очередь, может перемещаться относительно кареток. Электродвигатель с редуктором и блоком 2 подвешен на канатах 18 и 1.

Каретка вращателя через полиспадную систему соединена со штоком одного из гидроцилиндров подачи 14. Ниже опорного узла расположено сальниковое устройство для подачи воздуха или водовоздушной смеси в буровой став. Канатно-полиспадная система осуществляет непрерывную подачу вращателя на длину штанги (8 м) при ходе поршня, равном 2 м, и состоит из верхних 6 и нижних 12 канатов, концы которых соединены с кареткой вращателя. При движении штоков цилиндров вверх натягиваются нижние канаты и вращатель движется вниз, при опускании штоков натягиваются верхние канаты и происходит подъем вращателя. Натяжение канатов регулируется с помощью винтовых устройств 13 и 3.

Свинчивание и развинчивание буровых штанг и шарошечно-го долота производится с помощью механизма развинчивания, сепаратора и вращателя. На станке принята система пылеподавления воздушно-водяной смесью. Одна из модификаций станка СБШ-250МН выпускается с системой сухого пылеулавливания по чертежам СКБ СГО.

Станок оборудован установкой приточной вентиляции с подогревом и увлажнением воздуха. В кабине машиниста устанавливается кондиционер КТА2-08Г-02.

Подвод электроэнергии к двигателю вращателя и подача воздушно-водяной смеси (или сжатого воздуха) для продувки

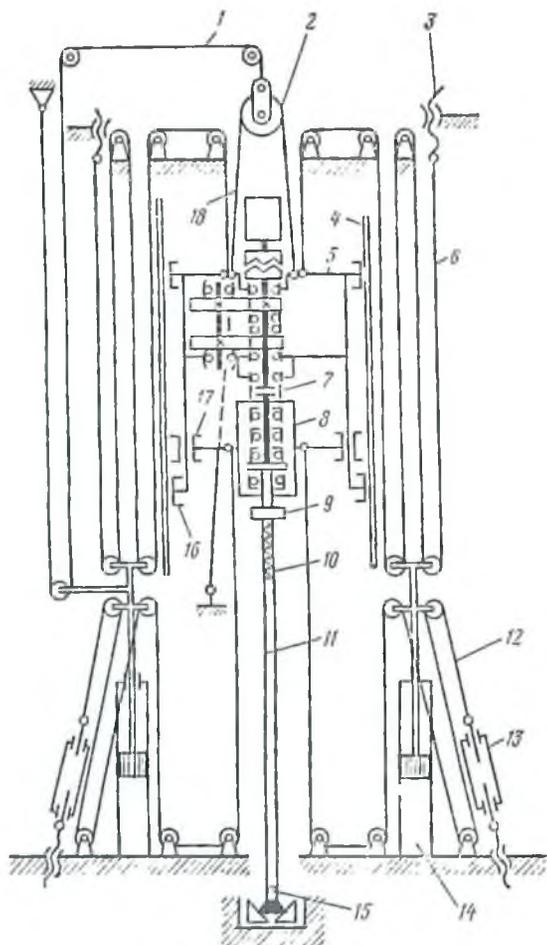


Рис. 3 1. Кинематическая схема вращательно-подающего механизма шпиндельного лифта с канатно-поршневой подачей станка шарошечного бурения СБШ-250МНА-32

скважины выполняются с помощью гибкой гирлянды, в которой объединены кабель, воздушный и водяной (при мокром пылеподавлении) шланги.

Гидросистема станка обеспечивает создание осевого усилия и перемещение бурового става вверх и вниз, свинчивание (развинчивание) штанг и долот, подвод и отвод штанг в кассету, разбор и наращивание бурового става, горизонтирование станка с помощью гидродомкратов, подъем и опускание мачты.

Маслонасосная станция имеет двухсекционный насос типа Н-403 и сдвоенный насос 35Г12-24, каждый суммарной подачей 35 л/мин. Максимальное рабочее давление в системе 12,5 МПа, регулируемое предохранительным клапаном.

Станок имеет три пульта управления механизмами, основной из которых — в кабине машиниста. Второй пульт расположен в нижней части мачты и предназначен для дублирования управления некоторыми операциями. Третий пульт — выносной — для управления механизмом хода станка.

Вместо станка СБШ-250МНА-32 заводами ВПО «Рудгор-маш» намечены к выпуску четыре его модификации: СБШ-250-20 для бурения вертикальных скважин глубиной около 20 м без наращивания штанг (с одним перехватом через 10 м); СБШ-250-36 — для бурения скважин глубиной до 32 м с наращиванием двух штанг; СБШ-250-55 — для бурения скважин глубиной до 55 м (с перехватом через 10 м) с наращиванием четырех штанг, а также СБШ-250МНР — станок комбинированного бурения скважин глубиной до 20 м без наращивания штанги с термическим расширителем котловой части скважины до диаметра 400 мм.

Станки серии СБШ-250 первого и второго поколения разработаны в СКБ СГО, изготавливаются на Воронежском заводе горнообогатительного оборудования. Станки унифицированы по ходовому оборудованию, основным механизмам и двигателям.

Основные конструктивные отличия станков второго поколения: наличие двух лебедок подачи с 3-кратной канатно-полиспастной системой; новых механизмов срабатывания сепаратора, обеспечивающих полную механизацию вспомогательных операций по свинчиванию и развинчиванию бурового става; системы автоматизации режима бурения и горизонтирования станка; буровых штанг диаметром 219 мм вместо 200 мм, что увеличивает скорость потока в затрубном пространстве от 25 до 45 м/с и улучшает очистку скважины.

Станок шарошечного бурения СБШ-320-36 самоходный тяжелого типа, предназначен для бурения вертикальных скважин в крепких и весьма крепких породах ($f > 18$) шарошечными долотами диаметром 320 мм. В станке принят верхний (торцовый) привод вращения бурового става от электродвигателя постоянного тока через редуктор и муфту.

Станок смонтирован на гусеничном ходу, состоящем из двух гусеничных тележек (с индивидуальным приводом) и сварной рамы. На раме установлено машинное отделение, которое разделено внутренней перегородкой на две части: переднюю — включающую в себя два тамбура, переднюю часть каркаса, и заднюю. В передней утепленной части машинного отделения размещаются электро- и гидрооборудование, насосы

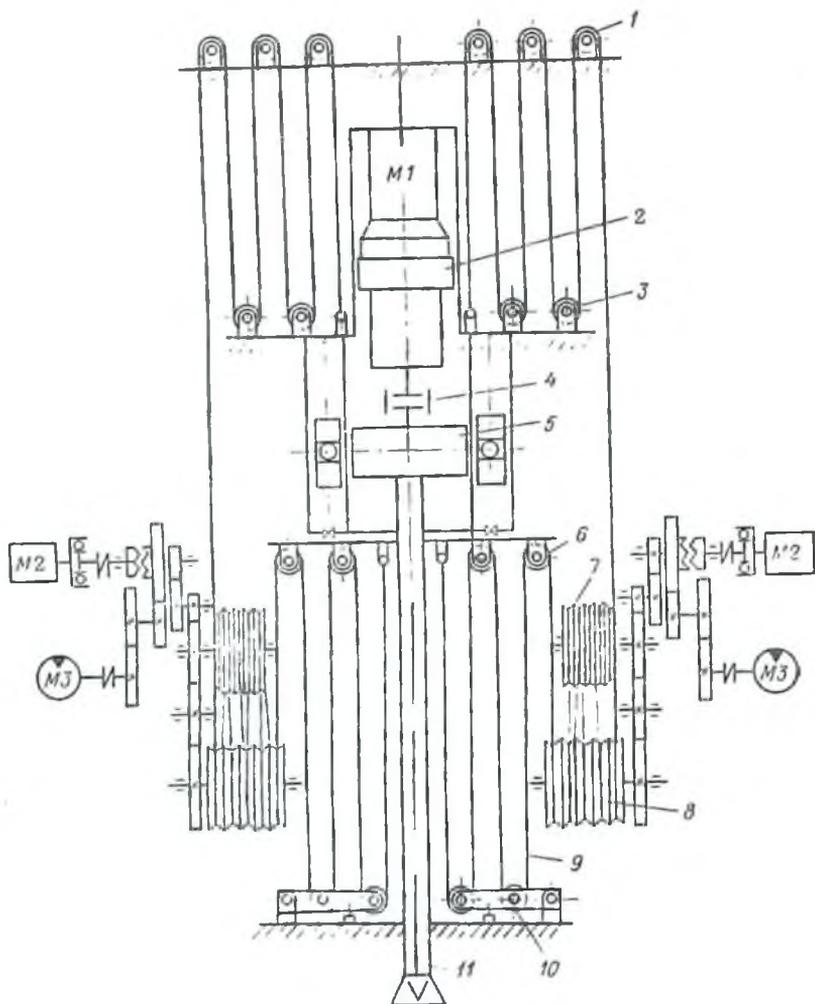


Рис. 3.5. Кинематическая схема вращательно-подающего механизма с канатно-полиспастной системой подачи станка шарошечного бурения СБШ-320-36

для закачки воды в бак и орошения забоя и другое вспомогательное оборудование; в задней — два винтовых компрессора, а в хвостовой части — два кабельных барабана. К левому тамбуру машинного отделения примыкает кабина машиниста, а к правому тамбуру — емкость для воды.

Мачта станка, представляющая собой прямоугольную пространственную ферму, закрепляется шарнирно на кронштей-

нах и с помощью двух гидравлических цилиндров может устанавливаться в рабочее (вертикальное) или транспортное (горизонтальное) положение.

При бурении станок устанавливается на четыре домкрата, с помощью которых выполняется его горизонтирование. Оборудован винтовыми компрессорами 6ВКМ-25/8. Питание станка осуществляется по двум кабелям через кабельные барабаны.

Вращательно-подающий механизм шпиндельного типа с канатно-полиспастной системой подачи (рис. 3.5). Буровой став вращается от двигателя М1 постоянного тока через двухступенчатый редуктор 2 и шинно-зубчатую муфту 4. Принципиальное устройство вращателя станка СБШ-320-36 аналогично устройству вращателя станка СБШ-250МНА-32. Осевое усилие до 600 кН на буровой став 11 передается через опорный узел 5 двумя канатами 9, образующими 5-кратные нижние полиспасты. Подвижные блоки 6 полиспастов установлены на раме опорного узла, а неподвижные блоки 10 закреплены на мачте. Канаты 9 огибают желобчатые барабаны 7 и 8 лебедок подачи и далее идут к неподвижным блокам 1, установленным на мачте, образуя 5-кратные полиспасты. Подвижные нижние блоки 3 закреплены на вращателе. При бурении вращатель опускается вслед за опорным узлом. Лебедки подачи при бурении вращаются от гидродвигателей М3, а при спуско-подъемных операциях — от электродвигателей М2. Одновременное включение двигателей исключается. Силовая подача бурового снаряда на забой производится в режиме «Бурение», остальные операции в режиме «Вспомогательные операции». Функции гидросистемы аналогичны станку СБШ-250МНА.

Изготовитель станка СБШ-320-36 — Воронежский завод горнообогатительного оборудования.

3.2. СТАНКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ С РЕЖУЩИМИ ДОЛОТАМИ И КОМБИНИРОВАННЫЕ

Для бурения по углю и некрепким породам на открытых разработках (угольные разрезы, карьеры горной химии и строительных материалов и др.) применяют станки вращательного бурения со шнековой очисткой типов СВБ-2М (снят с производства, но большое их число еще находится в эксплуатации) и СБР-160А (СБР-160А-24), а также станки комбинированного бурения типов 2СБР-125, БТС-150 и СБШК-200 (опытный), рассчитанные на применение различных буровых инструментов (режущих, шарошечных и пневмоударных) и способов очистки скважины (шнековый, воздушный и шнеко-воздушный).

Буровой станок СВБ-2М предназначен для бурения вертикальных и наклонных скважин в углях и породах с коэффи-

коэффициентом крепости $f < 6$. Штыб из скважины выдается шнековыми штангами.

Станок имеет гусеничный ход, на котором смонтирована сварная рама. Буровой став приводится во вращение от электродвигателя мощностью 40 кВт через соединительную муфту и двухступенчатый, двухскоростной редуктор, обеспечивающий частоты вращения шпинделя 2 и 3,3 с⁻¹.

Ходовой механизм и лебедка подъема вращателя работают от общего электродвигателя мощностью 26 кВт, движение от которого передается через упругую муфту с тормозом и двухступенчатый редуктор РМ-500-5 и системы открытых зубчатых и цепных передач. На раме станка крепится мачта, по трубчатым направляющим которой перемещается вращатель. Мачта может занимать горизонтальное (транспортное), вертикальное и наклонное (до 30° к вертикали) положения. На раме станка смонтированы кабина машиниста, система управления, пусковая электроаппаратура и плунжеры, для создания дополнительного осевого усилия на забой.

Буровой став может подаваться на забой при опускании под действием собственного веса вращателя (1,8 т), скользящего по направляющим трубам мачты, и отключении фрикционной лебедки подъема. При этом канат свободно сматывается с барабана лебедки. С помощью гидроплунжеров может быть создано осевое усилие на долото до 50 кН.

Станок СБР-160А (СБР-160А-24) предназначен для бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром 160 мм по углю и в породах с коэффициентом крепости $f < 6 \div 7$.

Этот станок в отличие от СВБ-2М имеет механизацию спуско-подъемных операций. Длина штанг увеличена более чем в 4,5 раза (8,39 против 1,8 м). Это позволило сократить число штанг до трех и механизировать их подачу на ось бурения при наращивании и разборке става. Увеличена грузоподъемность лебедки для подъема бурового става из скважины. Станок имеет усовершенствованную ходовую часть и оснащен гидрофиницированными механизмами для сборки и разборки бурового става, подъема и опускания мачты. Один из вариантов станка предусматривает подачу сжатого воздуха во внутренний канал шнековых штанг. В этом случае на платформе станка устанавливается компрессор.

Основные узлы станка: ходовая часть (гусеничная), рама с кузовом, мачта с рабочим органом, состоящим из вращателя, кассеты, механизма захвата и центратора, механизма подачи, привод которого расположен вне мачты, гидро- и электросистемы.

Кинематическая схема станка СБР-160А-24 приведена на рис. 3.6.

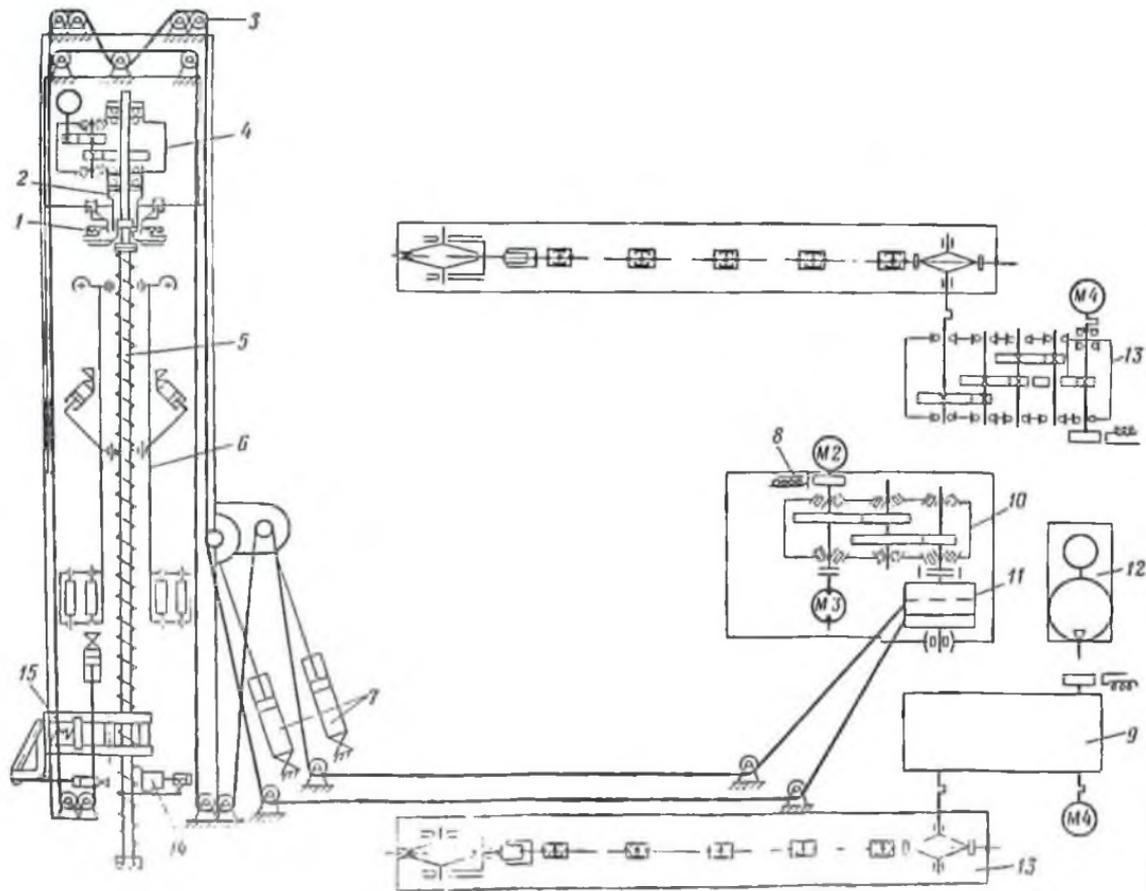


Рис. 3.6. Кинематическая схема бурового станка СБР-160А-24

Вращение буровому ставу передается от трехскоростного электродвигателя М1 через двухступенчатый редуктор 4. Скорость вращения бурового става изменяется переключением числа пар полюсов электродвигателя мощностью 36/40/50 кВт.

На выходном валу редуктора вращателя смонтирован центратор-захваты 1 и патрон 2 для соединения с буровой штангой 5 и передачи крутящего момента на нее. Захват штанги осуществляется колодками с приводом от гидроцилиндров.

Центратор 15 обеспечивает удержание нижнего конца верхнего шнека во время сборки и разборки става при наклонном бурении.

Вращательно-подающий механизм станка СБР-160А-24 имеет канатно-полиспаственную систему подачи, соединенную с рамой вращателя через траверсу. Вращатель с буровым ставом при бурении подается на забой с усилием до 65 кН и скоростью подачи 0—3 м/мин с помощью рабочего каната 6 вращением барабана 11 лебедки, которая приводится через цилиндрический редуктор 10 от гидромотора МЗ мощностью 3,2 кВт. При маневровых операциях (подъем и спуск бурового става) используется асинхронный двигатель М2 мощностью 30 кВт, обеспечивающий скорость подъема става до 30 м/мин. Очередность работы приводов лебедки регулируется с помощью электромагнитной муфты 8.

Механизм подачи представляет собой однобарабанную лебедку с двумя приводами: регулируемым — для подачи при бурении и нерегулируемым — для подъема и опускания вращателя. Маневровая подача вращателя осуществляется при работе лебедки через редуктор от асинхронного двигателя АО2-72-4, а принудительная рабочая подача — от гидродвигателя МР-0,16/10, связанного со вторым концом вала редуктора.

На станке применена ходовая тележка от экскаватора Э-303 с индивидуальным приводом гусениц 13 от электродвигателей М4 типа АОС2-62-4 через бортовые трехступенчатые редукторы 9. При буксировке привод гусениц отключается с помощью дисковых муфт.

Мачта станка — сварная пространственная ферма прямоугольного сечения, нижняя часть ее выполнена в виде плиты, усиленной ребрами. На верхней обвязке мачты расположены блоки 3 подъема вращателя, а на нижней — вилка 14 гидроцилиндра, обеспечивающая фиксацию и удержание бурового става при его сборке и разборке, а также центратор 15.

Гидросистема станка питается от лопастного насоса с подачей 25 л/мин (Р12,5 МПа) и обслуживает гидродомкраты горизонтирования станка и гидроцилиндры 7 подъема и опускания мачты, а также гидроцилиндры механизмов перемещения штанг, их захвата и удержания при сборке и разборке бурово-

го става. К станку может быть присоединена компрессорная станция 12.

Кассета установлена внутри мачты и состоит из двух полуосей и опор. На нижнем кронштейне кассеты установлены подпружиненные стаканы. Буровой став при его сборке и разборке фиксируется захватом штанг, состоящим из вилки и гидроцилиндра. Вилка перемещается в направляющих нижнего люнета, установленного на нижней плите мачты. Для обеспечения захвата штанги зев вилки выполнен ступенчатым.

Машинное отделение обеспечивает защиту от атмосферных осадков и удобство эксплуатации оборудования.

Кабина отделена от машинного отделения звуко- и теплоизолирующей перегородкой, снабжена калориферной установкой.

Пусковая аппаратура и аппаратура защиты размещены в электрических шкафах. С пульта машинист управляет процессом бурения, спуско-подъемными операциями и передвижением станка. Снаружи имеется выносной пульт управления ходовым механизмом станка.

Станок обслуживают машинист и помощник.

Изготовитель станка СБР-160А-24 — Карпинский машиностроительный завод.

Буровой станок 2СБР-125-30 предназначен для направленного бурения взрывных скважин по углю и породам на угольных разрезах, карьерах нерудных ископаемых и в строительстве. Бурение может выполняться: режущим инструментом со шнековой и шнековоздушной выдачей буровой мелочи по углю и породам с коэффициентом крепости $f < 6$; шарошечным инструментом с продувкой воздухом по породам с $f < 10$; режуще-ударным инструментом с продувкой воздухом по породам с $f < 8$.

При бурении шарошечным и режуще-ударным инструментом используют гладкие штанги или трубы. Станок гидрофицирован, оборудован компрессорной станцией, герметизатором устья скважины и системой пылеулавливания сухого типа с трехступенчатой очисткой. Основные и вспомогательные процессы на станке полностью механизированы. Штанги имеют замковое (безрезьбовое) соединение.

Плавнорегулируемые гидравлические приводы вращателя и механизма подачи обеспечивают выбор рациональных режимов бурения в различных горно-геологических условиях.

Буровой станок 2СБР-125-30 состоит из вращательно-подающего органа, ходового механизма, кабины, гидросистемы, электрооборудования и пылеулавливающей установки.

Ходовая часть — гусеничная тележка от бурового станка СВБ-2М с приводом от двухлопастных гидродвигателей ВЛГ-400.

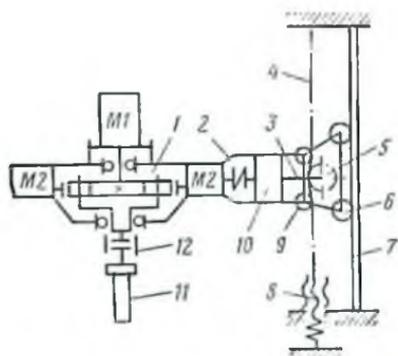


Рис. 3.7. Кинематическая схема вращательно-подающего механизма станка 2СБР-125-30

Рабочий орган состоит из мачты, по которой перемещается вращательно-подающий механизм, и кассеты, установленной внутри мачты. В нижней части мачты смонтированы люнет, центратор, ключ и механизм для удаления буровой мелочи от устья скважины. При помощи кронштейнов рабочий орган шарнирно укреплен к раме станка.

Вдоль направляющих мачты проходят двухрядные втулочноролниковые цепи, с которыми сцеплены ведущие звездочки механизма подачи.

Вращение звездочек определяет направление перемещения вращательно-подающего механизма вдоль мачты. Верхние и нижние концы цепей укреплены к основаниям мачты через пружинные амортизаторы.

Кассета барабанного типа рассчитана на установку шести шнековых штанг или гладких труб. Поворот и выдвигание кассеты на ось скважины при сборке и разборке става выполняется гидроцилиндрами, установленными в направляющих основания мачты.

Вращатель имеет планетарный редуктор (привод от гидромотора МН-250/100), концевую муфту, установленную на выходном валу редуктора, и два редуктора механизма подачи. Редукторы с приводом от гидромоторов Г15-23 обеспечивают вращение приводных звездочек. Редукторы вращателя и подачи установлены в общем литом корпусе, снабженном четырьмя направляющими ползунами.

На приводных валах редукторов вращателя и подачи установлены датчики тахометра для контроля с пульта управления частоты вращения бурового инструмента и скорости подачи.

Вращательно-подающий механизм станка 2СБР-125-30 шпиндельного типа с цепной подачей (рис. 3.7). На стальной раме 2 смонтированы механизмы вращения и два механизма подачи. На неподвижных осях на раме установлены ролики 6, с помощью которых рама вращательно-подающего механизма может перемещаться по направляющим мачты 7. Вал гидродвигателя М1 через планетарный редуктор 1 с выходным шлицевым валом и муфту 12 передает момент вращения на шпindel 11 бурового става. В средней части рамы 2 смонтированы два механизма подачи, оси которых перпендикулярны оси шпинделя. На горизонтальных валах 3 механизма подачи

посажены ведущие звездочки 5, сцепленные с втулочно-роликowymi цепями 4, закрепленными на мачте. Сверху и снизу каждой из ведущих звездочек установлены отклоняющие звездочки 9, обеспечивающие постоянное зацепление ведущих звездочек с цепями. Привод механизма подачи осуществляется от гидродвигателя М2 через планетарный редуктор 10. Натяжение цепи регулируют винтом 8. Рабочий орган создает осевое усилие до 40 кН, частоту вращения 0—4,1 с⁻¹ при скорости подачи 0,15 м/мин.

Кабина машиниста и установка сухого пылеулавливания расположены на платформе. Рабочий орган с помощью гидроцилиндров может быть установлен под углом 10° к горизонту. При бурении станок опирается на три гидроджкрата.

Гидравлическая система станка: маслобак, гидроаппаратура и три насоса шестеренчатого типа (привод — от общего электродвигателя). Насос НШ-10 используется для горизонтирования и привода вспомогательных механизмов.

Изготовитель станка 2СБР-125-30 — Карпинский машиностроительный завод.

Станок СБШК-200-50 предназначен для бурения вертикальных и наклонных скважин глубиной до 50 м с комбинированным способом удаления буровой мелочи из скважины. Основная область применения — сложноструктурные вскрышные уступы с породами переменных свойств с коэффициентом крепости $f \leq 12$.

Станок СБШК-200-50 рассчитан на бурение режущими долотами диаметром 214 мм, шарошечными долотами диаметром 190 мм и режуще-ударным инструментом диаметром 216 мм. Способы удаления буровой мелочи из скважины: шнековый, пневматический и комбинированный (пневмо-шнековый).

Станок комплектуется буровым ставом шнековых (диаметром 208 мм) и гладкоствольных (диаметром 168 мм) штанг длиной по 8 м, которые могут быть установлены в любой комбинации.

Характерная особенность станка — гидравлические приводы хода, вращателя, механизмов подачи и спуско-подъемных операций. Гидравлическая система станка имеет два объемных гидропровода с замкнутой циркуляцией, общий маслобак, устройства очистки и охлаждения жидкости. Основной гидропривод — гидромоторы (гусеничного хода, лебедки и вращателя), гидропривод малой мощности — гидроцилиндры. Производительность маслостанции регулируется включением соответственно одного, двух или трех насосов одновременно.

Буровой станок снабжен винтовым компрессором

ВК11 и пылеулавливающей установкой, включающей пылесадительную камеру, зонт, циклон, камеру рукавных фильтров, отсасывающий вентилятор.

Рабочий орган станка состоит из вращательного механизма, системы подачи бурового става на забой с автоматическим перехватом инструмента, лебедки подъема, механизма отвинчивания, люнета, центратора и гидроцилиндров наклона мачты.

Вращатель безредукторный представляет собой совмещенную в одном корпусе конструкцию опорного узла и воздухо-приемника. Привод — от высокомоментного регулируемого гидродвигателя МРРФ-4, соединенного через опорный узел непосредственно со шпинделем вращателя. На нижний конец шпинделя навинчивается переходник с расположенной внутри него подпружиненной конусной муфтой, осуществляющей торможение штанги при отвинчивании ее нижнего конца во время разборки става. Управление частотой вращения осуществляется с пульта многопозиционным переключателем, управляющим шаговым гидрораспределителем.

Механизм подачи штанг на ось бурения расположен внутри мачты и состоит из поворотной колонны, нижнего и верхнего секторов. Нижний сектор передвигается гидроцилиндром вдоль колонны, а поворот колонны осуществляется гидрорейкой.

Напорный механизм обеспечивает рабочую подачу бурового инструмента и состоит из двух гидроцилиндров, укрепленных на корпусе вращателя. Штоки гидроцилиндров соединены с подвижной траверсой, снабженной двумя трехкулачковыми гидротронами, осуществляющими периодические захваты за направляющие струны. Способ подачи — шагающий с автоматическим перехватом.

Лебедка установлена на платформе и состоит из гидродвигателя МРРФ4, соединенного непосредственно с барабаном.

Механизм отвинчивания штанг состоит из гидравлического ключа-вилки и гидроцилиндра поворота ключа.

Люнет центрирует буровой став при нахождении вращателя в верхнем положении. Центратор удерживает нижний конец штанги при сборке и разборке бурового става во время бурения наклонных скважин.

Аппаратура управления и защиты размещена в специальном шкафу машинного отделения и на пульте управления, установленном в кабине.

Кабина машиниста выполнена герметичной со звуко- и теплоизолирующими перегородками, калориферная установка с вентилятором для наддува обеспечивает необходимый комфорт. Станок обслуживается машинистом и его помощником.

Буровой станок снабжен винтовым компрессором ВК-11.

Пылеулавливающая установка состоит из пылесадительной камеры, зонта, циклона типа ЦК-15У диаметром 450 мм и фильтрационной камеры из трех рамок с 60 рукавами (трехступенчатая очистка). Отсасывание пыли обеспечивается вентилятором ВВД-8У с приводом от электродвигателя. Способ удаления буровой мелочи — пневматический, шнековый и комбинированный.

Питание станка электроэнергией от сети напряжением 380 В и частотой 50 Гц — через передвижную понизительную подстанцию мощностью 320 кВ·А.

Станок СБШК-200-50 разработан СКБ ИГД им. А. А. Скочинского и НИИОГРом. Изготовитель — Бузулукский завод тяжелого машиностроения.

Буровой станок БТС-150 предназначен для бурения взрывных скважин в породах с коэффициентом крепости $f < 12$. Навесное буровое оборудование монтируется на тракторе Т-100М или Т-130. Очистка скважины осуществляется либо шнеком, либо сжатым воздухом при штангах-трубах от передвижной компрессорной станции. В первом случае бурение ведется режущим долотом, во втором — шарошечным.

Навесное буровое оборудование: сварная конструкция, закрепленная на раме тележки трактора, с шарнирно навешенной буровой рамой, подвижной вращатель, цилиндр подачи, кассетирующий барабан с буровыми штангами и пылеулавливающая установка. Буровая рама может поворачиваться относительно оси с помощью гидроцилиндров наклона и снабжена направляющими и квадратным валом для перемещения и привода вращателя.

Вращатель — одноступенчатый цилиндрический редуктор с полым шпинделем, через который внутрь бурового става подается сжатый воздух. Перемещение и рабочая подача вращателя по раме производятся гидроцилиндром подачи с рабочим ходом 2155 мм. Шток гидроцилиндра подачи шарнирно соединен с крышкой вращателя, а корпус цилиндра посредством откидного полуавтоматического замка закреплен в верхней части рамы. Откидной замок позволяет опускать цилиндр в транспортное положение. Усилие подачи регулируется с пульта с помощью распределителя и регулятора потока (дресселя).

Пылеулавливание — сухое с применением отсасывающего вентилятора. Буровая мелочь, выносимая сжатым воздухом из скважины, отводится через пылесборник по рукаву в бункер осадительной камеры.

Управление машиной при бурении выполняется с выносного пульта, блокировка исключает самопроизвольное передвижение трактора.

Горизонтирование станка выполняется тремя гидродомкратами. Закрепление переднего домкрата с наклоном 15° к верти-

кали в отличие от задних домкратов, установленных вертикально, разгружает штоки гидродомкратов от изгиба и придает устойчивость станку во время наклонного бурения.

Буровой станок обслуживают машинист и помощник.

Кассета — барабанного типа, в ячейках барабана размещены восемь штанг, которые подаются к оси бурового става гидроцилиндром и поворотом вручную барабана вокруг его оси.

Изготовитель станка БТС-150 — Золотоношский ремонтно-механический завод.

3.3. СТАНКИ УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ

Главное преимущество станков ударно-вращательного бурения — небольшие осевые усилия на инструмент. Это обстоятельство при наличии малогабаритных компрессоров высокого давления дает возможность значительно снизить массу и габаритные размеры станков, повысить их производительность и мобильность.

В настоящее время для открытых работ выпускаются станки ударно-вращательного бурения СБУ-100Г-35 (СБУ-100П-35), СБУ-100Н-35, СБУ-125-24 и осваивается станок СБУ-125У-52 (см. табл. 2.11). Они предназначены для проходки вертикальных и наклонных скважин диаметром 105 и 125 мм (станок СБУ-125У-52 рассчитан на бурение скважин 125 и 160 мм), глубиной до 24—35 м погружными пневмоударниками в крепких и весьма крепких породах с коэффициентом крепости $f=18$ и выше.

Станки СБУ-100-35 применяются на карьерах строительного камня и нерудных полезных ископаемых, в дорожном и гидротехническом строительстве, в сложных горнотехнических условиях, СБУ-125 — при заоткоске бортов карьеров, в трудно-взрываемых породах и селективной выемке полезных ископаемых, на карьерах строительных материалов.

Станки ударно-вращательного бурения успешно применялись на участках пород с коэффициентом крепости $f=7÷12$ на угольных разрезах «Томусинский» (Кузбасс) и «Изыхский» (Миусинский бассейн). Станки пневмоударного бурения не приспособлены к резким изменениям свойств пород. Пневмоударники применяются на разрезах для бурения горизонтальных скважин, разбуривания негабаритов; выполнения вспомогательных работ (ликвидация «порогов» в подошве уступа, обработка маломощных слоев твердых пород и т. д.); при обработке уступов, представленных крепкими породами крупноблочного строения; в качестве наддолотных интенсификаторов процесса бурения.

Станок СБУ-100-35 выпускается в трех модификациях с индексами: Г — гусеничный, П — самоходный пневмоколесный и Н — несамоходный на салазках.

Станки СБУ-100Г-35, СБУ-100Н-35 и СБУ-100П-35 имеют одинаковый рабочий орган. Их основное отличие заключается в использовании различных транспортных баз и систем пылеподавления; воздушно-водяная смесь для станка СБУ-100Н-35 и сухая инерционная с рукавными фильтрами для станков СБУ-100Г-35 и СБУ-100П-35.

Буровой станок СБУ-100Г-35 (базовая модель) предназначен для бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром 105—125 мм, глубиной до 35 м в породах с коэффициентом крепости $f=6 \div 16$.

Кинематическая схема станка СБУ-100Г-35 представлена на рис. 3.8. Ходовое оборудование состоит из двух гусеничных тележек 8 с индивидуальным электроприводом М2 мощностью по 5,5 кВт. Управляют станками с выносного пульта. На раме станка размещены вращательно-подающий орган, маслостанция 9, пылеулавливающая установка 12 с вентилятором 11, электрошкаф, стеллажи для хранения буровых штанг.

Рабочий орган шарнирно крепится в передней части станка и состоит из пневмоцилиндра подачи 5, направляющих (мачты), вращателя 3 и бурового снаряда 4, состоящего из комплекта штанг, пневмоударника и долота. Поворот мачты вокруг ее оси 6 осуществляется с помощью гидроцилиндра 7, а перемещение бортовых редукторами 10. Схема питания сжатым воздухом — от передвижных компрессорных станций или карьерной пневмосети через автомаценку А2-20. Спуско-подъемные операции осуществляются пневмопоршневым механизмом подачи, который имеет неподвижный цилиндр 5 диаметром 160 мм, относительно последнего перемещается поршень со штоком 2 на величину хода до 1050 мм с усилием вниз до 6, вверх до 9 кН. Вращатель 3 связан со штоком 2 поршня, перемещается по трубчатому направляющему и состоит из асинхронного электродвигателя М1 типа 4А100-443 и двухступенчатого планетарного редуктора (по схеме 2К-Н), на шпindelь которого навинчивается буровой снаряд 4.

На станке используют буровые коронки К105К и К125К и пневмоударники П-105К и П-125К (табл. 3.1).

Гидросистема служит для выполнения вспомогательных операций: подъема и опускания рабочего органа, горизонтирования станка домкратами 1, а также перемещения продувочной каретки фильтра тонкой очистки.

Трехступенчатая установка сухого пылеулавливания (рис. 3.9) служит для очистки от пыли воздуха, выходящего из скважины. Принцип действия пылеулавливающей установки: воздушно-пылевой поток, выходя из скважины,

Рис. 3.8. Кинематическая схема станка ударно-вращательного бурения СБУ-100Г-35

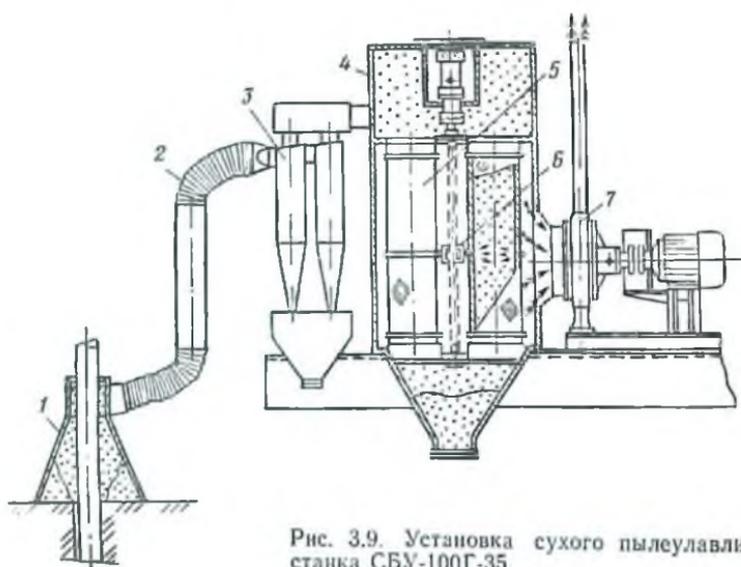
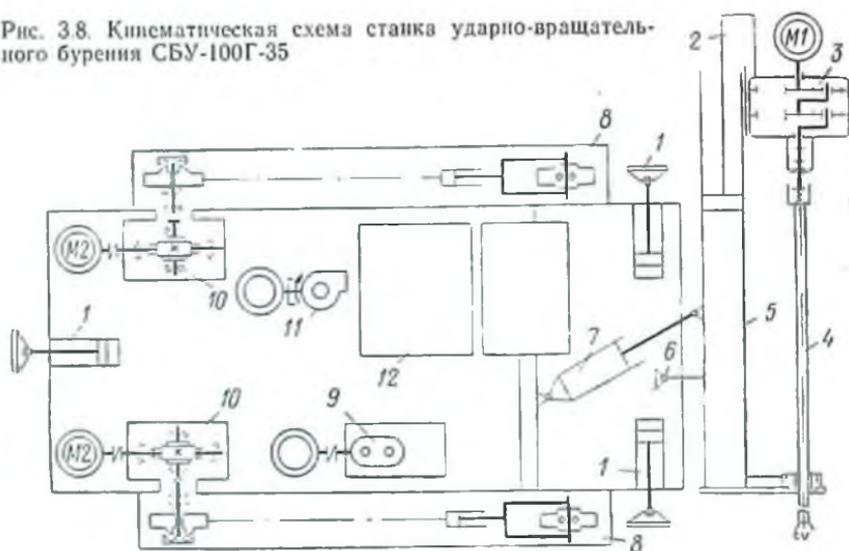


Рис. 3.9. Установка сухого пылеулавливания станка СБУ-100Г-35

попадает в осадительную камеру 1, где вследствие резкой потери скорости освобождается от крупных частиц шлама, далее поток вентилятором 7 по воздуховоду 2 подается в циклоны 3, затем в рукавный фильтр тонкой очистки 4, а из него — в атмосферных матерчатых рукавов 5, вдоль которых перемещается

Таблица 3.1

Техническая характеристика пневмоударников бесклапанного типа

Показатели	П-105К	П-125К	П-160А
Номинальный диаметр бурения, мм	105	125	165
Номинальное давление воздуха, МПа	0,5	0,5	0,5
Работа единичного удара, Дж	96	140	280
Частота ударов, с ⁻¹	27	21	21
Расход свободного воздуха, м ³ /мин	5,5	7,5	12
Ударная мощность, кВт	2,5	2,8	7,9
Наружный диаметр пневмоударника, мм	92	112	142
Изготовитель	Кыштымский завод им. М. И. Калинина		

продувочная каретка 6, выполняющая их периодическую очистку струей сжатого воздуха. Отделение пыли достигает 99,9%.

Буровой станок СБУ-100П-35 является модификацией бурового станка СБУ-100Г-35 на пневмоколесном ходу. Ходовая часть — сварная рама, два борта и четыре ведущих колеса с пневматическими шинами. Привод каждого борта хода — через червячный редуктор и зубчатую пару.

Буровой станок СБУ-100Н-35 несамостоятельный. Рабочий орган, аналогичный СБУ-100Г-35, установлен на стойках, закрепленных на салазках. Смена положения рабочего органа (из транспортного положения в рабочее) выполняется при помощи механизма поворота с ручным приводом, а фиксация в заданном положении — при помощи пальца. Для устойчивости станка в процессе бурения на салазки укладывается груз. Работой станка управляют с дистанционного переносного пульта управления.

Буровой станок СБУ-125-24 предназначен для бурения в крепких трудно взрываеваемых породах, при селективной выемке руд и в других условиях. Узлы станка смонтированы на раме гусеничного хода. Каждая гусеница имеет индивидуальный электропривод. Управление ходом — от переносного пульта.

Основные узлы: рабочий орган, кассета, гидросистема, пневмосистема, пылеулавливающая установка, электрооборудование и кабина.

Вращатель состоит из двухскоростного электродвигателя АО2-52-8/4 и планетарного редуктора (двухступенчатого по схеме 2К-Н). Для предохранения вращателя от вибрационных нагрузок в нем предусмотрен специальный воздушный демпфер.

Вращательно-подающий механизм шпиндельного типа с цепной подачей (рис. 3.10). Вращение буровому ставу 1 с пневмоударником 2 передается от двухскоростного асинхрон-

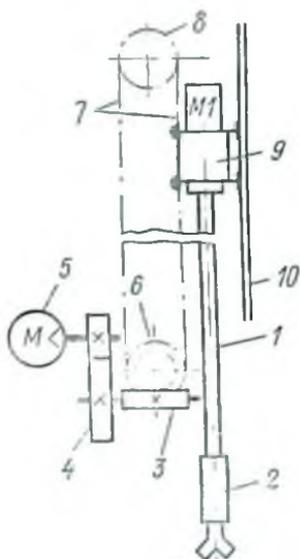


Рис. 3.10. Кинематическая схема вращательно-подающего механизма с цепной подачей бурового станка СБУ-125-24

ного двигателя М1 через планетарный редуктор 9. Подающий механизм обслуживает рабочие и маневровые операции и имеет две тяговые втулочно-роликковые цепи 7, концы которой крепятся к коромыслу вращателя. Привод цепи осуществляется ведущей звездочкой 6 от пневмодвигателя 5 (мощностью 4,4—5,5 кВт с частотой вращения 33 с^{-1}) через двухступенчатый редуктор, содержащий зубчатую 4 и глобоидную 3 передачи. Верхняя звездочка 8 закреплена на мачте. Буровой став перемещается вдоль мачты по направляющим 10. Регулирование скорости и усилия подачи, а также реверсирование скорости осуществляют изменением подачи воздуха к пневмодвигателю от передвижного компрессора или карьерной пневмосети.

Мачта сварена из швеллеров, внутренние поверхности полок которых являются направляющими для каретки вращателя. Подъем и опускание мачты производится гидроцилиндрами. В нижней части мачты на люнете установлен гидрозажим, который служит для удержания на весу бурового става во время спуско-подъемных операций. Здесь же расположен ключ с гидропатроном для разборки бурового става.

Кассета станка — барабанного типа, вмещает восемь штанг по 3 м.

Станок оборудован трехступенчатой системой сухого пылеулавливания, принцип действия которой аналогичен установке станка СБУ-100Г-35.

Гидросистема используется для выполнения следующих операций: горизонтирования станка гидродомкратами, подъема и опускания мачты, свинчивания и развинчивания бурового става, подачи кассеты и перемещения каретки рукавных фильтров пылеулавливающей установки.

Пневмосистема станка обеспечивает работу механизма подачи, пневмоударника и ряда вспомогательных механизмов.

Аппаратура управления станка размещена в трех пультах. Управление гусеничным ходом — с выносного пульта. Забуривание скважины осуществляют с дублирующего пульта, что позволяет визуально следить за процессом забуривания, который управляется в следующей последовательности: включение пылеулавливающей установки, подача воздуха в пневмо-

ударник, включение правого вращения става и подача пневмоударника вниз. Пневмоударник начинает работать при соприкосновении коронки с забоем.

Кабина станка — теплоизолированная, с регулируемой системой отопления.

Станок СБУ-125У-52 имеет ту же область применения, что и СБУ-125-24, а также рассчитан для бурения взрывных скважин, связанных с погашением уступов карьеров.

Отличительные особенности станка СБУ-125У-52 по сравнению со станком СБУ-125-24: гидравлический привод вращателя, обеспечивающий рациональные параметры бурения в широком диапазоне свойств горных пород; полная механизация вспомогательных процессов, снижающая непроизводительные затраты времени и облегчающая труд машиниста; возможность надвигания мачты станка вдоль ее продольной оси до упора в почву (с помощью гидроцилиндра), что облегчает забуривание и бурение наклонных скважин.

Изготовитель станков типа СБУ — Каштымский машиностроительный завод им. М. И. Калинина.

На станках типа СБУ применяются погружные пневмоударники типа П-105К, П-125К и П-160А, техническая характеристика которых приведена в табл. 3.1. Сущность их работы состоит в том, что сжатый воздух с помощью воздухораспределительного устройства подается попеременно в правую или левую полость цилиндра ударного механизма, обеспечивая возвратно-поступательное движение поршня-ударника, который при рабочем ходе наносит удар по хвостовику бурового инструмента. Погружной пневмоударник выполняется без встроенного поворотного устройства, работает на сжатом воздухе или воздушно-водяной смеси, которая обеспечивает пылеподавление.

Основными параметрами, определяющими эффективность работы погружных пневмоударников, являются величина энергии единичного удара по буровому инструменту и частота ударов.

Погружные пневмоударники трех типоразмеров имеют одинаковую конструкцию (рис. 3.11), обладают бесклапанной системой воздухораспределения, имеют поршень-ударник 10, который при рабочем движении в цилиндре 8 перемещается на величину хода, саморегулируя подачу сжатого воздуха из полости 17 трубки 13 в полости 11 и 16, а также на продувку коронки при любом положении поршня в цилиндре через каналы поршня (сечение В—В) и буксы (сечение Б—Б).

Пневмоударник П-125К (см. рис. 3.11) состоит из цилиндра 8, поршня-ударника 10, распределительной трубки 13, буксы 2, переходника 18, кольца 3, съемной проволоки 6, коронки 1 и шарика 5.

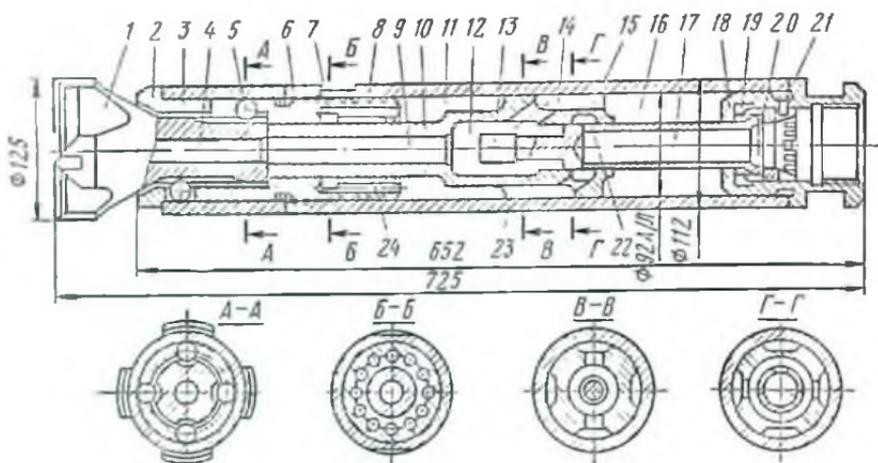


Рис. 3.11. Погружной пневмоударник П-125К

Воздухораспределение происходит при взаимодействии распределительной трубки 13 и поршня-ударника 10, имеющего внутреннюю полость 12, наружные каналы 14, 23, а также буксы 2. Сжатый воздух по буровому ставу штанг и переходник 18 поступает в распределительную трубку 13, затем через боковой канал 22 — в кольцевую внутреннюю полость 15 поршня-ударника; далее через наружный канал 23 в нижнюю рабочую камеру 11 (камеру обратного хода), которая в этот момент имеет замкнутый объем. Поршень-ударник под давлением сжатого воздуха начинает движение вверх (на рис. 3.11 вправо). В этот момент верхняя рабочая камера 16 через наружный канал 14, полость 12 и канал 9 поршня-ударника и канал 4 бурового долота сообщены с атмосферным давлением. При движении вверх канал 22 распределительной трубки 13 перекрывается поршнем-ударником. Поступление сжатого воздуха в нижнюю камеру 11 прекращается. Далее поршень ударника движется за счет расширения сжатого воздуха. При дальнейшем движении цилиндрический конец поршня-ударника открывает кольцевую проточку 7 буксы 2.

Отработанный сжатый воздух из камеры 11 через канал 24, кольцевую проточку 7 и центральный канал 4 долота 1 выбрасывается на забой скважин. Одновременно с этим канал 22 распределительной трубки 13 сообщается с внутренней камерой 12 поршня-ударника, а цилиндрический конец распределительной трубки входит в центральный канал 9 поршня-ударника. Происходит отсечка верхней рабочей камеры 16 от атмосферы, а сжатый воздух из распределительной трубки через канал 22, внутреннюю полость 12 и наружный канал 14 поршня-

ударника поступает в верхнюю рабочую камеру 16. Под воздействием инерционной силы поршень продолжает движение вверх, затем тормозится и начинает движение вниз (на рис. 3.11 влево). При движении вниз цилиндрический конец распределительной трубки выходит из центрального канала 9, размыкая внутреннюю камеру 12 поршня-ударника. Отработанный воздух из верхней рабочей камеры 16 через канал 14, полость 12, центральный канал поршня-ударника и канал 4 долота 1 выбрасывается на забой скважины, обеспечивая удаление буровой мелочи, при этом поршень-ударник наносит удар по хвостовику долота. Одновременно с этим ударный конец поршня-ударника перекрывает цилиндрическую проточку 7 буксы 2, замыкая камеру 11 обратного хода. Сжатый воздух из распределительной трубки 13 через канал 22, внутреннюю проточку 15, наружный канал 23 поршня-ударника поступает в нижнюю камеру 11. В дальнейшем цикл повторяется. На рис. 3.11 показаны: 19 — круговая чека; 20 — кольцо; 21 — выхлопные отверстия.

Для эффективного удаления буровой мелочи при бурении по разрушенным и трещиноватым породам в конце распределительной трубки просверливается калиброванное отверстие, через которое сжатый воздух из распределительной трубки через канал 9 поршня-ударника и центральный канал бурового долота поступает на забой скважины, обеспечивая интенсивное удаление буровой мелочи и компенсируя утечки воздуха по трещинам породы на забое. Недостаток дополнительной продувки — некоторое снижение мощности пневмоударника из-за снижения давления сжатого воздуха в распределительной трубке.

Отличительная конструктивная особенность пневмоударника: быстроразъемное соединение долота с буксой пневмоударника. Это соединение выполнено открытыми и глухими канавками на хвостовике долота, которые соединяются между собой поперечными каналами. В буксе 2 пневмоударника имеются шарики 5. Открытые пазы хвостовика долота вставляются в буксу. В промежуточном положении долото поворачивают и шарики попадают в глухие пазы через поперечные соединительные каналы, в результате долото заводится в буксе.

Разъединение долота с буксой происходит в обратном порядке. Крутящий момент долоту передается через шарики, которые обеспечивают его свободное перемещение при внедрении в породу в продольном направлении. Минимальное трение при этом способствует повышению производительности пневмоударника на 20—30% по сравнению с пневмоударниками, имеющими шпоночное либо шлицевое соединение.

Стойкость пневмоударников П-105К, П-125К и П-160 колеблется от 3000 м в породах с коэффициентом крепости $f=6 \div 8$ до 300 м в породах с $f=16 \div 18$.

3.4. СТАНКИ ОГНЕВОГО БУРЕНИЯ

Огневое бурение скважин производится главным образом в кремнистых породах с коэффициентом крепости $f \geq 14 \div 20$. Породы разрушаются за счет термических напряжений, возникающих вследствие неравномерного нагревания отдельных слоев и за счет изменения структуры кварца под воздействием горячих газов, образующихся в результате сгорания жидкого топлива и истекающих из сопла с большой скоростью.

Для бурения в горелку реактивного типа подают смесь горючего с окислителем. Горелка охлаждается водой, которая от высоких температур переходит в пар, выносящий на поверхность продукты разрушения породы.

Основные узлы станков огневого бурения: *рабочий орган*, состоящий из горелки, буровой штанги, механизма вращения, подводящего устройства и подвески; *мачта* станка (сварная конструкция); *лебедка* для подъема и опускания рабочего органа; *гидроцилиндры* для подъема, опускания и центровки мачты; *отсасывающая установка* для отвода продуктов разрушения от устья скважины; *механизм прощупывания забоя*, позволяющий автоматически поддерживать заданное расстояние от среза сопла до забоя; *кузов* (машинное помещение) станка; *ходовая часть*; *система питания станка* рабочими компонентами (горючими, окислителем, водой); *система электропитания*.

Расход воды для охлаждения камеры сгорания составляет 1—4 м³/ч. Вода, топливо и кислород или сжатый воздух поступают в камеру сгорания через стальную трубу, длина которой зависит от глубины скважины. Внутри трубы проложены отдельные трубки для подачи топлива и окислителя; вода поступает через оставшееся свободное пространство трубы.

Типы станков огневого бурения: *кислородный* — СБО-1Б, в кислородном и воздушном исполнении — СБО-160/20; воздушные СБТМ-20 и СБО-5. Станок СБО-5 смонтирован на базе автомобиля КраЗ, а остальные — на гусеничном ходу. В настоящее время чисто огневые станки для бурения не применяются из-за низких скоростей и высокой стоимости бурения.

Комбинированная технология (бурение скважин шарошечным инструментом, а расширение — термическим способом) предназначена для обуривания пород средней термобуримости и труднотермобуримых. Применение ее позволяет уменьшить объем механического бурения на 25—50%, увеличить выход горной массы с 1 м скважины на 30—60% и значительно раздвинуть область применения термического способа расширения заряжаемой части скважин в крепких горных породах. Для этих целей использовали станок СБТМ-20, а в настоящее время — СБШ-250МНР. На Лебедин-

ском ГОКе создан опытный станок «Лебединец» для огневого расширения скважин до диаметра 600 мм, а в ПО «Рудгор-маш» — опытный станок СБТ-400 для огневого расширения скважин до диаметра 400 мм.

Техническая характеристика станка СБШ-250МНР

Диаметр шарошечного долота, мм	244,5
Глубина бурения, м	32
Диаметр скважины с расширением, мм	400
Глубина скважины с расширением, м	20
Угол наклона скважины к вертикали, градус	0
Осевое усилие на забой, кН	294
Ход непрерывной подачи, м	8
Скорость подачи при бурении, м/мин	1
Верхний предел частоты вращения долота, с ⁻¹	2,5
Скорость подачи термического става (рабочая и маневровая), м/мин	0,2; 10
Частота вращения термического става, с ⁻¹	0,33
Расход горючего, л/ч	120
Подача компрессора, м ³ /мин	25
Давление сжатого воздуха, МПа	0,68
Скорость передвижения станка, км/ч	0,7
Энергоноситель при расширении	Керосин — зимой, дизельное топливо — летом
Установленная мощность, кВт	423
Одновременная максимальная мощность, кВт	327
Давление гусениц на грунт, МПа	0,136
Масса станка, т	76

3.5. ТЕХНИКА БУРЕНИЯ НА ЗАРУБЕЖНЫХ КАРЬЕРАХ

В зарубежной практике диаметр скважин выбирается в соответствии с мощностью экскаватора и с учетом физико-механических и структурных свойств массива, исходя из необходимости обеспечения качественного дробления пород взрывом. В частности, по данным Б. Кохановского, при использовании экскаваторов с ковшом вместимостью 15 м³ целесообразный диаметр скважины не должен превышать 175 мм.

Основные параметры ряда характерных моделей буровых станков вращательного действия, среднего и тяжелого типов, выпускаемых в США и Швеции, приведены в табл. 3.2.

Зарубежные буровые станки рассчитаны, как правило, на изменение диаметра долота в широком диапазоне. Например, станки 55R фирмы «Бюсайрус-Ири» позволяют изменять диаметр долота от 171 до 311 мм, т. е. чуть ли не в 2 раза.

В качестве привода вращателя долота на средних и тяжелых станках применяют гидро- и электродвигатели. Большинство

Техническая характеристика буровых станков зарубежных фирм

Фирма-изготовитель	Модель	Диаметр долота, мм	Высота мачты, м	Длина (ч) (число буровых штанг)	Частота вращения долота, мин ⁻¹	Крутящий момент, кН·м	Усилие подачи, кН	Подача компрессора, м ³ /мин	Тип привода	Скорость передвижения, км/ч	Масса бурового станка, т	Тип хода
«Америкэн Дэвей», США	M5C	76—165	10,85	10,6	30—240	4,13	77	7,01	Дизель	5,6	18,2	Гусеничный
	M8A	121—183	14,6	10,0	40—250	13,8	136	14,02	»	Н. св.	22,7	Колесный »
	M10B	До 254	11,3	7,6(6)	0—220	6,6	182	21,03	»	Н. св.	27,2	
«Атлас Копко», Швеция	1302	159—200	9,5	6,1(4)	7—80	12,8	132	21,0	Дизель	Н. св.	21,4	Колесный Гусеничный
	1702	143—200	12,9	7,6(2)	7—80	12,8	173	21,0	»	1,45	28,7	
	1802	104—216	12,8	7,6(6)	10—80	12,8	178	33,2	»	Н. св.	28,2	Колесный Гусеничный »
	2202	159—250	12,1	7,6(5)	7—96	12,8	223	33,2	»	1,29	40,5	
	130 320	127—174 200—271	13,8 16,7	7,6(4) 11,6(4)	0—79 0—130	7,6 12,2	118 290	21,0 33,8	» »	5,0 2,26	25,6 57,5	
«Бюсайрус-Ири», США	40R	171—229	14,4	>12,2(4)	0—82	2,9	226	22,0	Электрический	1,45	43,5	Гусеничный »
	45R	171—279	20,2	>16,8(3)	0—84	4,7	318	27,7	»	1,21	69	
	47R	171—311	21,1	>18,3(3)	0—120	17,3	409	39,5; 62	»	1,6	88	»
	55R	229—311	24,4	>18,3(2)	0—95	20,7	453	37	»	1,21	93	»
	60R	229—381	23,0	>19,8(3)	0—120	15,5	570	37×2	»	1,13	119	»
	61R	311—445	23,0	>19,8(3)	0—120	31,8	590	37	»	1,13	125	»
	2450R	152—254	11,6	7,6(7)	0—128	Н. св.	159	22,8	Дизель	Н. св.	Н. св.	Колесный

«СМИ»	OK11	<270	16,6	<12,2(4)	15—140	16,6	318	35,2	Дизель	2,0	81,5	Гусенич- ный
«Чикаго Пнев- матик», США	C450	89—159	12,4	10,2(2)	0—235	2,55	81,5	11,3	Дизель	3,7	15,4	Гусенич- ный
	T600B	<184	10,7	6,9(5)	0—146	3,26	95	16,3	»	Н. св.	18,1	Колесный
	C700	<229	11,5	7,65(5)	0—146	8,6	190	23,4	»	3,22	31,7	Гусенич- ный
	T700B C750C	<229 232—311	10,9 13,5	7,65(5) 9,15(3)	0—180 0—100	9,3 12,0	182 272	23,4 25,0	» »	Н. св. 1,21	28,1 56,0	Колесный Гусенич- ный
	T750C	229—311	13,9	9,15(3)	0—100	12,0	272	25,0	»	Н. св.	45,3	Колесный
«Дриллтех», США	D25K	121—152	11,1	7,65(3)	0—160	3,54	114	14,02	Дизель	2,9	21,7	Гусенич- ный
	D25K	121—152	11,1	7,65(3)	0—106	5,9	114	21,03	»	2,9	26,3	»
	D40K	152—203	11,6	7,65(7)	0—106	6,9	182	21,03	»	2,9	34,0	»
	D40K	127—203	11,6	7,65(7)	0—106	6,9	182	21,03	»	2,9	35,0	»
	D40K	152—203	10,8	7,65(7)	0—106	6,9	182	21,03	»	Н. д.	23,6	Колесный
	D40K	127—203	10,8	7,65(7)	0—106	6,9	182	21,03	»	Н. д.	25,0	»
	D50K	152—229	11,6	7,65(7)	0—106	6,9	227	25,5	»	2,9	25,3	Гусенич- ный
	D60K D80K	250—270 229—311	13,0 14,0	9,15(5) 9,15(4)	0—106 0—103	9,0 17,1	272 363	33,8 21,03	» »	2,9 Н. д.	41,0 54,5	» Колесный
«Ингерсолл- Рэнд», США	DM25TH	102—172	10,6	7,6(5)	0—200	6,9	113	12,7/ /16,9/ /21,2	Дизель/ /электри- ческий	4,8	22,7	Гусенич- ный
	DM25SP/SPH	102—172	22	15,2(0)	0—170	4,8	113	12,7/ /16,9/ /21,2	»	4,8	22,7	»

Фирма-изготовитель	Модель	Диаметр до- лото, мм	Высота мачты, м	Длина (м) (вместо буров- ых штанг)	Частота вра- щения до- лото, мин/л	Крутящий момент кН·м	Усилие по- дачи, кН	Подъём кли- пессыра м/мин	Тип привода	Скорость пе- редачи, к/л	Масса бу- рового стан- ка, т	Тип кода
	DM35SP/SPH	102—192	25,6	19,8(0)	0—150	4,8	159	16,9	Дизель	4,0	28,1	Гусенич- ный
	DM40SP	192—246	27	19,8(0)	0—150	10,4	190	33,8	»	4,0	41,0	»
	DM45	127—203	10,7	7,6(5)	0—200	8,6	204	21,2/ /25,3	Дизель/ электри- ческий	3,38	30,8	»
	T4	127—203	11,0	7,6(5)	0—200	8,6	168	21,2/ /25,3	Дизель	3,61	25	Колесный
	DM50	178—246	11,0	7,6(3)	0—162	10,4	227	25,3/ /33,8	Дизель/ электри- ческий	3,38	3,47	Гусенич- ный
	DMH	246—316	21,7	13,7/16,7/ /19,8(4)	0—150	13,8	410	39,5/ /50,5	»	1,6	85	»
«Марлон Пауэ Шовел», США	M2	229—316	23,1	15,2(3)	0—110	8,4	363	28,2	Электри- ческий или дизель/ электри- ческий	1,37	75	Гусенич- ный
	M3	229—316	23,1	15,2(3)	0—110	16,8	410	28,2	»	1,37	77	»
	M4	229—381	25,5	16,7(3)	0—110	13,1	477	37	»	1,6	91	»
	M5	316—444	25,5	16,7(3)	0—110	24,9	545	37	»	1,6	103	»
		SK25	138—171	11,2	9,15(3)	0—220	2,76	113	14,8	Дизель	4,0	19
	SK25HP	138—171	11,2	9,15(3)	0—220	2,76	113	21,2	»	4,0	19	»
	SK35	158—196	11,2	7,6(6)	0—175	5,95	159	21,2	»	Н. д.	27,2	Колесный
	SK35HP	158—196	11,2	7,6(6)	0—135	5,95	159	21,2	»	Н. д.	27,2	»
	SK40	171—229	11,2	7,6(6)	0—135	5,95	181	21,2	»	3,61	25	Гусенич- ный
	SK6011	192—280	14,5	10,6(3)	0—150	9,9	318	34	»	3,61	60	»

«Роббинс», США	RRT-35	158—196	10,9	7,6(5)	0—150	6,9	159	22,6	Дизель	Н. д.	28,3	Колесный
	RRT-45	158—229	11,3	7,6(5)	0—150	6,15	204	22,6				
	RRT-50	158—229	10,2	6,1(5)	0—145	9,3	227	22,6	»	Н. д.	39,5	Колесный
	RRT-60	172—246	11,8	7,6(5)	0—145	9,3	272	28,2				
	RRT-70	229—270	14,6	9,15(5)	0—145	1230	219	30,2	»	»	51	»
	RR-105	172—229	6,1	до 7,6(5)	0—145	9,3	295	22,5				
	RR-10HD	172—270	11,5	7,6(5)	0—145	9,3	319	28,2	»	5,61	62	»
	RR-10XHD	270—311	16,2	8,75(5)	0—150	12,4		43,2				
	RR-11E	229—270	13,7	9,15(5)	32—250	7,85	363	33,0	Электри- ческий	1,77	84	»
	RR-12E	229—311	16,4	9,75(5)	0—120	33,1	477	43,2				
RR-15E	270—381	18,3	9,75(5)	0—120	33,1	545	66,5	»	1,77	128	»	
«Шрамм», США	T-660	<188	10,7	6,7(7)	0—130	8,5	136	18,9/ 21,2	Дизель	Н. д.	20	Колесный
	T-685	<200	12,1	7,6(4)	0—170	10,3	159	24				
	C-685	<200	11,9	7,6(4)	0—130	10,4	181	24,0	»	3,9	33,5	Гусенич- ный
	C-685H	<229	11,9	7,6(4)	0—130	10,4	181	28,2				
	C-912	<270	16,9	11,6(4)	0—130	10,4	319	33,8	»	2,25	58	»
«Гарднер- Денвер», США	RDC16BCP	76—130	13,7	11,6(1)	0—250	2,28	72,5	7,01	Дизель	4,0	14	Гусенич- ный
	RDC168PR	102—130	11,0	6,7(5)	0—148	3,86	81,5	7,01				
	GD25/35CSR	152—222	14,2	9,6(1)	0—162	5,5	158	18,3	»	3,06	25,0	»
	GD25/35CPR	152—222	14,2	9,6(2)	0—162	5,5	158	18,3				
	GD25/35CRR	152—222	12,7	7,6(6)	0—162	5,5	158	18,3	»	3,06	26,0	»
	GD45C(900)	171—203	12,7	7,6(6)	0—128	6,9	204	25,3				
	GD45C(1160)	178—270	12,7	7,6(6)	0—128	6,9	204	32,4	»	3,06	32,5	»
	GD70 (элект)	<311	17,8	16,7(7)	0—120	17,2	317	35,0				
	GD70 (гид- рзвл)	<311	17,8	16,7(7)	0—105	13,4	317	35,0	Дизель	1,21	90,5	»
	GD-100	<445	23,8	19,8(4)	0—120	17,5	566	41,8				
GD-120	<559	23,8	19,8(4)	0—120	34,5	680	41,8	»	1,21	136	»	

моделей станков выпускаются с верхним расположением вращателя, что позволяет более полно использовать высоту мачты для увеличения хода подачи бурового става и создания дополнительного усилия на забой.

В последние годы в связи с появлением новых типов шарошечных долот, вооружение которых представлено твердосплавными вставками с большим вылетом над телом шарошки и заостренной формой вершин, наблюдается тенденция к уменьшению осевых усилий при сохранении величин удельных нагрузок зубьев шарошечных долот на забой. Рекомендуемая частота вращения долот находится в пределах 40—110 мин⁻¹.

На зарубежных карьерах, так же как и в нашей стране, основной объем буровых работ (примерно 85%) выполняется шарошечным способом, остальной (примерно 15%) — преимущественно пневмударным способом.

Выпускаемые в различных странах буровые станки для карьеров можно разделить на три группы: легкие (18—30 т), средние (30—50 т) и тяжелые (более 50 т), предназначенные для бурения скважин диаметром соответственно 130—229, 229—300 и 300—381 мм и более.

Ведущими машиностроительными фирмами являются «Ингерсолл-Рэнд», «Гарднер-Денвер», «Марион», «Бюсайрус-Ири» (США), «Атлас Копко» (Швеция) и ряд других. Фирмы выпускают по три — пять базовых моделей станков на диаметр скважины от 150 до 320 мм. Появились станки с долотом диаметром до 450 мм для работы на крупных карьерах с мощной экскаваторной и транспортной техникой.

Характерной особенностью зарубежной практики шарошечного бурения является тенденция к увеличению диаметра взрывных скважин, позволяющая использовать технологические преимущества скважин больших диаметров в системе «экскаватор — буровой станок» и обеспечивать более высокие скорости бурения и стойкость шарошечных долот.

Указанная тенденция вызвана увеличением мощности экскаваторного оборудования на зарубежных карьерах, прежде всего в США, где за последнее время, например, вместимость ковша вскрышных механических лопат возросла в четыре раза. Причем в недалеком будущем максимальная вместимость ковша вскрышных мехлопат и драглайнов может достигнуть соответственно 170—230 и 168—191 м³.

Из других тенденций развития зарубежных шарошечных станков следует отметить увеличение подводимого к станку напряжения до 6000 В с установкой на станке электротрансформатора, применение преимущественно сухих пылеулавливающих установок, стремление к использованию тиристорных электроприводов, которые обладают статическим характером преобразователя при отсутствии вращающихся час-

тей и быстродействием, что важно для своевременного снижения нежелательных динамических нагрузок.

Непрерывная подача бурового долота на забой осуществляется преимущественно канатно-реечным или цепно-реечным напорными механизмами с гидравлическим приводом. В некоторых станках осевое усилие на долото создается гидравлическими цилиндрами при помощи цепной полиспастной системы или роликовой цепи с гидравлическим приводом. Такие механизмы обеспечивают непрерывную подачу бурового става на длину от 6,5 до 23 м.

Пылеулавливание предусмотрено сухое или мокрое. Кабины операторов оборудованы кондиционерами.

Конструктивные особенности буровых станков различных фирм. Станки фирмы «Бюсайрус-Ири» обладают дистанционным контролем за перемещением штанг, герметичной защитой электрооборудования от пыли, модульной конструкцией главных узлов, звуконепроницаемой кабиной и съемными люками в крыше машинного помещения. Станки фирмы «Гарднер-Денвер» выпускаются с верхним расположением вращателя, они предназначены также для бурения наклонных скважин. Компрессоры имеют масляное охлаждение. Буровые мачты на станках фирмы «Марин» изготовлены из H-образных стальных балок для обеспечения устойчивости при больших динамических нагрузках в процессе бурения.

Сменная производительность станков шарошечного бурения составляет 65—280 м в зависимости от крепости пород (табл. 3.3).

Кратко о зарубежных станках, применяемых на отечественных карьерах.

Станками шарошечного бурения М4 фирмы «Марин» (см. табл. 3.2) на Нерюнгринском угольном разрезе бурят скважины диаметром 311—320 мм. Буровой став состоит из штанг длиной 17 м. Три дополнительные штанги, размещенные в мачте, позволяют бурить скважины глубиной до 67 м. Осевое усилие через траверсу редуктора вращателя, перемещающегося по направляющим мачтам, передается от гидромоторов подачи бурового става посредством системы втулочно-роликовых цепей. Привод вращателя — от одного или двух двигателей постоянного тока мощностью 48 кВт каждый; привод гусениц — индивидуальный гидрообъемный с цепной передачей момента от редуктора хода на каждую ведущую звездочку. Мачта высотой около 20 м установлена на шарнирах рамы и наклоняется с помощью двух гидроцилиндров.

Станки модели 60/61R фирмы «Бюсайрус-Ири» (см. табл. 3.2) обеспечивают бурение вертикальных и наклонных до 30° скважин шарошечными долотами диаметром до 381 мм на глубину до 20 м без наращивания. На угольных разрезах Куз-

Таблица 3.3

Производительность буровых станков на некоторых зарубежных карьерах

Карьер	Модель бурового станка	Диаметр долота, мм	Буримые породы	Стоимость долота, м	Сменная производительность, м
США					
Моренси	61R	311	Монционит-порфиры	2400	90—100
Пинто Велли	M4	311	Гранит-порфиры	1800	98—105
Беркли	45R	251	Диабазы	2700	125
Тайрон	60R	318	Диабазы	1400	200
Рей	45R	251	Диабазы	2800	110—140
Снеррита	60R	311	Диориты	1800	100
Канада					
Бренда	60R	311	Диориты	1800	125
Лорнекс	45R	251	Гранодиориты	2300	140—160
Гренэйл	40R	230	Гранодиориты	1100	65—80
Гибралтар	61R	381	Кварцевые диориты	1300	120
Эндако	40R	229	Порфиры	1900	135
Айленд Коппер	60R	305	Андезиты	1700	120
Бетлехем	45R	247	Порфиры	1800	210
Хьюстис	60	200	Диорит-порфиры	2200	180—200
Чили					
Экзотика	61R	381	Диорит-порфиры	1600	140
Чукикамата	61R	281	Монционит-порфиры	1800	160
Мексика					
Ла Каридад	60R	311	Монционит-порфиры	2600	110
Кананса	55R	311	Монционит-порфиры	3500	130
ЮАР					
Палабора	60R	251	Карбонатиты	1300	105
Швеция					
Антик	45R	251	Кварцевые диориты	1400	70
Перу					
Токепала	60R	311	Кварцевые диориты	1000	96
Соломоновы острова					
Бугенвиль	45R	251	Диорит-порфиры	2100	280

басса и южной Якутии эксплуатируются несколько станков типа М4 и 60/61R.

Шарошечные станки 60R и 61R фирмы «Бюсайрус-Ири» имеют вращательно-подающий механизм шпиндельного типа с реечно-цепной подачей (рис. 3.12). Вращатель 4 с приводом от од-

ного или двух электродвигателей постоянного тока размещается на подвижной каретке. Подача осуществляется с помощью замкнутой роликовой цепи 3, перемещаемой звездочкой 2, связанной через редуктор 1 с гидродвигателем М2. Две звездочки 9 установлены для увеличения угла обхвата и снижения усилий на зубья подвижной звездочки 6, расположенной на валу 8. Две шестерни 5, размещенные на концах вала 8, перекатываются по неподвижным рейкам 7, укрепленным по всей длине мачты. Большое усилие в реечном зацеплении при сравнительно небольшом усилии в цепях достигается благодаря малому диаметру шестерен 5 и большому диаметру подвижных звездочек 6. Для ускоренного подъема и опускания подвижной каретки установлен электродвигатель постоянного тока М1, с помощью которого создается весьма высокая скорость холостого хода — 27,5 м/мин, что сокращает время вспомогательных операций. Переключение с электродвигателя на гидродвигатель М2 заблокировано.

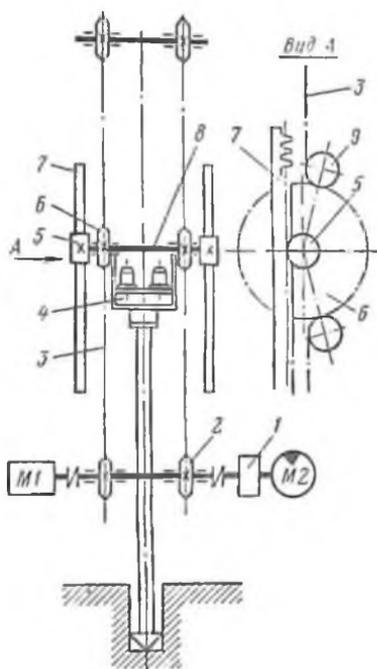


Рис. 3.12. Кинематическая схема вращательно-подающего механизма шпиндельного типа с реечно-цепной подачей шарошечных станков 60R и 61R фирмы «Бюсайрус-Ирт» (США)

Мощный станок шарошечного бурения модели ГД120 фирмы «Гарднер-Денвер» (США) имеет массу 136 т и предназначен для бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром до 560 мм на глубину до 78 м ($4 \times 19,5$ м). Высота станка с поднятой мачтой 24 м, частота вращения бурового става 0—2 с⁻¹, крутящий момент на вращателе до 3,3 кН·м, усилие подачи до 0,68 МН, подача компрессоров 0,7 м³/с при давлении сжатого воздуха 0,38 МПа. Скорость передвижения машины до 1,2 км/ч.

В зарубежной практике шарошечного бурения применяется широкий ассортимент долот, а также наддолотных и надштаптовых стабилизаторов. Фирмы США (Хьюз Тул К°, Смит, Рид, «Варел», «Секьюрити») выпускают шарошечные долота для бурения скважин более 24 типоразмеров диаметром от 130,2 до 444,5 мм. Хорошее качество долот обеспечивает высокую их

стойкость и большие скорости бурения в породах с широким диапазоном физико-механических свойств. В настоящее время для бурения в слабых и средней крепости породах стремятся заменить долота с фрезерованными зубьями на долота с твердосплавными вставками. В этих условиях применяют долота с большим вылетом зубков шарошки и заостренные формы их вершин. Шарошки делают с глубокими канавками между зубьями по венцам и с проточками между венцами. Для крепких горных пород используются усиленные комбинированные опоры с подшипниками качения и скольжения.

Стойкость шарошечных долот в зависимости от диаметра и свойств буримых пород составляет в среднем 1500—2600 м. Стоимость трехшарошечных долот колеблется от 2 до 5 тыс. долл., а максимальный срок их службы — от 6 до 9 тыс. м скважин.

Необходимо заметить, что в зарубежной практике бурения на открытых работах (за исключением центральноевропейских стран) сравнительно мало используются режущие долота. В мягких породах предпочитают применять шарошечные инструменты соответствующего типа.

Для карьеров малой и средней мощности (преимущественно рудных и строительных материалов), строительных объектов и горных работ на труднодоступных участках зарубежными фирмами выпускается большое количество разнообразных моделей узкоспециализированных буровых установок вращательно-ударного действия с верхним расположением пневмо- и гидроударного механизма и вращателя.

Пневмоударные станки применяют в основном для разбуривания рудных уступов, оформления бортов карьеров, при селективной выемке руд, а также при использовании экскаваторов небольшой мощности или ковшовых погрузчиков на пневмоколесном ходу. Станки характеризуются небольшой массой, высокой маневренностью, надежностью в эксплуатации и позволяют вести бурение в различных направлениях в естественных условиях.

Сменная производительность пневмоударных станков при бурении скважин диаметром 152—172 мм в крепких свинцово-цинковых и молибденовых рудах составляет 18—47 м, а в менее крепких рудах 50—100 м. Стойкость коронок с твердосплавными штыревыми вставками достигает 2700 м (с пластинчатыми вставками — 1200 м). Станки фирмы «Ингерсолл-Рэнд» типа Кворримастер и Дриллмастер являются наиболее распространенными. Станок Кворримастер ДМ5 имеет гусеничный или пневмоколесный ход, снабжен мощным погружением пневмоударником и двумя компрессорами производительностью 13,5 м³/мин каждый, которые обеспечивают подачу сжа-

Таблица 3.4

Техническая характеристика погружных пневмоударников фирмы «Ингерсолл-Рэнд»

Параметры	H21	H155	H16A	H360	H280
Диаметр долота, мм	105—114	127—140	152—165	152—165	200—250
Расход воздуха (при давлении 0,7 МПа), м ³ /мин	5,5	6,8	8,5	6,7	12
Скорость бурения (с диаметром наименьшего диаметра по гранитам с пределом прочности при сжатии 190 МПа), м/ч	9,8	7,3	8,5	10,7	11,5
Коэффициент повышения скорости при увеличении давления сжатого воздуха, МПа:					
до 1,76	3	3	—	3	3
до 2,46	—	—	—	4,5	—
Масса, кг	34	59	86	106	811

Таблица 3.5

Техническая характеристика бесклапанных пневматических перфораторов фирмы «Ингерсолл-Рэнд»

Параметры	E410	1410	1510	1600
Расход воздуха, м ³ /мин	9	9	10,6	11,6
Масса, кг	93	90	95	140
Буровой инструмент	Штанги цельные, шестигранные диаметром 25 и 28 мм	Штанги составные диаметром 25 и 28 мм		
Диаметр шпуров или скважин, мм	35—51	48—102	48—102	48—102

того воздуха под давлением 0,7—1 МПа. Пневмоударник с поршнем диаметром 200 мм производит около 200 ударов в минуту и может бурить вертикальные скважины диаметром до 255 мм на глубину 30 м. Пневмоударник снабжен крестообразной коронкой, армированной твердым сплавом. Технические характеристики погружных пневмоударников и гидроперфораторов разнообразны (табл. 3.4—3.6).

Фирма «Атлас Копко» выпускает более 16 моделей пневматических станков перфораторного типа для бурения шпуров и скважин диаметром от 35 до 127 мм. Достоинства их: высокая надежность, простота конструкции и обслуживания, малая масса и мобильность.

Таблица 3.6
Техническая характеристика гидравлических перфораторов

Фирма (страна)	Перфоратор	Частота удара, мин ⁻¹	Энергия удара, Дж	Максимальная частота вращения, мин ⁻¹	Максимальный крутящий момент, Н·м	Условие подачи, Н	Масса, кг	Основные размеры, мм	
								длина	ширина
«Атлас Копк» (Швеция)	SOP1038	3600	350	300	140	6000	142	985	225
	SOP1032	2500	350	300	140	6000	100	808	225
	SOP1022	3100	—	—	—	—	40	620	140
«Линден-Али-мак» (Швейцария)	AD101	3400	195	230	210	8000—11 000	115	869	224
	AD102	3240	325	230	260	8000—12 000	132	1106	224
«Тамрок» (Финляндия)	HE425	3100	180	300	200	1630	110	855	205
	HE438T	3200	260	300	245	1630	112	820	205
«Гарднер-Девенер» (США)	HPPI	2500—4000	170—271	200	339	8900—13 300	147	1110	284
«Ингерсолл-Рэнд» (США)	Хард 1	9600	—	200	—	13 150	—	800	—
	Хард 2	9300	—	225	—	9070	—	984	—
	Хард 3	9300	87	—	—	—	215	984	280
«Секома» (Франция)	H200	2000—4000	100—200	250	—	—	90	600	—
	H1400	1800—3300	900—350	300	—	—	180	822	—
«Зальгиттер» (ФРГ)	HN501	5000	150	160	240	—	100	775	275
«Крупп» (ФРГ)	HB100B	1630—1800	—	320	290	9980	113	1130	—
	HB1005	1800	—	150	692	9980	140	1215	—
	HB100-0	1800	—	40	2350	9980	140	1215	—
	HB50	2300—2800	—	250	166	4000	82	660	—
«Торк Теншин» (Великобритания)	PD2000	—	—	—	—	2450—2950	70	870	—
	PD3000	—	—	—	—	3600—4450	119	760	—

В начале 80-х годов за рубежом начали появляться установки вращательно-ударного действия с гидравлическими вращательно-ударными машинами. В 1977 г. фирмой «Атлас Копко» изготовлена буровая установка РОС810Н для скважин диаметром от 89 до 115 мм с верхним расположением гидравлического ударно-вращательного механизма с энергией удара 150 Дж. Он имеет дискретное регулирование энергии удара при бурении в твердых или мягких породах. Гидравлические бурильные установки фирмы, применяемые на карьерах, работают при давлении в гидросистеме от 1,8 до 22 МПа, тогда как в обычных пневматических установках используется сжатый воздух с давлением 0,6—0,7 МПа.

Преимущества гидравлических вращательно-ударных машин: высокая производительность, меньшая эксплуатационная стоимость и улучшение условий труда. Параметры и рабочие характеристики гидравлических машин могут регулироваться в большей степени, чем у пневматических.

Фирма «Атлас Копко» выпускает буровые станки РОС304, РОС604, РОС606 с пневмоударниками СОР42 и СОР62 для скважин диаметром 105—165 мм. Эта фирма выпускает и более мощные пневмоударники диаметром до 305 мм для специальных целей. Буровые установки стремятся оснащать компрессорами высокого давления до 1,8 МПа. Указывается, что увеличение давления сжатого воздуха с 0,6 до 1,05 МПа приводит к росту сменной производительности бурения на 70% при одновременном снижении удельных затрат. В настоящее время рациональным считается давление сжатого воздуха 1,4—1,7 МПа.

Станки пневмоударного бурения на карьерах используются в основном для проходки скважин диаметром от 89 до 165 мм, иногда — до 216 мм. Станки этого типа по сравнению с шарошечными более легкие и недорогие, так как не требуют больших усилий подачи и крутящего момента на долото.

Фирма «Тамрок» выпустила новый тип бурового станка «Герберт» на гусеничном ходу с гидравлическим ударным механизмом, предназначенным для бурения наклонных и вертикальных скважин диаметром 178—209 мм, глубиной до 30 м. Скорость бурения этим станком в 1,5—3 раза выше, чем шарошечным.

Область рационального применения ударно-вращательного и вращательно-ударного способов окончательно не установлена. Считается, что метод бурения погружными пневмоударниками наиболее конкурентноспособен для бурения скважин диаметром 100—180 мм в породах от средней до очень высокой крепости, но может использоваться и в мягких породах.

По зарубежным данным разница в скорости бурения погружными пневмударниками между очень твердыми и мягкими породами изменяется в узком диапазоне от 3 до 10 мм/с, что указывает на целесообразность создания режуще-ударного инструмента.

В мировой практике бурения на открытых работах наблюдается тенденция к созданию комбинированных буровых станков по виду бурового инструмента для облегчения их унификации и расширения области применения. Эта тенденция наиболее ярко проявляется, например, в буровых станках американской фирмы «Ингерсолл-Рэнд», шведской «Атлас Копко» и западногерманской «Хаусхерр»

Станки фирмы «Хаусхерр» НВМ185 и НВМ230 при диаметре скважин от 150 до 250 мм выпускаются с расчетом возможности бурения пневмударным инструментом (ПУ), шарошечными (ШД) и режущими (РД) долотами (табл. 3.7). Фирма стремится конструировать станки с возможностью обслуживания одним человеком. Повышение производительности достигается за счет сокращения времени на вспомогательные операции и применения более длинных штанг. В конструкциях станков широко используется гидропривод с плавным регулированием частоты вращения долота и скорости его подачи. По желанию заказчика на буровых станках устанавливается автоматизированное программное управление буровым процессом, включая наращивание и извлечение штанг.

Фирма «Атлас Копко» выпускает для открытых разработок гидрофицированные буровые станки Ротамек среднего типа, рассчитанные на бурение шарошечными долотами и погружными пневмударниками и установленные на пневмокошечном шасси или на гусеничном ходу. Рекомендуемые фирмой диаметры скважин изменяются от 200—250 мм для слабых до 157—216 мм для крепких пород.

Конструкция Ротамек во многом типична для современных зарубежных буровых станков этого класса. Наиболее крупный из них Ротамек 2202, рассчитанный на бурение скважин диаметром 200—250 мм, имеет гидравлический привод всех механизмов, в том числе вращателя, гусеничных тележек, механизма подачи, лебедки подъема штанг и инструмента и т. д. Мощность дизельного двигателя 424 кВт. Вращатель со сдвоенными гидромоторами развивает крутящий момент 8960 Н·м, что позволяет создавать максимальное усилие подачи до 220 кН. Частота вращения долота регулируется от 12 до 130 мин⁻¹. Мачта может быть наклонена до 30°. Станок может бурить пневмударниками фирмы «Атлас Копко» или шарошечными долотами фирмы «Сандвик Коромант» (Швеция), которая выпускает их диаметром 251, 311 и 381 мм с твердосплавными вставками трех типов: С — для мягких и средней крепости пород; СМ —

Таблица 3.7

Техническая характеристика буровых станков фирмы «Хаусерр» (ФРГ)

Параметры	НВМ120	НВМ185	НВМ230	НВМ250/300	НВМ20	НВМ350
Диаметр скважины, мм	65—159	150—175	159—251	200—279	251—381	381—444,5
Буровой инструмент	РД и ПУ 0—134	ШД, РД, ПУ 75; 90; 100 10,1; 8,7; 7,6	ШД, РД, ПУ 0—69	ШД 0—84	ШД 85—100 15; 12,5	ШД 65—85 20; 15
Частоты вращения долота, мин-1	5,23	185	10	10	420	550
Крутящий момент долота, кН·м	120	0—0,42	230	300	0—0,33	0—0,33
Осевое усилие, кН	до 0,58	0—0,85	0—0,78	0—0,25	0—0,33	0—0,33
Скорость подачи, м/с	0—1,25	0—0,85	0—0,78	0—0,5	0—0,33	0—0,33
Скорость подъема става, м/с	60	90	124	150	420	550
Усилие вверх, кН	51—127	127—140	127; 197	159—219	197—330	273—330
Диаметр штанги, мм	4/7	6/8	8	8	12	15
Длина штанги, м	10/6	8	6	4	2	2
Число штанг в кассете	—	0,115	0,1	0,105	0,08	0,08
Давление на грунт, МПа	—	—	—	—	—	—
Скорость передвижения, км/ч*	4/15	3,3/15	3,5/15	2,6/12	1,5	1,5
Глубина бурения, м	44/28	64	56	40	24	30
Компрессор:	0,13/02	0,28	0,33	0,57	2×0,43	2×0,47
производительность, м³/с	0,7/1,4	0,8/1,7	0,2	0,7	0,5	0,5
давление, МПа	1800	2500	3600	4500	5000	6000
Производительность пылеотсы- вающей установки, м³/ч	—	—	—	—	—	—
Мощность двигателей гидростан- ции и компрессора (суммарно), кВт**	132/175	235	270/345	350/414	360	465
	Д/Э	Д	Э/Д	Э/Д	—	—
Масса станка, т	22	32	42—50	56	75	86

* В числителе — гусеничный ход, в знаменателе — пневмоколесный.

** Э — электродвигатель, Д — дизель.

для пород средней крепости и крепких с большим шагом и вылетом штырей; СН — для пород средней крепости и очень крепких. Для высокоабразивных пород долота выпускаются с малым вылетом и шагом штырей. Между вращателем и штангой должно быть демпфирующее устройство. Считается правилом, что усилие подачи на шарошечное долото может составлять 1,2 кН на 1 мм диаметра, число оборотов долота в минуту 70—100 и скорость воздуха в затрубном пространстве от 25 до 55 м/с. Осевое усилие должно быть таким, чтобы внедрение штыря было не более 80% его высоты.

Фирма «Ингерсолл-Рэнд» выпускает несколько моделей буровых станков Дриллмастер, предназначенных для бурения скважин диаметром от 127 до 317 мм на глубину 47—61 м с использованием шарошечных и пневмоударных долот. Характерными особенностями этих станков являются торцовая схема вращательно-подающего органа с гидромотором; плавное регулирование частоты вращения долота и скорости его подачи в зависимости от крепости породы.

Универсальные станки, позволяющие бурить как шарошечными долотами, так и погружными пневмоударниками, применяются на карьерах США и Канады. Как правило, шарошечный способ применяют при бурении скважин в породах малой и средней крепости, а пневмоударный — в крепких и абразивных породах. При выборе инструмента учитывается требуемый диаметр скважин.

4. БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ

4.1. СРЕДСТВА МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГОРНУЮ ПОРОДУ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Механическое воздействие на горную породу реализуется с помощью устройств, весьма разнообразных по типу, виду и конструкции. В общем случае в процессе разрушения участвуют горная порода, рабочее тело — буровой инструмент или его элементы и среда (жидкость или газ). Элементы рабочего тела передают породе либо усилие, которое является результирующей двух создаваемых рабочим агрегатом бурового станка сил — осевой P_o и тангенциальной P_t , либо усилие, направленное по нормали к разрушаемому участку забоя скважины (при этом каждое из усилий может быть статическим* и динамиче-

* Точнее квазистатическим, так как процесс разрушения горных пород как анизотропных тел динамичен по своей природе.

ским или импульсным), либо ударную волну объемного фронта — цилиндрического, полусферического и др. Схемы передачи усилий и их характер положены в основу классификации средств и способов механического воздействия на горную породу.

Схемы силового воздействия на породу.

1. *Воздействие статических и динамических осевых усилий (бурение без вращения и без тангенциального усилия).*

1.1. Осевое воздействие статическое $P_o = P_{oc}$, $P_t = 0$.

1.1.1. Вдавливание (пенетрация) при статическом зондировании грунтов.

1.1.2. Разрушение (бурение) непрерывной стационарной струей жидкости.

1.2. Осевое воздействие статическое и динамическое $P_o = P_{oc} + P_{од}$, $P_t = 0$.

1.2.1. Вибрационное бурение с использованием вибромолотов и других вибропогружателей, бурение пневмопробойником на штангах.

1.2.2. Разрушение (бурение) непрерывной нестационарной струей жидкости.

1.2.3. Шароструйное бурение с использованием струйного насоса для жидкости или газа и твердых тел (шаров, дроби, песка).

1.3. Осевое воздействие динамическое $P_o = P_{од}$, $P_t = 0$.

1.3.1. Ударно-забивное бурение (зондирование), бурение пневмопробойником на гибком воздухопроводном шланге.

1.3.2. Ударно-канатное бурение (поворот долота случайный во время подъема и падения за счет свойств свивки каната) и ударно-поворотное бурение перфораторами.

1.3.3. Бурение погружным пневмоударником с насадкой А. В. Кузнецова.

1.3.4. Разрушение (бурение) прерывной струей жидкости.

2. *Воздействие статических и динамических осевых и статического тангенциального усилий.*

2.1. Осевое и тангенциальное воздействия статические $P_o = P_{oc}$, $P_t = P_{тс}$.

2.1.1. Резание пород с различной глубиной реза (микро- и макрорезание) при различном соотношении усилий P_{oc} и $P_{тс}$. Вращательное бурение — резание алмазными и мелкорезцовыми коронками, лопастными и резцовыми долотами различных конструкций при промывке, шнековой, воздушной и шнеководошной очистке скважин.

2.1.2. Разрушение пород при перекачивании твердого тела: дисковыми шарошками, шарошечными долотами с непрерывными венцами, дробовое бурение.

2.2. Осевое статическое и динамическое и тангенциальное статическое воздействия $P_o = P_{oc} + P_{од}$, $P_T = P_{Tc}$.

2.2.1. Вращательно-ударное бурение, т. е. вращательное бурение — резание по п. 2.1.1. с дополнительным наложением на осевую составляющую импульсов различной частоты для интенсификации процесса разрушения породы, основной объем которого обеспечивается в результате статического воздействия, а также бурение шарошечными долотами с зубчатыми венцами.

2.2.2. Ударно-вращательное бурение, т. е. ударное бурение с принудительным вращением долота для интенсификации процесса разрушения породы путем среза (скола) межвпадинных выступов на забое, при котором в промежутках времени между ударами элементы долота не отрываются от забоя и основной объем разрушения обеспечивается в результате динамического воздействия.

3. *Воздействие статических и динамических осевых и тангенциальных усилий.*

3.1. Осевое воздействие статическое, тангенциальное воздействие статическое и динамическое $P_o = P_{oc}$, $P_T = P_{Tc} + P_{Td}$.

Вращательное бурение с использованием возбудителей (генераторов) крутильных колебаний, например инерционных трансформаторов крутящего момента.

4. *Воздействие ударной волны объемного фронта (цилиндрического, сферического и др.).*

4.1. Взрывное бурение — разрушение породы в скважине последовательными взрывами небольших по величине зарядов ВВ (ампульных, патронированных или струйных) в среде жидкости или газа.

4.2. Электрогидравлическое бурение — разрушение породы в скважине при электронисковых разрядах в воде.

4.3. Бурение с использованием вакуум-капсул, разрушающихся в жидкости при ударе о забой скважины и разрушающих породу при смыкании вакуумной полости (кавитации).

Приведенная классификация, в которой содержатся основные простые схемы механического воздействия на горную породу, не исчерпывает всех реальных вариантов воздействий, так как к ним относятся также и комбинации простых схем, но она позволяет охватить и сопоставить большое количество средств воздействия, независимо от их типа, конструкции, вида используемой энергии и других факторов.

Непосредственно с горной породой взаимодействуют элементы буровых долот и коронок, высокотемпературные струи газов дозвуковой и сверхзвуковой скорости, струи жидкости высокого давления, разгоняемые струей жидкости твердые тела, ударные волны в жидкости и газе.

Буровые устройства разрушают горную породу:
с сплошным забоем (по всей площади);

кольцевым забоем с оставлением керна;
концентрически — кольцевым забоем с оставлением межкольцевых концентрических целиков, разрушающихся по мере углубления скважины. При этом забой может быть (в продольном сечении) ступенчатым, прямо- или криволинейным и др.

В зависимости от вида средств и способов воздействия, величины их рабочих параметров, схемы обработки забоя скважины и других факторов продукты разрушения пород имеют различную дисперсность — от десятков миллиметров до долей миллиметра.

Способы удаления продуктов разрушения горной породы из скважины на поверхность: механический (шнековый), пневматический и гидравлический с прямой или обратной циркуляцией носителя, вакуумный, комбинированный (шнеко-воздушный) и гравитационный (последний при бурении восходящих скважин в шахтах).

Теоретически согласно энергетическому подходу к процессам разрушения твердых тел работа, произведенная при дроблении, пропорциональна величине поверхности, обнаженной в процессе этой операции (гипотеза Риттингера), пропорциональна объему разрушенного тела (гипотеза Кирпичева-Кика) или равна их сумме (обобщенная формула Ребиндера). В общем случае, не принимая во внимание количественного различия затрат энергии в соответствии с этими гипотезами, *объемная работа разрушения и удельная энергоемкость процесса возрастают с уменьшением линейного размера продуктов разрушения*, т. е. с увеличением их дисперсности.

Эта общая теоретически установленная связь затрат энергии с дисперсностью или гранулометрическим составом продуктов разрушения наблюдается в практике при различных способах бурения скважин, дроблении пород взрывом, разрушении пород и угля проходческими и добычными комбайнами, измельчении пород в дробилках и т. д.

Удельная энергоемкость бурения, т. е. разрушения горной породы на забое и очистки скважины от продуктов разрушения,

$$\varepsilon = \varepsilon_p + \varepsilon_o = Nt/V_l = 4(N_p + N_o)/(nD^2v),$$

где ε_p , ε_o — удельная энергоемкость соответственно разрушения породы и очистки скважины; (N , N_p , N_o — мощность соответственно общая и потребляемая при разрушении породы и очистке скважины ($N = N_p + N_o$); t — время бурения интервала скважины длиной l ; V_l — объем горной породы, разрушенной за время t ; D — диаметр скважины; v — средняя скорость бурения скважины в интервале l ;

$$v = 4(N_p + N_o)/[nD^2(\varepsilon_p + \varepsilon_o)].$$

Взаимосвязь параметров процесса бурения показывает, что для увеличения скорости бурения необходимо увеличивать мощность, подводимую к забою скважины, и использовать ее так, чтобы обеспечить отделение от массива породы частиц максимально возможной крупности и уменьшить удельную энергоёмкость разрушения. Мощность на очистку скважины должна быть достаточна для эффективного удаления с забоя крупных продуктов разрушения.

4.2. ШАРОШЕЧНЫЕ ДОЛОТА И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

На карьерах широко применяются шарошечные долота разнообразных типов. Наряду с рациональной технологией правильный выбор их с учетом механических и абразивных свойств горных пород обеспечивает увеличение средней скорости бурения на 5—7%.

Конструктивные особенности шарошечных долот, области их применения и режимы бурения. Наиболее широко применяются трехшарошечные долота (рис. 4.1). Одно- и двухшарошечные долота имеют ограниченное применение. Многошарошечные долота, как правило, применяются при бурении скважин большого диаметра (490 мм и более). Долото состоит из сваренных между собой секций, на цапфах которых смонтированы шарошки, вращающиеся на опорах. В зависимости от размера долота и условий бурения долота выполнены с подшипниками качения (роликовыми и шариковыми) и скольжения (табл. 4.1).

В долотах всех конструкций шарошки удерживаются на цапфах радиально-упорным шариковым подшипником, выполняющим функции замка и воспринимающим осевую и частично радиальную составляющие нагрузки. В секциях (в лапе и цапфах) просверлены дополнительные каналы для охлаждения и смазки при бурении, а также для предотвращения попадания буровой мелочи в опоры шарошек.

Шарошки выполняются двух- и трехконусными, самоочищающимися, т. е. ряды зубьев одной шарошки входят в межвенцовые проточки соседних шарошек, что позволяет также увеличить размеры элементов опор катушек. Оси шарошек наклонены к оси долота в зависимости от его типа на $52—57^{\circ}30'$, а в горизонтальном направлении имеют угловое смещение.

Долота выпускаются с центральной, а также периферийными — симметричной и асимметричной схемами очистки забоя от буровой мелочи. Долота с центральной схемой очистки укомплектовываются унифицированными соплами с внутренней левой резьбой в верхнем конце для установки в ниппельной полости долота дополнительных уст-

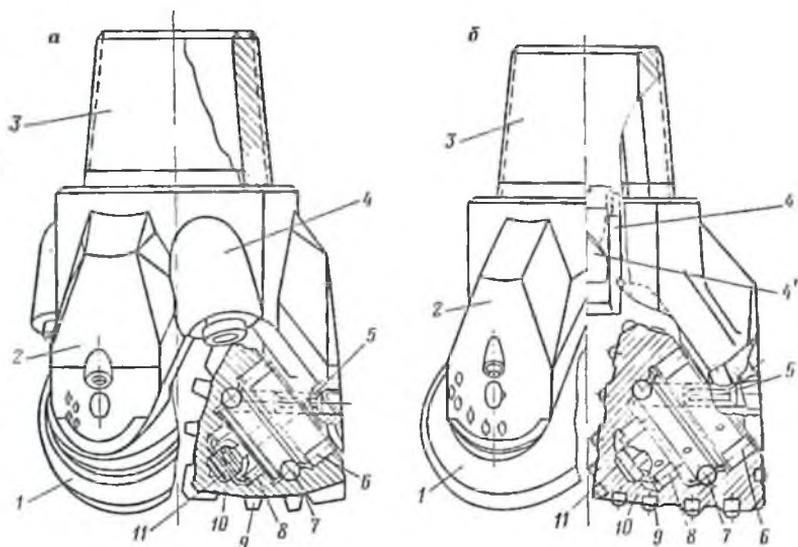


Рис. 4.1. Конструктивные схемы трехшарошечных долот:

a — зубчатого с фрезерованным вооружением шарошек и периферийной продувкой; *b* — штыревого с вооружением цилиндрическими элементами твердого сплава и центральной продувкой;
 1 — шарошка; 2 — лапа долота; 3 — присоединительный ниппель с резьбой; 4 — периферийный (*a*) и центральный (*b*) продувочные каналы; 4' — воздухонаправляющий винт; 5 — канал для подачи замкового ряда шарикового подшипника с фиксатором; 6 — роликовый подшипник опоры; 7 — замковый шариковый подшипник; 8 — роликовый подшипник опоры; 9 — элементы породоразрушающего фрезерованного (*a*) и твердосплавного (*b*) вооружения шарошки; 10 — корпус шарошки; 11 — опорная пята опоры шарошки

ройств (обратных клапанов, маслоотделительных втулок и др.), повышающих срок службы долота.

Тыльные конуса шарошек, спинки и козырьки лап защищаются от абразивного износа твердосплавными зубьями либо наплавкой твердым сплавом — релита.

По периодам разработки конструкции шарошечных долот относятся к первому, второму и третьему поколениям.

Для армирования шарошечных долот применяются формы твердосплавных зубков: с полусферической и клиновидной рабочими поверхностями (для вооружения шарошек) и плоским торцом (для запрессовки в обратный конус шарошек, козырьков и спинки лап) соответственно форм Г-26, Г-25, Г-54.

Трехшарошечное долото 1В-244,5ОКП диаметром 244,5 мм наиболее широко применяется на рудных карьерах. Для бурения в твердых абразивных пластичных породах используются долота ТЗ и ТКЗ диаметром 76, 97, 112, 145, 190, 214 и 243 мм. Эти долота изготавливаются под шифрами Н-76ТЗ, 1Н-97ТЗ, 1Н-145ТЗ, 2Н-190ТЗП, В243ТЗП объединенные Уралбурмаш). Долота ТЗ эффективно используются при

Таблица 4.1

Номенклатура выпускаемых шарошечных долот для горнорудной промышленности СССР

Марка долота	Схема опор	Изготовитель	Масса долота, кг
III76T III760K	С-Ш-С С-Ш-С	Уралбурмаш	2
III98,40K III112KЦВ	Ш-Ш-Ш Ш-Ш-С	Уралбурмаш, Восток-машзавод	4
III146ТПВ III146КПВ III146ОКПВ	Р-Ш-Ш Р-Ш-Ш Р-Ш-Ш	Уралбурмаш, Восток-машзавод	12
III161ТПВ III161КПВ	Р-Ш-Ш Р-Ш-Ш	Уралбурмаш, Восток-машзавод	15,5
III215,9ТПВ2 III215,9ТЗПВ III215,9ТКЗПВ III215,9КПВ1 III215,90КПВ	Р-Ш-Р Р-Ш-Р Р-Ш-Р Р-Ш-Р Р-Ш-Р	Куйбышевбурмаш	32
III244,5ТПВ2 III244,5КПВ III244,5ОКПВ1 III244,5ОКПВ2 III244,5ОКПВ3	Р-Ш-Р Р-Ш-Р Р-Ш-Р Р-Ш-Р Р-Ш-Р	Уралбурмаш, Дрогобычский долотный завод, Поваровский опытный завод	45
III269,9ТПГВ III269,9ТЗПГВ III269,9ОКПВ2	Р-Ш-УПС-Р Р-Ш-УПС-Р Р-Ш-Р	Дрогобычский долотный завод	60
III320ТПГВ1 III320ТЗПГВ1 III320ОКПВ1	Р-Ш-Р-УПС Р-Ш-Р-УПС Р-Ш-Р-УПС	Дрогобычский долотный завод Востокмашзавод, Уралбурмаш	90

Принятые обозначения: С — подшипник скольжения; Ш — подшипник шариковый; Р — подшипник роликовый; УПС — упорная пята скольжения.

бурении в известняках, доломитах и других породах, аналогичных по крепости и абразивности.

Освоено серийное производство долот С, СТ, Т, предназначенных для бурения в малоабразивных породах средней крепости и крепких (табл. 4.2, 4.3).

Основные правила эксплуатации долот второго поколения изложены в инструкции ВНИИБТ по эксплуатации шарошечных долот.

Таблица 4.2

Рациональные области применения долот второго поколения
(по данным ВНИИБТ)

Долото	Горные породы	Коэффициент крепости пород f	Диаметр долот, мм
С и СТ	Неабразивные горные породы ниже-средней и средней твердости: плотные глины, гипс, алевролиты, соли, мергели, углистые и глинистые сланцы, рыхлые известняки и т. п.	6	190, 214
Т	Неабразивные и малоабразивные горные породы: амфиболовые сланцы, аргиллиты, песчанистые сланцы, твердые известняки, слабые доломиты, фосфатные руды, опоки и т. п.	6—8	145, 190, 214, 243
ТК	Малоабразивные твердые породы с пропластками крепких пород и руд: известняки с пропластками угля, малокристаллические известняки с пропластками доломитов и т. п.	8—10	190, 214, 243
ТЗ	Вязкие абразивные твердые горные породы: апатитнефелиновые руды, доломитизированные известняки и плотные доломиты, разрушенные граниты, габбро и диориты, магнетиты	8—14	190, 214, 243
ТКЗ	Переменяющиеся абразивные твердые вязкие и крепкие хрупкие горные породы и руды: оквариованные доломитизированные известняки с прослойками рыхлого кварцита, кварцевые сланцы и т. п.	8—14	190, 214
ОК	Абразивные хрупкие крепкие и очень крепкие горные породы и руды: гранит, скарны, кварциты, диориты, джеспилиты, крепкие песчаники и т. п.	12	76, 97, 112, 145, 190, 214, 269, 320

Характерная особенность таких долот — использование подшипников с телами качения в опорах шарошек. Опоры шарошек долот диаметром 190 и 214 мм выполнены по схеме Ш-Ш-Р (с двойным шариковым замковым подшипником), кроме долот диаметром 190 мм Пермского машиностроительного завода им. Ленина, в которых использовано пять подшипников: периферийный и концевой скольжения и три — качения. Шарошки долот диаметром 243, 269, 320 мм выполнены по классической схеме с использованием роликов и шариков относительно небольших размеров.

Для бурения скважин на карьерах и при строительстве инженерных сооружений в соответствии с ГОСТ 20692—75 изготавливаются семь типов трехшарошечных долот третьего поколения (табл. 4.4).

Таблица 4.3
 Параметры режима бурения долотами второго поколения

Диаметр долота, мм	Наружный диаметр буровых труб, мм	Осевое усилие на долото, кН		Частота вращения, с ⁻¹		Расход продувочного агента, м ³ /с		
		С. СТ, Т, ТК	ТЗ, ТКЗ, К, ОК	С. СТ, Т, ТК	ТЗ, ТКЗ, К, ОК	сжатого воздуха		технической воды
76	63,5	25—30	35—40	3—4,17	2—2,5	0,15	0,07—0,08	1,0
97	73	35—40	50—60	3—4,17	2—2,5	0,15	0,10	1,0
112	89	50—60	70—90	3—4,17	2—2,5	0,15	0,15	2,0
145	89—114	60—80	100—120	3—4,17	2—2,5	0,20	0,17	3,3
190	152	140—160	180—220	2,5—3,3	1,33—2,5	0,25—0,3	0,25	—
214	180	180—200	220—250	2,5—3,3	1,33—2,5	0,33—0,37	0,25—0,3	—
243	203	220—250	250—280	2,5—3,3	1,33—2,5	0,44—0,53	0,40—0,44	—
269	219	250—300	300—350	2,5—3,3	1,33—2,5	0,58—0,67	0,50—0,58	—
320	273	—	до 500	—	1,33—2,5	—	до 1,0	—

Примечания. 1. Верхние пределы осевых усилий соответствуют нижним пределам частот вращения. 2. В крепчайших горных породах частоту вращения следует снижать до 1 с⁻¹.

Таблица 4.4

Типы долот и области их применения

Тип долота	Область применения	Исполнение шарошек
М	Для мягких пород	С фрезерованными зубьями
МЗ	Для мягких абразивных пород	С вставными зубьями
С	Для пород средней твердости	С фрезерованными зубьями
Т	Для твердых пород	С фрезерованными зубьями
ТЗ	Для твердых абразивных пород	С вставными зубьями
ТК	Для твердых пород с пропластками крепких	Комбинация фрезерованных и вставных зубьев
К	Для крепких пород	С вставными зубьями

Рациональное сочетание типов долот, параметров режима бурения, состава продувочного агента и применение дополнительных устройств к долотам в значительной степени влияют на технико-экономические показатели бурения. Вид вооружения шарошки определяет тип долота. Оно выполняется твердосплавным, фрезерованным из металла шарошек или комбинированным.

Вооружение шарошек долот М, С, Т — фрезерованные в теле шарошек зубья: долот МЗ и ТЗ — твердосплавные зубки формы Г25 (ГОСТ 880—75) с клиновидной формой рабочей поверхности, а долот ТК, К, ОК — зубки формы Г26 (ГОСТ 880—75) с полусферической рабочей головкой. Боковая и тыльная поверхность долот М, С и Т для повышения долговечности наплавляется зерновым твердым сплавом релит. Вооружение шарошек долот ТК комбинированное: фрезерованные зубья с твердосплавными зубками. Для долот МЗ, ТЗ, ТК, К и ОК оно может быть выполнено зубками новых форм.

Для увеличения скалывающего воздействия на породу оси шарошек долот М и МЗ смещены в горизонтальной плоскости относительно оси долота на величину до 10 мм, долота С — до 6 мм, остальных долот — до 1,5 мм.

Для повышения эффективности разрушения горной породы и улучшения выноса из забоя выбуренных частиц в шарошках долот К выполнены межзубковые фрезерованные пазы на всех венцах.

Вершины шарошек долот ТЗ, К и ОК выполнены с полными конусами, вооружение которых эффективно разрушает центральную зону забоя скважины. Тыльные части шарошек, козырьки и спинки лап также армированы твердосплавными зубками формы Г54 (ГОСТ 880—75) с плоскими торцами, запрессованными заподлицо с телом, причем козырьки и спинки лап могут быть наплавлены зерновым твердым сплавом релит.

Основные конструктивные особенности вооружения шарошек долот третьего поколения — твердосплавные зубки большего диаметра с большим шагом и вылетом, запрессованные на меньшую глубину.

Конструкция опор шарошек выбирается с учетом диаметра долота и области его применения выполняется на подшипниках с телами качения (В); на одном подшипнике скольжения и остальными подшипниками с телами качения (М); на двух и более подшипниках скольжения (А).

Для разгрузки от осевой составляющей радиально-упорного (замкового) шарикового подшипника в долотах диаметром 269,9 и 320 мм дополнительные упорные подшипники скольжения выполнены в двух вариантах: с установкой подпятника из твердого сплава Р-15 в шарошке и шлифовкой торца цапфы либо с установкой также и в цапфе подвижной пяты из твердого сплава, упирающейся в бурт. Толщина бурта рассчитана на определенную перегрузку опоры.

Для улучшения охлаждения и смазки элементов опор (особенно с использованием подшипников скольжения) диаметры продувочных каналов в лапах и цапфах выполняются больших, чем у долот второго поколения, размеров, а в нагруженные зоны беговых дорожек цапф и к подшипникам скольжения вводятся дополнительные каналы, у основания цапфы фрезеруются два паза, обеспечивающие проток продувочного агента из полости шарошек в затрубное пространство.

По расположению и конструкции продувочных каналов долота изготавливаются с центральной продувкой (П) и с боковой продувкой (ПГ). В долотах с центральной продувкой предусматривается подвод воздуха к поверхности забоя через унифицированное сопло с внутренней левой резьбой в верхнем конце, расположенное в центре корпуса долота. В долотах с боковой («гидромониторной») продувкой каналы для подвода воздуха к забою скважины выполнены в приливах асимметричных лап. В этих долотах струя воздуха направляется между шарошками на периферийную зону забоя. В нижней части продувочные каналы оснащены насадками, приваренными к лапам долота.

Примеры условного обозначения шарошечных долот:

диаметром 146 мм для бурения твердых пород с центральной продувкой на подшипниках с телами качения — III146ТПВ, диаметром 215,9 мм для бурения мягких абразивных пород с боковой продувкой, на подшипниках качения — III215,9МЗПГВ, для бурения мягких пород — III215,9МПГВ;

диаметром 244,5 мм для бурения крепких пород с центральной продувкой, на подшипниках качения — III244,5КПВ, а для бурения очень крепких пород с центральной продувкой на одном подшипнике скольжения (остальные подшипники с телами каче-

ния) — ПИ244,5ОКПВ, то же, но с боковой продувкой — ПИ244,5ОКПГВ;

диаметром 320 мм для бурения твердых абразивных пород с боковой продувкой, на подшипниках с телами качения — ПИ320ТЗПГВ.

Шарошечные долота изготавливаются: Верхне-Сергинским долотным заводом (долота диаметром от 76 до 244,5 мм), ПО Куйбышевбурмаш (190,5 и 215,9 мм), Дрогобычским долотным заводом (244,5, 269,9, 320 мм), Востокмашзаводом (112, 146, 320 мм), Поваровским опытным заводом (215,9, 222,3, 244,5, 250,8, 269,9 мм) и Экспериментальным заводом ВНИИБТ (от 76 до 320 мм).

В новой шифровке долот из условного обозначения исключен завод-изготовитель, который может быть определен по клейму на торце ниппеля долота. При маркировке трехшарошечных долот на торце ниппеля цифра ПИ не маркируется. Усовершенствование параметров вооружения и геометрических форм шарошек, элементов опор и продувочной системы долот третьего поколения привели к изменению правил эксплуатации долот. Выбор типа долота выполняется с учетом свойств горных пород и рациональных параметров режима бурения.

Основные конструктивные изменения вооружения штыревых долот: применены твердосплавные зубки большего диаметра, запрессованные с большим вылетом и шагом, а также новые типы зубков. В долотах МЗ и К межзубковые пазы на всех венцах шарошек позволяют увеличить вылет зубков и улучшить очистку забоя от шлама. Вооружение шарошек зубчатых долот усилено: увеличено притупление зубьев, зубья наплавлены сплавом релит и улучшена схема разрушения забоя. Прогрессивная боковая схема продувки улучшает очистку забоя от шлама и снижает эрозионный износ вершин шарошек при бурении в абразивных породах.

Приведенные конструктивные особенности долот третьего поколения позволили расширить области их применения. Наиболее широко применяются долота К, обеспечивающие повышение механической скорости бурения и средней проходки на долото. Улучшение технико-экономических показателей работы этих долот достигается выбором рациональных величин осевого усилия на долото и частоты вращения (табл. 4.5). При этом необходимо соблюдать рекомендуемый перепад давления воздуха на долоте (не менее 0,15 МПа).

При использовании долот, в опорах шарошек которых имеются подшипники скольжения, особое внимание следует уделять эффективному охлаждению и их смазке при бурении, а также обработке долот при пониженной частоте вращения.

Из данных табл. 4.5 следует, что параметры режима работы долот третьего поколения уменьшены, что указывает на прак-

Таблица 4.5

Рекомендуемые параметры режима бурения долотами третьего поколения

Диаметр долота, мм	Наружный диаметр буровых труб, мм	Осевое усилие на долото, кН		Частота вращения, с ⁻¹		Расход продувочного агента	
		М, С, Т, ТК	МЗ, ТЗ, К, ОК	М, С, Т, ТК	МЗ, ТЗ, К, ОК	сжатого воздуха, м ³ /с	технической воды*, дм ³ /с

Долота на подшипниках с телами качения

146	89—114	60—80	80—100	2,5—2	2—1	0,16—0,2	—
161	127	100—130	130—150	2,5—2	2—1	0,25	—
215,9	180	140—180	160—200	2,5—1,3	2—0,83	0,42	0,05—0,08*
244,5	203	180—220	180—250	2,5—1,3	2±0,83	0,42—0,53	0,08—0,12
269,9	219	200—270	250—300	2,5—1,3	2—0,83	0,6—0,7	<0,17
320	273	<35	<500	2,5—1,3	2±0,83	0,83—1,0	<0,17

Долота на подшипниках с опорами скольжения

76	63,5	<30	<40	<2,5	до 2	0,15	1000
98,4	73	<40	<60	<2,5	до 2	0,15	1000
112	89	<50	<80	2,5—1,7	2,5—1,0	0,15	2000
146	89—114	<80	<120	2,5—1,0	2,5—1,0	0,15	3300
161	127	120—140	130—150	2—1,0	1,7—1,0	0,25	<83
215,2	180	160—200	180—220	2—1,0	1,7—0,83	0,42	83—120
244,5	203	200—250	220—270	2—1,0	1,7—0,83	0,42—0,53	<167
269,9	219	220—270	250—320	2—1,0	1,7—0,83	0,6—0,7	<167
320	273	<400	<500	2—1,0	1,7—0,83	0,8—1,0	<167

* Продукта воздушно-водяной смесью.

Примечания. 1. Верхние пределы осевых усилий на долото соответствуют нижним пределам частот вращения долот. 2. В крепчайших взрывчатых или сильнотрещиноватых породах частоту вращения рекомендуется уменьшать до 1 с⁻¹. 3. По мере износа вооружения шарошек долот М, С, Т, ТК необходимо постепенно увеличивать осевое усилие на долото до верхнего предела.

Таблица 4.6

Показатели работы долот новых типов

Предприятие	Коэффициент крепости пород f	Шифр долот	Число отработанных долот	Осевое усилие, кН	Частота вращения, с ⁻¹	Расход сжатого воздуха, м ³ /с	Средние показатели на долото	
							проходка, м	механическая скорость бурения, м/ч
Бакальское РУ	8—10	111215,9ТПВ 1К214ТП 1К214ОКП	95 12 92	150—200	1,2—2,5	0,3—0,42	329	41,3
Комбинат Ураласбест	6—10	111215,9ТПВ 1К214ТП К214ТКП	86 45 16	150—200	1,33—2	0,3—0,42	673 464 181	27,7 23,1 18,6
Соколовско-Сарбайский ГОК	12—14	111244,5КПВ 1В243ОКП	41 40	200—220 240—260	1,33—2	0,42	188,7 164,1	23,7 20,5
ПО Кемеровоуголь	8—10	111215,9МЗПГВ	31	180—200	1,33—2,5	0,42	532	41
Томусинский разрез	6—8	111215,9ТПВ 111215,9МЗПГВ	31 11	160—180	1,2—2,55	0,42	734 340	46 32

тическую возможность снижения массы вновь создаваемых буровых станков.

В качестве примера в табл. 4.6 приведены показатели работы долот новых конструкций при рекомендуемых параметрах режима бурения.

Правила эксплуатации шарошечных долот

Хранение и транспортирование долот. Шарошечные долота хранятся под навесом; они устанавливаются на стеллажах ниппелем вверх и группируются по типам и размерам. Внутренняя полость долота закрывается бумажной пробкой во избежание засорения воздухоподводящих каналов. В каждое долото вкладывается заводской паспорт.

Не допускается хранение долот на открытых площадках, так как под воздействием воды происходит вымывание смазки опор, в результате чего подшипники преждевременно выходят из строя. Хранение долот «навалом» приводит к скалыванию зубьев, что особенно опасно для долот с твердосплавным вооружением, у которых механическое повреждение одного зуба является причиной аварийного выхода из строя всего долота.

Перед транспортированием долота на ниппель навинчивается колпак с проушиной для захвата его лебедкой или другим приспособлением. При перемещении долот волоком и сбрасывании их на твердые предметы происходит поломка или выкрашивание зубьев, засорение воздухоподводящих каналов.

На буровом станке долота хранятся в специальном закрытом ящике. При безстарном хранении ниппель долота защищается колпаком.

Бурение. Перед началом бурения машинист бурового станка должен убедиться в том, что тип долота соответствует конкретным условиям бурения. Условия бурения оцениваются по маркшейдерским данным, при этом учитываются не только качественный, но и количественный состав буримых пород, обводненность и закарстованность вскрышных массивов. Все эти данные должны быть представлены в «Паспорте на ведение буровзрывных работ». Строение вскрышного массива уточняют по открытому откосу уступа. В случае сложной перемежаемости вскрышных пород тип долота выбирается с учетом характеристик наиболее представительной группы пород или самой крепкой и абразивной породы.

Перед навинчиванием долота на штангу из его внутренней полости удаляются бумажная пробка и паспорт, проверяется состояние воздухоподводящих каналов. Засоренные каналы прочищаются. Производится внешний осмотр долота для обнаружения внешних дефектов (трещины в местах сварки и на корпусах

шарошек, сколы зубьев, смятие резьбы). Проверяются подвижность шарошек, наличие осевых и радиальных люфтов (максимально допустимые люфты указываются в паспорте долота). Долота с шарошками, зацепляющимися друг за друга при вращении, бракуются. Долота, у которых шарошки потеряли подвижность, погружаются в емкость с маслом или дизельным топливом и раскручиваются вручную. Запрещается раскручивать шарошки ударами молотка. Если восстановить подвижность шарошек не удастся, долото бракуется. Не допускается к использованию долота с глубокими трещинами в местах сварки лап, а также с шарошками, на теле которых обнаружены трещины. Не должны применяться долота со сколотыми зубьями. Резьба долота должна быть очищена от грязи и смазана графитовой смазкой. Навинчивать долото следует при помощи машинного ключа.

Перед навинчиванием на буровой став в долото обязательно должны быть установлены дополнительные устройства, в том числе шайбы или втулки, гарантирующие перепад давления на долоте не менее 0,15 МПа. Величина перепада давления определяется по разнице сопротивлений движению воздуха в воздушной магистрали станка с навернутым долотом и без него, измеренных манометром.

Перед началом бурения включают компрессор, привод вращения станка, привод подачи и создают нагрузку на долото. Нельзя сначала создавать нагрузку на долото, а потом включать компрессор. Долото следует опускать в забой спокойно, без ударов.

Забуривание производится при минимальном числе оборотов и небольшом осевом усилии (10—15% допустимого). Новое долото прирабатывается в течение 15—20 мин при уменьшенном (на 25% оптимального значения) осевом усилии. При возобновлении бурения на частично пройденной скважине необходимо сначала привести долото во вращение и включить компрессор, чтобы очистить скважину от разрушенной породы, а затем опустить долото на забой.

В целях увеличения подвижности шарошек долото периодически промывают в компрессорном масле или дизельном топливе и раскручивают вручную шарошки. Промывка производится в начале смены перед забуриванием, после обеденного перерыва и в конце смены. В случае вынужденного простоя (при отключении электроэнергии или в случае аварии на станке) скважину добуривают, затем долото промывают.

При обурировании обводненных забоев и наличии влагонасыщенных глинистых пород долото промывают после бурения каждой скважины. Если к моменту прекращения бурения скважина оказалась недобуренной, долото извлекают из скважины, промывают, затем добуривают скважину.

Для бурения по обводненным и влагонасыщенным породам следует применять станки, оснащенные высокопроизводительными винтовыми компрессорами. Использование станков с поршневыми компрессорами с небольшой подачей не обеспечивает интенсивного удаления тяжелой, влажной породы, в результате чего скорость бурения снижается, а долото выходит из строя.

Бурение должно осуществляться в оптимальных режимах, указанных в паспорте.

Причины и характерные виды износа шарошечных долот

Анализ динамики и характера износа долот позволяет выявить причины потери их работоспособности, устранение которых обеспечивает улучшение технико-экономических показателей.

Правильный выбор типа долота, эксплуатация его в оптимальных режимах с соблюдением установленных правил обеспечивают равную стойкость вооружения и опоры шарошек. Преждевременный выход из строя одного из элементов долота при сохранившейся работоспособности другого элемента свидетельствует о несоответствии типа долота горнотехническим условиям бурения или нарушении условий его эксплуатации.

Причиной интенсивного изнашивания зубьев с притушением «на площадку» и выхода из строя долота при полностью изношенном вооружении и работоспособной опоре является несоответствие типа долота условиям бурения. В данном случае необходимо заменить долото со стальными фрезерованными зубьями долотом с твердосплавными зубьями.

Выкрашивание зубьев у долота с твердосплавным вооружением происходит вследствие дефектов в твердом сплаве, являющихся очагами разрушения при бурении. Поломка твердосплавных зубьев на уровне запрессовки их в тело шарошки вызывается высокими остаточными напряжениями, возникающими в твердом сплаве при нарушении технологии армирования.

Облом вершин у шарошек происходит по термическим трещинам, которые образуются в местах надрезов после механической обработки. Источником трещин по образующим шарошек служат металлургические дефекты. Долота, шарошки которых имеют подобные трещины, для бурения не применяются.

Зацепление шарошек при вращении происходит вследствие нарушения технологии сборки долота и служит основанием для его выбраковки.

Причиной уменьшения подвижности шарошек при бурении является засорение подшипников опор разрушенной породой при недостаточно интенсивном удалении ее из скважины. Это имеет место вследствие нарушения параметров

режимов очистки, а также при проходке влагонасыщенных и вязких пород.

Заклинивание шарошек на опорах может происходить в результате заштыбовки опор, заклинивания подшипников или «схватывания» трущихся поверхностей. Для восстановления подвижности шарошек рекомендуется отмачивать их длительное время в емкости с маслом. При систематической промывке долота его подвижность сохраняется. При «схватывании» трущихся поверхностей подвижность долота не восстанавливается.

Резкое нарастание осевых люфтов и последующее зацепление шарошек являются признаками разрушения деталей опор, что приводит к потере работоспособности долота.

При нарушении подвижности шарошек или разрушении опор возникают вибрации станка, резко увеличивается токовая нагрузка вращателя. В этом случае во избежание аварии бурение необходимо прекратить, долото извлечь из скважины и подвергнуть промывке или отмачиванию. Если восстановить подвижность долота не удастся, его заменяют новым.

Интенсивный износ спинок лап с последующим разрушением козырька, а также сварного шва, фиксирующего пальца, происходит вследствие возникновения абразивного «тела волочения» между спинкой лапы и стенкой скважины при недостаточно интенсивном удалении разрушенной породы. По этой же причине происходит интенсивное изнашивание обратного конуса шарошек, сопровождающееся выпадением роликов периферийного подшипника и последующим разрушением опоры шарошек.

Таким образом, наличие мощных компрессорных установок и их исправность определяют эффективность процесса бурения и оказывают большое влияние на его экономические показатели.

Для краткой записи данных об износе долота пользуются специальным буквенно-цифровым кодом:

I. Износ вооружения (хотя бы одного венца):

V1 — уменьшение высоты зубьев на 1/4, V2, V3, V4 — соответственно на 1/2 (2/4), 3/4, 4/4 (полностью).

При наличии скола зубьев, скола и выпадения твердосплавных зубков добавляется индекс С. Общее число сколотых зубьев, сколотых и выпавших твердосплавных зубков (в %) записывается в скобках: например, С(20). При закруглении зубьев периферийных венцов добавляется индекс Р: например С(20)Р.

II. Износ зубьев (хотя бы одной шарошки):

III — небольшой износ: «качка» торца шарошки относительно оси цапфы невелика (например для долота диаметром 215,9 мм — до 2 мм, для долота диаметром 244,5—320 мм — до 4 мм); тела качения не обнажены;

И2 — средний износ: большая «качка» торца шарошки (например, для долот диаметром 315,9 мм — 5 мм, для долот диаметром 244,5—320 мм — до 8 мм); тела качения обнажены;

И3 — большой износ: значительная «качка» шарошки (например, для долот диаметром 215,9 мм — больше 5 мм, для долот диаметром 244,5—300 мм — более 8 мм), значительный износ или разрушение части тел качения, опасность их выпадения, «заедание» шарошки при вращении вручную;

И4 — «отказ» (разрушение) опор: разрушение и поворот роликов, разрушение шариков, козырьков, лап и тыльной части шарошек, выпадение тел качения, трещины и «лыски» на шарошках. Под «качкой» торца шарошки понимается максимальный зазор между торцом шарошки и основанием цапфы.

В случае заклинивания шарошек добавляется индекс К. Число заклиненных шарошек указывается в скобках: например К(2), зашламливание шарошек и дополнительных продувочных каналов обозначается индексом Ш; при этом указывается число шарошек или каналов: (Ш2);

III. Аварийный износ:

Ав, Аш, Ас, Ац — «оставление» на забое соответственно вершин, шарошек, секций, цапф с шарошкой.

Число «оставленных» на забое лап, шарошек и их вершин обозначается римскими цифрами в скобках, например, Ав(1), Аш(1, II), Ас(1), Ац(III).

Примеры применения кода для оценки износа долот:

вооружение «сработано» на 10%, опоры имеют средний износ, «заклинены» две шарошки, диаметр долота сохранился — ВП2К(2),

вооружение, изношено на 3/4, 50% зубьев имеют сколы, калибрующие кромки зубьев периферийных венцов закруглены, опоры имеют большой износ, «качка» шарошек составляет 10 мм, диаметр долота уменьшился на 7 мм — ВЗС(50)РПЗД7,

вооружение «сработано» полностью, опора разрушена, часть тел качения выпала, первая шарошка «оставлена» на забое — В4П4Аш(1),

в скважине оставлены все шарошки — Аш(III).

Примеры записи износа долот с помощью кода в журнале:

Ш269,9ТЗ-ПГВ—ВС(25)И4К2Ш2,

Ш215,9Т-ПВ—ВЗРШ1,

Ш215,9МЗ-ПГВ—ВЗС(30)ПЗК2.

Для повышения износостойкости фрезерованных зубьев, стенок и козырьков лап применяется наплавка их зерновым твердым сплавом, состоящим из зерен карбида вольфрама. Наплавка зубьев осуществляется с нагревом током высокой частоты и при помощи ацетилен-кислородного пламени с использованием соответственно зернового твердого сплава релит типа 3 или трубчато-зернового ТЗ (ТУ 48-42-34—70).

Твердосплавные зубки форм Г26 и Г25 (ГОСТ 880—75) изготавливаются из вольфрам-кобальтового сплава соответственно ВК8В и ВК11В, а зубки формы Г54—ВК4В и ВК6В. Зубки формы Г25 и Г26 выпускаются либо шлифованными, либо без шлифовки диаметром от 3 до 16 мм с интервалом 1 мм, а зубки формы Г54 — диаметром от 3 до 7 мм.

Дополнительные устройства для шарошечных долот

Дополнительные устройства: обратные клапаны, маслоотделительные втулки, винты рассеивающие, калиброванные втулки и шайбы и т. д. Повышение эффективности бурения достигается в результате роста производительности станка и увеличения проходки на долото.

Наддолотные стабилизаторы при бурении в крепких и очень крепких породах долотами с твердосплавным вооружением обеспечивают устойчивую работу долота на забое, а также повышают надежность работы бурового станка и устойчивость стенок скважин.

Необходимый для нормальной работы расход сжатого воздуха через опоры шарошек может быть обеспечен соблюдением перепада давления на долоте в пределах 0,15—0,2 МПа путем изменения проходного сечения центрального продувочного сопла, установленного на долоте. Во все горнорудные долота введены унифицированные центральные сопла с увеличенным проходным сечением и верхним резьбовым концом, позволяющим при очистке скважины воздушно-водяной смесью укреплять в них дополнительные втулки с требуемым проходным сечением, а при очистке сжатым воздухом — втулку маслоотделительную, увеличивающую стойкость опор шарошек. При отсутствии втулки маслоотделительной в центральном сопле устанавливается втулка дополнительная, не препятствующая применению обратного накидного клапана.

Шайбы и втулки дополнительные, используемые многократно, изготавливаются горными предприятиями, а втулки маслоотделительные — заводом-изготовителем совместно с долотами из расчета одна втулка на 10 долот. Шифры втулок маслоотделительных: МО1 для долот диаметром 215,9 и 243 мм и МО2 для долот 244,5 и 250,8 мм.

Шламозащитные клапаны шарошечных долот. При бурении обводненных скважин целесообразно применять обратные клапаны, предохраняющие важнейшие элементы долота и полости бурильных штанг от шлама.

Центральные обратные клапаны различаются величиной перепада давления, надежностью и долговечностью работы в зависимости от типа запорного устройства, из которых

наиболее распространенными являются: *тарельчатый* (в клапанах ЛМ11, ЛМ98 и других конструкции Гипроникель); *шаровой* (в клапанах ОКЛЗ и др.); *золотниковый* (в клапанах ОКЗ1 конструкции Московского горного института и Докучаевского флюсо-доломитного комбината) и *лепестковый* (в клапанах КЛ1 конструкции Соколовско-Сарбайского ГОКа).

Надежность работы обратных клапанов зависит от чистоты продувочных каналов лап, полостей опор шарошек и бурильных штанг, их долговечность характеризуется количеством долот, отработанных с одним обратным клапаном.

При стендовых исследованиях аэродинамических характеристик обратных клапанов, выполненных МГИ, минимальный перепад давления перед долотом имели обратные клапаны ЛМ11 и ОКЗ1, а максимальный — шаровой клапан ОКЛЗ, работавший в режиме вибратора.

Обратные клапаны золотникового и тарельчатого типов, показавшие минимальный перепад давления, надежно предотвращали зашламование ниппельной полости долота. В обводненных породах проходка на долото с такими клапанами возросла на 20—30 %.

Общим недостатком центральных клапанов: не исключают проникновение шлама в каналы лап через опоры (в зазоры между цапфой, корпусом шарошки и телами качения), в результате чего шарошки заклиниваются и долото преждевременно выходит из строя. При значительной обводненности пород долота с центральным обратным клапаном зашламовываются через 2—3 мин.

Комбинированные клапаны конструкции Гипроникель ЛМ129 (для долот диаметром 214 и 243 мм) и ЛМ159 (для долот диаметром 243, 269, 320 мм) не имеют указанного недостатка. Во время бурения 20—30% продувочного агента поступает в продувочные каналы лап, предотвращая зашламовывание опор шарошек, одновременно охлаждая их и смазывая. В случае прекращения подачи продувочного агента тарелка клапана с помощью пружины прижимается к крышке и во внутренних полостях центрального сопла и ниппеля долота образуется воздушная подушка. Проходка на долото с применением комбинированных клапанов более чем в 1,5 раза превышает средние показатели по бурению в сухих и обводненных породах. Изготовитель обратных клапанов ЛМ129 — Верхне-Сергинский долотный завод.

Недостатки долот с клапанами ЛМ129:

чувствительность к увеличению сопротивления в продувочных каналах лап в опоре, особенно при уменьшении зазоров между торцами шарошки и основанием цапфы при бурении, что обуславливает повышение перепада давления в клапане;

при расходе воздуха 0,42 м³/с и воды до 15 м/мин давление в магистральной превышает 0,6 МПа и происходят разрывы резиновых рукавов;

требуется дополнительная расточка ниппельной полости долота (для получения в элементах долота проходных сечений необходимых размеров) и жесткие требования к соосности резьб ниппеля и центрального сопла.

Применение клапана ЛМ159 исключает первый недостаток, однако перепад давления на нем также высок и требуются дополнительная расточка ниппельной полости и соосность резьб.

Обратный накидной клапан ЛМ158 конструкции Гипроникель и ВНИИБТ снижает перепад давления за счет увеличенного проходного сечения.

Обратный клапан ОКУЗ шарового типа устанавливается в ниппельной полости долота, крепится с помощью резьбы к центральному соплу (аналогично ЛМ129) и уплотняется по торцу ниппеля долота резиновой прокладкой. Изготовитель клапанов ОКУЗ — Дрогобычский долотный завод, а ЛМ158 — опытный завод Гипроникель. Обратный клапан ЛМ158 под шифром КОН2 (клапан обратный накидной) изготавливается заводом для комплектования всех типов долот диаметром 243 (244,5) мм.

Применение обратных клапанов КОН2 на рудниках НКГОК и ИнГОК способствовало увеличению проходки на долото в 1,26 и 1,21 раза, а на рудниках Оленегорского ГОКа ПО Печенганикель и «Апатит» за счет снижения расхода шарошечных долот и увеличения производительности буровых станков дало экономический эффект около 300 тыс. руб.

Маслоотделительные устройства. Способ подачи смазки к опорам шарошек, разработанный во ВНИИБТ, обеспечивает отделение масла и направление его к подшипникам с помощью маслоотражательной втулки, устанавливаемой в ниппельной полости долота и прикрепленной к центральному соплу.

Долото выполнено с центральным продувочным каналом и каналами в лапах для подачи к опорам воздуха и смазки. В центральный канал устанавливается втулка с боковыми отверстиями для подачи воздуха на забой. Отражатель втулки обеспечивает выделение масла из воздушного потока в ниппельной полости долота и скапливание его в кольцевой камере, откуда оно с воздухом поступает в продувочные каналы в лапах. Дополнительный отражатель препятствует разбрызгиванию масла воздушным потоком и попаданию его в центральный продувочный канал.

Долота с маслоотражательными втулками целесообразно применять при бурении скважин в необводненных породах с $f = 6 \div 12$, когда долота выходят из строя вследствие износа элементов опор шарошек. При отсутствии в центральном канале долота патрубков маслоотражательные втулки из капрона с

уплотнением устанавливались в канал. Одна втулка может быть использована с 20 долотами.

Левая резьба верхней части центральных сопел долот, а также во втулках предотвращает разворачивание втулок из-за вибрации при бурении.

Долота одного и того же размера выпускаются различными заводами с разными конструкциями центральных продувочных сопел. Поэтому для всех конструкций долот изготавливаются унифицированные маслоотражательные втулки. Увеличение стойкости опор шарошек и более равномерный износ вооружения и опор шарошек достигаются за счет интенсивной смазки и охлаждения элементов опоры в процессе бурения.

Долота с маслоотражательными втулками обеспечивают увеличение проходки на долото в 1,3—1,6 раза, увеличение механической скорости бурения на 11—20%.

Применение маслоотражательных втулок особенно эффективно в штыревых долотах.

Шарошечные долота зарубежных фирм условно можно разделить на 4 группы: малых размеров (73—142,9 мм), средних (146—288,6 мм), больших (244,5—381 мм) и сверхбольших (406,4—660,4 мм). Наиболее широко применяются трехшарошечные долота диаметром 155,6—444,5 мм, а наиболее предпочтительными из них являются долота диаметром 311,1 и 200 мм, а также 222,2, 250,8, 269,9, 215,9, 279,4, 381 и 444,5 мм.

Долота с фрезерованным зубчатым вооружением выпускаются диаметром 73—660,4 мм, а с твердосплавным — от 88,9 до 444,5 мм, причем последние составляют 81% всех типоразмеров анализируемых долот.

Основная тенденция в современном долото-строении за рубежом — сокращение типажа долот вследствие широкого применения для вооружения шарошек твердосплавных зубков с новыми формами породоразрушающей поверхности, изготовленных из карбида вольфрама. Такие зубки в широком ассортименте выпускает корпорация «Дженерал электрик» (США).

Наиболее широкий ассортимент зубков выпускает фирма «Рид» (США) (10 форм). Для бурения в мягких, средней твердости и твердых полуабразивных и абразивных горных породах выпускаются долота и их модификации с тремя формами зубков, отличающихся породоразрушающей поверхностью: от зубков с острой кромкой, запрессованных с большим вылетом, до зубков с полусферической головкой с различным радиусом сферы.

Большинство типов зарубежных долот выпускается на стандартной опоре, выполненной по схеме: ролик — шарик — опора скольжения — упорная пята скольжения (Р-Ш-С-УПС).

В последние годы для повышения стойкости опоры фирмы «Хьюз» и «Дрессер-Секьюрити» предложили дополнительный упорный подшипник скольжения, т. е. опора выполняется по схеме ролик—шарик—дополнительный упорный подшипник скольжения—радиальный подшипник скольжения (Р-Ш-С-С-УПС), что позволило разгрузить шариковый подшипник опоры и повысить долговечность работы долота.

Для лучшего охлаждения новой конструкции опоры в долотах фирмы «Хьюз» и «Дрессер-Секьюрити» увеличены проходные сечения воздухоподводящих каналов в цапфах лап и их число, которые подведены непосредственно в большой роликовый подшипник и к подшипникам скольжения.

В долотах малых размеров опора выполнена по схеме: опора скольжения—шарик—опора скольжения (С-Ш-С), а в сверхбольших размерах—ролик—шарик—ролик (Р-Ш-Р).

Для бурения в мягких и средних горных породах с низким сопротивлением на раздавливание (55—103 МПа) шарошки долот армируются зубками двух-трех типов с коническо-клиновидной закругленной вершиной, которые обеспечивают максимально возможный вылет зубка над телом шарошки и шаг между зубками. Долота в этом случае выполнены с максимальным смещением осей шарошек в плане, с некоторым углом наклона оси цапфы к оси долота. Центральная часть скважины разрушается вершинами шарошек. Такая геометрическая форма шарошек обеспечивает наибольшую скорость бурения и повышает проходку на долото.

Для бурения в средней твердости горных пород с прочностью на раздавливание 55—138 МПа предназначены долота, шарошки которых армируются тремя-четырьмя типами зубков с конусно-клиновидной формой породоразрушающей поверхности с большим углом конуса при вершине (до 90°) и увеличенным радиусом скругления головки зубка. В ряде случаев рабочая часть зубка может быть выполнена двумя коническими поверхностями, что повышает его прочность. Фирмы «Хьюз», «Дрессер-Секьюрити» и «Рид» используют зубки с полусферической рабочей поверхностью и максимально возможным радиусом сферы.

В ряде конструкций долот зарубежные фирмы применяют зубки максимально возможных диаметров, запрессованные с максимальным вылетом и шагом, исходя из условий прочности зуба и тела шарошки. Так, шарошки долота НН77 диаметром 222,2 мм фирмы «Хьюз» армированы зубками с постоянным шагом, диаметр и вылеты которых следующие: 11,3 и 4 (3,5); 12,9 и 5; 14,3 и 5 мм. Фирма «Дрессер-Секьюрити» путем оригинального расположения зубков на венцовых поверхностях использует для армировки зубки меньших размеров, что повышает

удельное сопротивление на забой и увеличивает скорость бурения. В частности, долота Н8 и Н10АР диаметром 250,8 мм оснащены зубками с соотношением диаметра и вылета 9,2/3,5, 11,3/3,8, 12,8/4,5 мм, т. е. меньше, чем в долотах диаметром 222,2 мм. Кроме того, они сгруппированы на венцах с постоянным шагом внутри групп и с увеличенным шагом между ними. В долотах ряда фирм, в частности «Хьюз» и «Дрессер-Секьюрити», между зубками прорезаны пазы, улучшающие очистку забоя. Шарошки самоочищающиеся с небольшим смещением осей в плане. Центральную зону скважины разрушают вершины всех трех шарошек.

Для бурения в твердых и очень твердых породах с пределом прочности на одноосное сжатие 100 МПа и выше, шарошки долот армируются 2—3-миллиметровыми зубками в зависимости от формы их головок, представленных либо сопряжением двух конусов с углами при вершинах 44° у нижнего конуса и 120° — у верхнего со скругленной вершиной, либо с полусферической поверхностью, либо с поверхностью, образованной параболоидом вращения. Вылет этих зубков над телом шарошек и шаг между ними по венцам минимальный, центральная зона скважины разрушается вершинами всех трех шарошек. Шарошки долот этих двух групп, как правило, самоочищающиеся, за исключением фирмы «Дрессер-Секьюрити», которая поставляет долота Н10М-3 и Н10М-4 с самоочищающимися шарошками, предназначенные для бурения очень твердых горных пород. Смещение осей шарошек в плане минимально или отсутствует.

Зарубежные фирмы изготавливают шарошечные долота как с периферийной, так и с центральной схемами продувки, причем наиболее широко применяется периферийная симметричная схема, выполненная у всех долот диаметром 155,6 мм и выше. Фирмы «Хьюз» и «Дрессер-Секьюрити», «Рид», «Смит», «Сэндвик Коромант» поставляют долота только с периферийной схемой очистки забоя.

При бурении в обводненных труднобуримых горных породах рекомендуется скорость восходящего потока в затрубном пространстве доводить до 43 м/с. Для обеспечения столь высоких скоростей выпускаются буровые штанги различного диаметра (от 102 до 330 мм).

4.3. РЕЖУЩИЙ БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ

Примерно 30% взрываеваемой горной массы на карьерах обрушивается с использованием режущих долот. Перспективность их применения обуславливается большими объемами пород с коэффициентом крепости до 7 по М. М. Протодяконову, в кото-

рых режущие долота обеспечивают наиболее высокие технико-экономические показатели бурения.

Режущий инструмент классифицируется по ряду признаков, которые дают возможность систематизировать его и облегчают оценку отдельных параметров инструмента.

1. По способу удаления буровой мелочи из забоя: для бурения со шнековой очисткой скважин; для бурения с продувкой скважин воздухом. Способ очистки скважины оказывает существенное влияние на параметры инструмента.

2. По назначению: для бурения мягких пород ($f < 4$); для бурения пород повышенной крепости ($f < 7$). В более крепких породах имеет место интенсивный износ резцов и рациональная выборочная их замена. Использование долот с несъемными резцами в подобных условиях не обеспечивает необходимых технико-экономических показателей из-за низкой их стойкости.

3. По числу режущих лучей (перьев): двухлучевые (двухперые); трехлучевые, четырехлучевые; с круговым расположением резцов. Двухлучевые долота чаще имеют сплошное армирование режущей кромки и при шнековой очистке обеспечивают наименьший коэффициент перекрытия скважины. В трещиноватых породах целесообразно применение трехлучевых долот. Четырехлучевые долота и долота с круговым расположением резцов имеют большой коэффициент перекрытия скважины и рациональны для применения при бурении с продувкой.

4. По способу армирования твердым сплавом: армированный вставками по торцу; армированный по передней грани; армированный специальными несъемными резцами; со сменными резцами. Наибольшее распространение получил режущий буровой инструмент, армированный твердым сплавом по передней грани. Армирование может производиться пластинами твердого сплава типа ВК или трубчато-зернообразным твердым сплавом типа ТЗ. Перспективным на породах повышенной крепости является инструмент со сменными резцами.

5. По схеме обработки забоя: со сплошной схемой обработки забоя (долота, армированные по передней грани, долота НПИ со сменными резцами); с оставленным концентрических целников породы (долота КузПИ со сменными резцами).

6. По расположению резцов в линиях резания: дублированное (двухперые долота, армированные по передней грани, долота со сменными резцами НПИ и КузПИ); недублированное; смешанное. Ввиду неодинаковых условий работы резцов, расположенных на разных радиусах вращения, рациональна и различная степень их дублирования. Наиболее легкие условия имеют резцы у оси вращения и они могут не дублироваться; наиболее тяжелые — периферийные резцы. Дублирование резцов приводит к снижению эффективности работы долота и в общем случае является нежелательным.

7. По форме режущей кромки и расположению резцов по высоте: со сплошной режущей кромкой (бесступенчатая форма забоя); с прерывистой режущей кромкой (ступенчатая форма забоя); с превышением резцов в каждой последующей линии над предыдущими (ступенчатая форма забоя). Форма образуемого забоя оказывает существенное влияние на сопротивляемость породы разрушению. Она зависит от формы режущей кромки или от расположения резцов по высоте.

Режущий инструмент для бурения скважин со шнковой очисткой

Долота для бурения в мягких породах. Специфика бурения в мягких породах вытекает из больших скоростей подачи инструмента на забой. Опыт показывает, что скорость бурения ограничивается не возможностями разрушения породы на забое скважины, а интенсивностью очистки. Поэтому в этом случае режим удаления буровой мелочи из забоя выступает на передний план, а требование о минимальных высоте и коэффициенте перекрытия приобретает первостепенное значение. При бурении по мягким породам резцы снимают крупную стружку, достигающую по глубине 10 мм и более. Поэтому возникает необходимость защиты корпуса от износа на значительной высоте и по всей длине режущей кромки.

Этим условиям отвечают режущие долота НПИ2 и типа РК (табл. 4.7). Долото РК4М состоит из хвостовика 1, съемного корпуса 2 и соединительного пальца (рис. 4.2, а). Применение съемного корпуса упрощает конструкцию и технологию изготовления и обеспечивает увеличение срока службы долота, поскольку один хвостовик используется на нескольких съемных корпусах. Ступенчатая форма режущей кромки долота увеличивает его устойчивость и создает разрыв сплошности забоя. Центральный паз его составляет 30 мм. Коэффициент перекрытия скважины инструментом снижен до 0,26.

Долота типа РК изготавливаются в условиях карьеров ЦЭММ и РРЗ и имеют широкое применение. Только в ПО «Востсибуголь» ими ежегодно пробуривается более 200 тыс. м скважин. Они обеспечивают скорость бурения в 1,2 раза большую по сравнению с долотами НПИ2. Изготовитель долот НПИ2 (заводской шифр СБВ-2-23-03М2) — Карпинский машиностроительный завод.

Долота для бурения в породах повышенной крепости. Специфика режущего инструмента таких долот вытекает из необходимости создания высокого удельного давления на забой. Поэтому геометрия инструмента в данном случае выступает на перед-

Таблица 4.7
Техническая характеристика режущих долот типа РК и РД

Показатели	НПИ2	РКАМ	8РД160Ш	10РД160Ш	3РД215,9	1РД244,5	3РД244,5
Диаметр скважины, мм	160	160	165	164	216	245	245
Тип резцов	—	—	ШБМ2С*	ШБМ2С	ШБМ2С	ШБМ2С	ШБМ2С
Число резцов	2	—	4	4	8	8	10
Число линий резания	2	—	4	3	6	7	6
Скорость бурения, м/мин: механическая	—	<2,5	<1,5	<1,5	<2,5	<1,2	<1,5
техническая	—	<1,0	<0,6	<0,6	<1,5	<0,7	<0,9
Способ очистки скважины	—	—	Шнековый	—	—	Продувка	—
Коэффициент крепости пород f	—	<4	<6	<7	<7	<7	<7
Стойкость, м: корпуса	—	<400	<2000	<2000	<3000	<2000	<2000
хвостовика	—	<2500	<2000	—	—	<4000	—
Расход резцов, шт/м	—	—	0,012	0,012	0,03	0,03	0,03
Основные размеры, мм:							
высота	136	145	158	167	222	275	255
толщина	15	20	35	35	204	234	236
ширина	—	160	160	160	216	245	245
Масса, кг	—	3,2	4	4,5	15	29	20

* У резцов ШБМ2С укорочена державка.

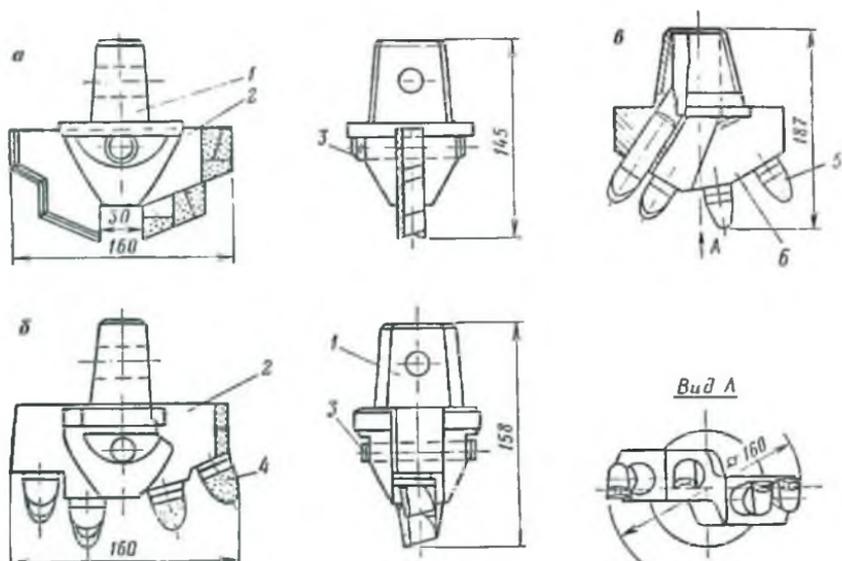


Рис. 4.2. Режущие долота для бурения со шнековой очисткой скважин: а — РК4М, б — ВРД160Ш; в — 10РД160ШП; 1 — хвостовик; 2 — съемный корпус; 3 — дополнительный палец; 4, 5 — резец типа ШБМ2С укороченный; 6 — литой корпус

ний план. Учитывая ограниченность осевого усилия подачи, необходимо обеспечить максимальное сокращение линии контакта с забоем при сохранении его ступенчатости. Сокращение линии контакта инструмента с забоем наиболее просто достигается при применении сменных резцов. Поэтому переход на буровые долота со сменными резцами является одним из основных направлений расширения области эффективного использования станков режуще-вращательного бурения.

На ряде угольных и особенно россыпных месторождений станки режуще-вращательного типа используются для бурения скважин по гравийно-галечным отложениям. Применяемые на станках серийные режущие долота НПИ2 не отвечают условиям бурения в таких породах, не учитывают специфические особенности их строения и свойств, а поэтому обуславливают низкие технико-экономические показатели работы станков. Бурение осложняется с одной стороны высокой крепостью и абразивностью гравийно-галечных пород, с другой — неоднородностью материала, которая вызывает повышенную динамичность работы режущего бурового инструмента. Вибрация бурового става приводит к сколу твердосплавной армировки долота, а следовательно, к сокращению срока службы инструмента. В большинстве случаев скол происходит в первую очередь по периферии

режущей кромки долота. Таким образом, первоначальный износ долота происходит за счет скола твердого сплава, а окончательный — за счет абразивного истирания.

Достижение удовлетворительной эффективности бурения в гравийно-галечных породах возможно только при использовании соответствующих режущих долот со сменными резцами. Сменность резцов позволяет поддерживать долото в работоспособном состоянии за счет замены изношенных резцов, а также варьирования их расположения в линиях резания.

Шнековый способ очистки скважины допускает наличие в буровой мелочи весьма крупных фракций, достигающих в поперечнике 35 мм. Поэтому в конструкции долота для бурения гравийно-галечных пород должна учитываться неоднородность материала с возможностью разрушения его не по гравию и гальке, а по цементирующим связям, отличающимся наименьшей прочностью. С этой целью долото должно иметь минимальное количество резцов, обеспечивающих максимальный эффект отделения от массива неразрушенных твердых включений. Сокращение числа резцов способствует также увеличению удельного давления на забой. Для облегчения поступления крупных фракций буровой мелочи на шнек необходимо долоту придать обтекаемую форму, максимально уменьшить его высоту и коэффициент перекрытия сечения скважины. Применительно к условиям бурения гравийно-галечных пород разработаны долота типа 8РД160Ш (см. табл. 4.7), выпуск которых освоен Иркутским политехническим институтом совместно с Черемховским РРЗ ПО «Востсибуголь».

Долото 8РД160Ш (рис. 4.2, б) предназначено для бурения в слабо цементированных галечниках и гравийно-галечных отложениях, может применяться также для бурения в однородных абразивных и хрупких породах, например, песчаниках. Для увеличения удельных нагрузок на забой и достижения эффекта объемного разрушения число резцов в долоте сокращено до четырех. В долоте принята сплошная схема обработки забоя при несимметричном недублированном расположении резцов и последовательном превышении их друг над другом. Резцы расположены так, что достигается равенство моментов на правом и левом перьях долота. Это способствует устойчивости долота при работе. При сокращении числа резцов и линий резания учитывалась неоднородность материала и вероятность разрушения его не по гравию и гальке, а по цементирующим связям.

Долото 10РД160 имеет литой корпус и изготавливается в двух вариантах: 10РД160Ш — для шнековой и 10РД160ШП (рис. 4.2, в) — для шнекопневматической очистки скважин. Опыт применения режущих долот типа РД160Ш на карьерах свидетельствует о их высокой эффективности. Так, на разрезе «Восточный» ПО «Востсибуголь» применение таких долот позволи-

ло снизить расход инструмента в 12,6 раза и повысить производительность станков на 25%. Годовая экономия от их применения превысила 56 тыс. руб.

Режущий инструмент для бурения скважин с продувкой

В настоящее время выпуск таких долот организован ИПИ совместно с Черемховским РРЗ ПО «Востсибуголь». Сравнительные экспериментальные исследования работы режущих и шарошечных долот в производственных условиях свидетельствуют о том, что при бурении по песчанникам с коэффициентом крепости $f < 7$ переход на режущие долота обеспечивает увеличение скорости бурения не менее чем в 1,5 раза и снижение энергоемкости процесса в 2—2,5 раза. При этом выход крупных фракций буровой мелочи (+3 мм) увеличивается в 1,9 раза.

Режущие долота для бурения скважин с продувкой воздухом появились в результате исследований, направленных на повышение эффективности применения станков шарошечного бурения. Прошли испытания долота НИИОГР типа ДР214 и ДРВ, Кузбасского КБТ-1У и Новочеркасского — НПИ6В/214 политехнических институтов. С 1965 г. применяются режущие долота Иркутского политехнического института типа РД (см. табл. 4.7). Созданы конструкции долот 1РД190, 1РД215,9, 3РД215,9, 1РД244,5 и 3РД244,5.

Долото 3РД215,9 (рис. 4.3, а) предназначено для бурения в породах повышенной влажности в сочетании со шнекопневматической очисткой скважин и может быть использовано также для бурения с продувкой скважин воздухом. Оно разработано по заданию СКБ ИГД им. А. А. Скочинского для станка комбинированного бурения СБШК-200 применительно к условиям КАТЭК. В долоте принята сплошная схема обработки забоя с дублированием резцов во внутренней и внешней линиях резания. Дублирование внутренних резцов имеет целью повышение надежности центрирования бурового става, который при верхнем расположении вращателя станка обладает недостаточной жесткостью.

Долото 1РД244,5 (рис. 4.3, б) предназначено для бурения в многолетнемерзлых породах повышенной влажности и может использоваться также для бурения в породах с обычным температурным режимом. В долоте принято четырехлучевое несимметричное расположение резцов со сплошной схемой обработки ступенчатого забоя.

Режущие долота типа РД с продувкой применяются в ПО «Востсибуголь», «Якутзолото», «Северовостокзолото», «Якуталмаз».

Долота 3РД244,5 (см. рис. 4.3, в) внедрены на карьерах ПО «Якуталмаз». Применение их в соответствующих услови-

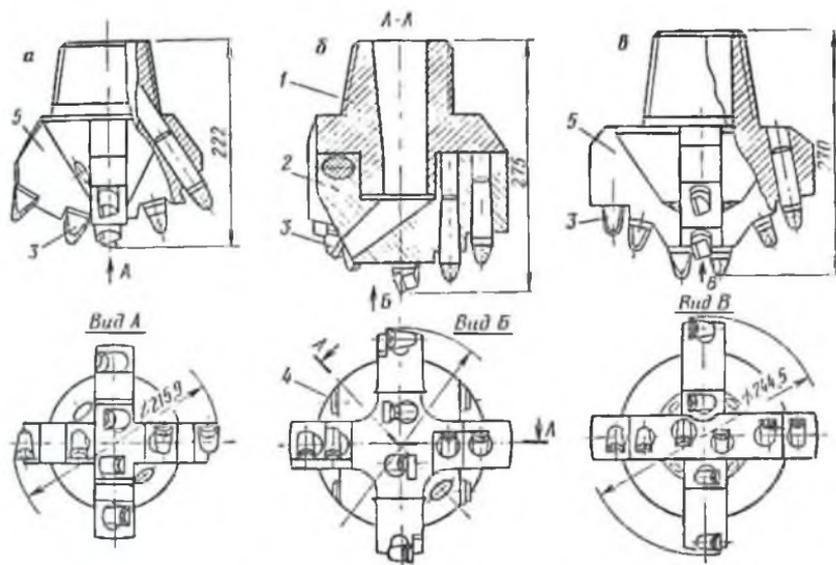


Рис. 4.3. Режущие долота для бурения с продувкой:

а — 3РД215,9; б — 1РД244,5; в — 3РД244,5; 1 — хвостовик; 2 — съемный корпус; 3 — сменный резец типа ШБМ2С; 4 — замковый палец; 5 — корпус долота

ях позволило увеличить сменную производительность станков в 2,2 раза, сократить расход долот в 20 раз и получить годовую экономию по карьере свыше 136 тыс. руб.

Заказы на режущие долота типа РД для бурения с продувкой диаметром 215,9, 244,5 и 269,9 мм следует направлять на кафедру горных машин Иркутского политехнического института.

4.4. КОМБИНИРОВАННЫЙ БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ

К комбинированному относят буровой инструмент, сочетающий в себе не менее двух породоразрушающих органов, которые объединены общей конструктивной схемой, обеспечивающей их одновременную или поочередную работу. Комбинированное воздействие на породу различных типов рабочих органов является наиболее перспективным, оно позволяет значительно увеличить эффект разрушения породы и повысить стойкость инструмента.

Исходя из возможных схем воздействия на забой и сочетаний рабочих органов, комбинированный буровой инструмент можно классифицировать по ряду отличительных признаков.

1. По назначению: для бурения пород выше средней крепости ($f > 14$), средней крепости ($f = 10 \div 14$) и ниже сред-

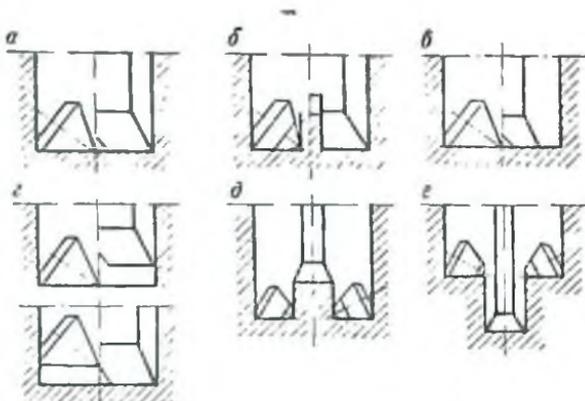


Рис. 4.4. Принципиальные схемы комбинированного воздействия на забой: а, б, в — одновременное; г — поочередное; д, е — раздельное

ней крепости ($f < 10$). Крепость пород влияет на выбор породоразрушающих органов комбинированного долота.

2. По принципу действия: термоударный, термощарошечный, ударно-шарошечный, режуще-ударный и режуще-шарошечный. Принцип действия комбинированного долота определяется сочетанием его породоразрушающих органов, которое в свою очередь зависит от условий бурения.

3. По способу воздействия рабочих органов на забой: с одновременным (рис. 4.4, а, б, в), поочередным (рис. 4.4, г) и раздельным (рис. 4.4, д, е) воздействием рабочих органов на забой.

Одновременное воздействие рабочих органов по всему забою целесообразно при высокой крепости пород с целью увеличения подводимой мощности и достижения разрушающих напряжений. Поочередное воздействие на забой породоразрушающих органов комбинированного долота целесообразно при изменении свойств и крепости пород по глубине скважины. Разделение участков забоя между рабочими органами преследует цель создания наиболее благоприятных условий для работы каждого органа.

4. По форме образуемого забоя: бесступенчатая (см. рис. 4.4, а, в, г), с центральным чечиком породы (см. рис. 4.4, б, д), с опережением центральной части забоя (рис. 4.4, е).

5. По тилу взаимной связи породоразрушающих органов: с взаимным перемещением рабочих органов и без него.

Термоударный и термощарошечный буровые инструменты представляют собой сочетание огневой горелки и пневмоударника или шарошечного долота.

Ударно-шарошечный буровой инструмент сочетает в себе пневмоударник и шарошечное долото. В течение ряда лет ИГД им. А. А. Скочинского проводились стендовые и промышленные исследования работы опытных образцов комбинированных долот типа УШ214. На Михайловском карьере КМА испытывались комбинированные долота КПШ1, представляющие усовершенствованную конструкцию долот УШ214. Для увеличения стойкости ударной коронки было предусмотрено уменьшение длины ее лезвия до 135 мм и долото работало по схеме рис. 4.4, в. Испытания этих долот показали возможность увеличения производительности при бурении по весьма крепким железистым кварцитам в 2,5 раза и снижение стоимости бурения на 26—42 %.

Режуще-ударный буровой инструмент испытывался ИГД МЧМ СССР и НИПИГормашем в варианте сочетания пневмоударников с насадками в виде кольцевых режущих коронок. В породах с коэффициентом крепости $f=2 \div 14$ было достигнуто увеличение механической скорости бурения на 30% и повышение стойкости ударной коронки К100В в 1,7—2 раза.

Режуще-шарошечный буровой инструмент разрабатывался НИИОГРом, Иркутским и Кузбасским политехническими институтами. Долота Иркутского политехнического института РШД190, РШД215,9 и 1РШД215,9 (изготовитель — Верхне-Сергинский долотный завод) прошли широкую промышленную проверку в ПО «Красноярскуголь», «Востсибуголь», «Якуталмаз» и Северовостокзолото». Новый вариант долота РШД244,5ТЗ разработан ИПИ совместно с СКБ СГО и проходит промышленные испытания.

Применение комбинированного режуще-шарошечного бурового инструмента целесообразно при бурении в породах сложного строения с наличием в толще мягких, вязких глиносодержащих пород и крепких прослоек. В мягких породах обработку забоя следует производить режущим инструментом, как наиболее производительным, а в крепких — шарошечным.

Технические характеристики комбинированных режуще-шарошечных долот типа РШД приведены в табл. 4.8.

Комбинированное долото (рис. 4.5) состоит из корпуса с двумя шарошками и подвижного режущего органа, армированного пластинками твердого сплава или сменными резами. Режущий орган перемещается в пазах корпуса и от выпадения удерживается замковыми пальцами. Осевое усилие на режущий орган передается через пружину, величина предварительного сжатия которой регулируется гайкой. При отсутствии нагрузки на режущем органе усилие пружины на него не передается, что облегчает снятие его при замене резцов или перезаточке.

Опыт отработки комбинированных долот типа РШД в ПО «Востсибуголь», «Якуталмаз», «Северовостокзолото» и других

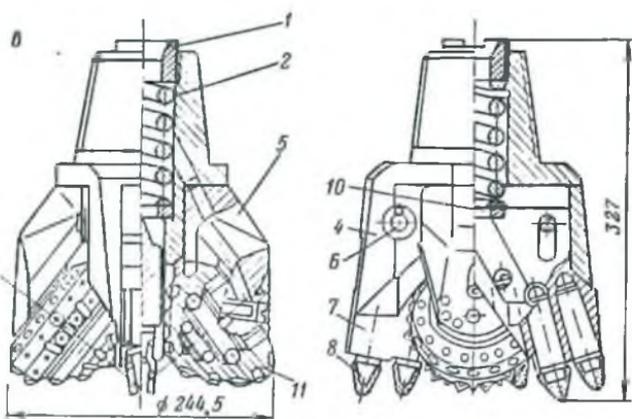
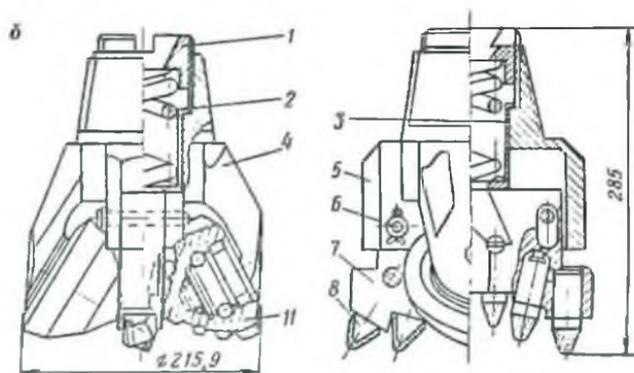
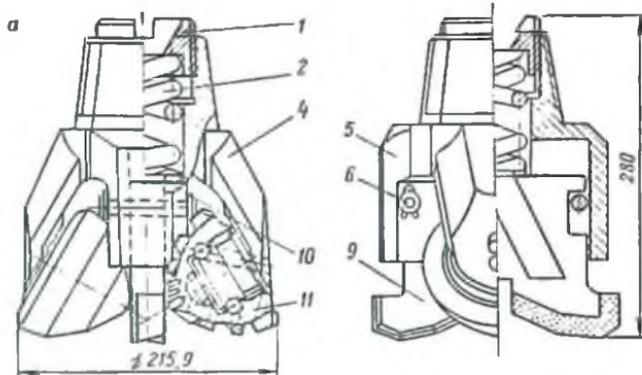


Таблица 4.8

Техническая характеристика комбинированных режуще-шарошечных долот

Показатели	РШД190	РШД215,9	1РШД215,9	РШД244,5ТЗ
Диаметр скважины, мм	190	216	216	246
Тип резцов	—	—	ШБМ2С*	ШБМ2С
Тип шарошек	СТ	СТ	Г	ТЗ
Число резцов	—	—	5	6
Число линий резания	—	—	5	6
Скорость бурения, м/мин:				
механическая	≤1,0	≤1,2	≤1,0	≤1,0
техническая	≤0,6	≤0,7	≤0,6	≤0,6
Коэффициент крепости пород <i>f</i>	7—12 попеременно с более мягкими			
Стойкость, м:				
режущей коронки	≤600	≤600	—	—
съемного корпуса шарошек	≤1500	≤1800	≤3000 ≤1500	≤3000 ≤1500
Расход резцов, шт/м	—	—	0,012	0,014
Основные размеры, мм:				
высота	275	280	285	327
диаметр по шарошкам	190	216	216	246
Масса, кг	23	26	27	40

Примечание. У резцов ШБМ20* укорочена державка.

свидетельствует о высокой их эффективности. В породах с коэффициентом крепости от 4 до 12 скорость бурения комбинированным долотом в 1,5—2 раза выше, чем шарошечным. Энергоемкость процесса бурения снижается в 2 раза, расход инструмента — в 1,5—2,5 раза, значительно возрастает крупность буровой мелочи. Годовая экономическая эффективность на станок составляет 20—40 тыс. руб.

В комбинированных долотах Э239К конструкции УкрНИИпроект предусмотрено разрушение центральной части забоя опережающей коронкой пневмоударника, а периферийной — шарошками. При такой схеме обработки забоя создаются благоприятные условия для работы шарошечного и ударного органов долота. Известно, что в крепких породах неблагоприятные условия работы имеют вершины шарошек, а для ударной коронки характерен интенсивный износ периферийной части

Рис. 45. Комбинированные режуще-шарошечные долота:

а — РШД215,9; б — 1РШД215,9; в — РШД244,5ТЗ. 1 — гайка; 2 — пружина; 3 — стакан; 4 — лапа шарошки; 5 — лапа режущего органа; 6 — замковый палец; 7 — съемный корпус; 8 — сменный резец; 9 — съемный режущий орган; 10 — упорная шайба; 11 — шарошка

Таблица 4.9

Техническая характеристика комбинированных ударно-шарошечных долот

Показатели	УШ214	КЛШ1	Э239К	Гипроруд-маш
Диаметр скважины, мм:				
по шарошкам	214	214	214	215
по коронке	200	135	55—85	100
Тип пневмоударника	М23	М48 М32К	УУ7	М1900
Давление сжатого воздуха, МПа	0,5—0,6	0,5—0,6	0,5—0,6	0,5—0,6
Расход воздуха, м ³ /с	0,3—0,33	0,33	0,25—0,3	0,33
Энергия удара, Дж	140	100—140	70	70
Допустимое осевое усилие, кН:				
на шарошки	200	220	250	150—170
на коронку	—	1500—5000	3000	—
Опережение центрального забоя, мм	—	—	75—90	—
Длина долота, мм	875	—	10—28	—
Масса долота, кг	106	105	72	115

лезвия. Ступенчатость образуемого забоя способствует улучшению условий разрушения породы.

Техническая характеристика комбинированных ударно-шарошечных долот приведена в табл. 4.9.

4.5. ДОЛОТА И ШТАНГИ ДЛЯ УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ

Корпус долот для ударно-вращательного бурения состоит из головки 2 и хвостовика 1 (рис. 4.6). Хвостовик служит для передачи импульса от ударника головке и через твердосплавное вооружение 3 — забоя скважины для восприятия крутящего момента. Хвостовик и головка долота выполняются сплошными. Соединение хвостовиков долот с пневмоударником — шпоночное (коронки БК105, БК155) либо шариковое с байонетным затвором (К105, К105Ш, К125, К125Ш). Последнее соединение обеспечивает быструю замену долота, а благодаря уменьшению потерь энергии на трение в соединении более высокую скорость бурения.

По конструктивному исполнению формы головок долота подразделяются на *лезвийные* и *штыревые* (со сплошной забойной поверхностью). Головка долота оснащается твердосплавными вставками различных форм и размеров (ГОСТ 880—75). Материал вставок — ВК15, реже ВК11В и ВК8В. Угол заточки их 110°.

По способу удаления буровой мелочи из забоя скважины различают долота с *центральной*, *внецентренной* и

внешней продувкой. При внешней продувке струя воздуха выбрасывается из каналов передней головки пневмоударника между лезвиями долота к забою скважины, минуя корпус долота (внутренние каналы отсутствуют). В долотах с центральной и внецентренной продувкой предусматриваются каналы.

Лезвия долот, как правило, оснащаются пластинками твердого сплава формы Г11, Г13 и могут иметь неполное и прерывистое, а также сплошное армирование (в случае оснащения одного лезвия несколькими твердосплавными вставками). В ряде конструкций долот лезвия оснащаются цилиндрическими твердосплавными вставками формы Г15 с клиновидной рабочей поверхностью (прерывистое армирование).

Долота с одним лезвием просты в изготовлении и легко затачиваются. Высокая энергия удара на лезвие долота обеспечивает большую скорость бурения, однако в процессе бурения (особенно по абразивным породам) диаметр долота уменьшается, образуется обратный конус и долото заклинивается. Заклинивание происходит также при бурении по трещиноватым породам.

Многолезвийные долота могут быть с опережающим лезвием и без него. Долота с четырьмя лезвиями могут быть крестовыми и с Х-образным расположением лезвий. Долота с тремя и четырьмя лезвиями износоустойчивы, хорошо формируют стенки скважины по диаметру и почти не заклиниваются при бурении трещиноватых пород. Их недостатки: трудность заточки лезвий, относительно небольшая скорость бурения из-за небольшой удельной энергии удара на единицу длины лезвия долота. Однако благодаря большой износоустойчивости рейсовая проходка значительно выше, чем у однолезвийных (табл. 4.10).

Долота с опережающим лезвием БК105 (см. рис. 4.6) нашли широкое применение. Их достоинства — удобства при забуривании, работа основных лезвий облегчена созданием в центре забоя дополнительной открытой поверхности.

Долота К105 и К125 с четырьмя лезвиями в центральной части имеют выемку, в которой при бурении образует-

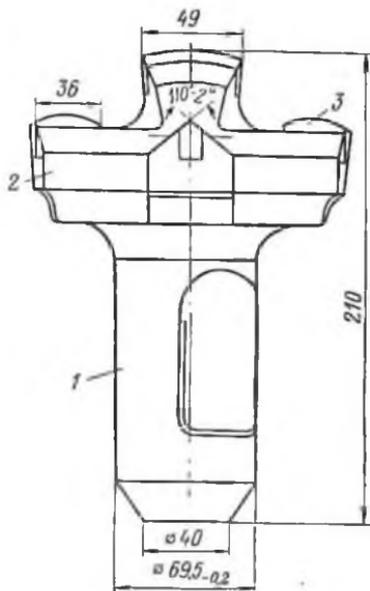


Рис. 4.6. Долото БК105 для ударно-вращательного бурения

Таблица 4.10

Ориентировочная стойкость долот (м)

Долото	Коэффициент крепости пород <i>f</i>						
	4—6	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16	16—18
БК105	460	140	100	60	30	23	12
К105К	1000	420	200	130	60	40	24
БК125	400	140	60	40	30	20	12
К125К	1000	420	200	120	80	40	36
БК155	400	200	126	93	60	36	25
К160К	—	—	—	—	120	—	—

ся керн, разрушаемый цилиндрической твердосплавной вставкой со сферической рабочей поверхностью, расположенной на дне выемки. Энергоемкость разрушения такими долотами по сравнению с однолезвийными ниже, а скорость бурения выше.

Штыревые долота армируются цилиндрическими вставками твердого сплава со сферической рабочей поверхностью. Рабочая поверхность долота может быть и плоской. На забойной части и боковой поверхности головки долота имеются каналы для удаления буровой мелочи, число и форма которых могут быть разнообразными. Рабочая поверхность долота каналами разделена на отдельные участки, имеющие форму лепестков. Размеры твердосплавных вставок, расположение их и число зависят от диаметра долота и выбираются из расчета поражения всего забоя скважины.

Достоинства таких долот: не требуется переточка (долота одноразового пользования), так как в процессе бурения рабочие части коронки истираются, обнажая твердый сплав, снижены динамические нагрузки при бурении в любых породах и особенно в трещиноватых.

Буровые штанги служат для передачи крутящего момента от вращателя к долоту и одновременно выполняют функции пода-

Таблица 4.11

Параметры буровых штанг для станков различных типоразмеров

Показатели	СБУ-100Г, СБУ-100П, СБУ-100Н	СБУ-125
Диаметр, мм:		
наружный	83	89
внутренний	71	77
Длина (полезная), мм	900	2930
Масса, кг	10,6	32,5
Заготовка (ГОСТ 8732—78)	Труба 89×3	Труба 89×6
Число штанг в комплекте	40	8

чи сжатого воздуха к пневмоударнику и забою скважины. Правильный выбор буровых штанг обеспечивает их прочность и износостойкость, минимальные гидравлические потери и необходимую скорость выноса буровой мелочи в затрубном пространстве (табл. 4.11).

5. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БУРОВЫХ СТАНКОВ

Общее уравнение сменной производительности бурового станка (м) имеет вид

$$P_c = v_T T_m = T_m / (1 + v t_b),$$

где v_T — техническая скорость бурения, м/с; T_m — машинное время работы станка за смену, с; v — техническая (чистая) скорость бурения, м/с; t_b — время, затрачиваемое на вспомогательные операции (ходы) и отнесенное к единице длины скважины (удельные затраты времени).

Из рис. 5.1 видно, что производительность P_c после заметного повышения асимптотически приближается к некоторому пределу, и дальнейшее повышение технической скорости бурения v (например, за счет интенсификации разрушения горной породы) не дает существенного роста P_c . Следовательно, в качестве основных направлений совершенствования конструкций станков можно наметить два. Первое — снижение потерь времени на вспомогательные операции за счет совершенствования конструкций вращательно-подающих органов буровых станков, увеличения длины штанг для бурения без наращивания, использования телескопических штанг, применения быстродействующих замковых соединений, увеличения скоростей подъема и спуска бурового става при маневровых операциях. Второе — интенсификация процесса разрушения пород за счет автоматизированного применения оптимальных режимов бурения, увеличения энерговооруженности станков, использования эффективных моделей долот, автоматизации станков.

Достигнутые и возможные величины механической скорости шарошечного бурения представлены на рис. 5.2. Характерно, что в области наиболее рационального использования шарошечных станков (породы с коэффициентом крепости $f=7 \div 14$) скорость бурения может быть повышена в 1,5—1,7 раза. Значительны перспективы повышения производительности станков бурения резанием и комбинированного.

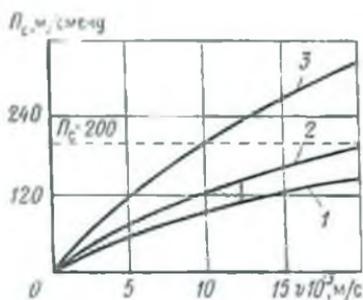


Рис. 5.1. Зависимость средней производительности шарошечного станка от технической (чистой) скорости бурения v и удельных затрат времени на вспомогательные операции t_3 :

1 и 2 — достигнутый уровень производительности ($t_n = 100 + 150$ с/м; заштрихована область горных пород с коэффициентом крепости $f = 6 + 16$); 3 — перспективный уровень производительности ($t_n = 24 + 30$ с/м)

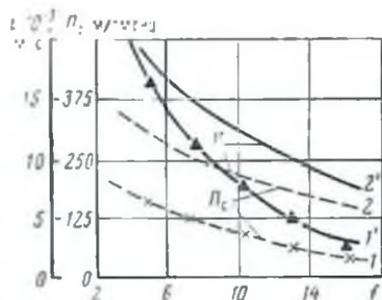


Рис. 5.2. Зависимость скорости бурения v и производительности P_c шарошечных станков от коэффициента крепости горных пород:

1 и 1' — достигнутый уровень; 2 и 2' — перспективный уровень (при оптимизации режимных и конструктивных параметров)

Сменная производительность станков вращательного действия на карьерах рассчитывается по формуле

$$P_c = T_c \eta / (1/v + k_x + t_3/l_d + c_b/L),$$

где T_c — продолжительность рабочей смены, с; η — коэффициент эффективного использования станка в течение смены; v — техническая (чистая) скорость бурения, м/с; k_x — конструктивный показатель, характеризующий удельные затраты времени на холостые хода вращательно-подающего органа (ВПО) станка в процессе бурения (зависит только от соотношения L/l_d), с/м; t_3 — время замены долота или сменных резцов, с; l_d — проходка на долото, м; c_b — продолжительность вспомогательных операций, проводимых после подъема става до начала бурения очередной скважины, с; L — глубина скважины, м.

В этой формуле сумма $k_x + t_3/l_d + c_b/L$ представляет собой удельные затраты времени на вспомогательные операции t_b .

Формулы для определения значений k_x :

при бурении в крепких породах, когда долото меняется в процессе проходки скважины ($l_d < L$),

$$k_x = t_n + t_c / 2l_w (1 + L/l_d);$$

при бурении одним долотом многих скважин ($l_d \gg L$)

$$k_x = t_n + t_b / 2l_w;$$

при бурении с одной штангой ($l_w = L$ или $l_w \gg L$):

$$k_x = t_w / L = 1/v_{нд},$$

где t_n — затраты времени на холостые хода вращательно-подающего механизма (в том числе выполняемые автоматически), не зависящие от длины штанги, с/м; t_c — время наращивания и разборки одной штанги, с; $l_{ш}$ — длина штанги, м; $t_{ш}$ — время подъема одной штанги из скважины, с; $v_{нд}$ — скорость подъема штанги из скважины, м/с.

Техническая (с учетом вспомогательных операций) скорость бурения

$$v_T = 1 / (1/v + k_x + t_3/l_d + c_v/L).$$

Время цикла (бурение одной скважины) в условиях карьеров в отличие от глубоких скважин (на нефть, газ и т. д.), где рейс или цикл отнесен к периоду работы одного долота, определяется по формуле

$$T_{ц} = L(1/v + t_n + t_3/l_d + t_c/l_{ш}) + c_v.$$

Общие виды зависимостей сменной производительности бурового станка P_c от интегрального показателя работоспособности бурового долота ψ , затрат времени на вспомогательные операции t_v и от фактора интенсификации процесса разрушения горных пород буровым инструментом θ_n приведены на рис. 5.3. Процесс разрушения горных пород может интенсифицироваться (фактор θ_n) путем увеличения осевого усилия на долото и скорости вращения долота, применением наддолотных интенсификаторов пневмо- или гидроударного видов и др.

При отсутствии затрат времени на вспомогательные операции и потерь скорости из-за износа долот производительность станка изменится приблизительно пропорционально технологической скорости бурения (кривая 1 на рис. 5.3, а). Однако практически величины t_v значительны, и зависимость $P_c(\theta_n)$ следует по кривой 2. При этом в некрепких породах в зоне технической возможного увеличения θ_n максимум производительности может отсутствовать. В крепких и абразивных породах становятся значительными потери времени из-за износа и замены долот, что вместе с падением темпа роста скорости бурения из-за насыщения процесса разрушения породы приводит к появлению экстремума производительности (кривая 3, точка $\theta_{п0}$ на рис. 5.3, а).

Влияние длительности вспомогательных операций t_v , а также показателя работоспособности долота ψ на положение экстремума производительности станка неодинаково. В последних моделях станков замена долота механизирована (или происходит редко), поэтому величиной t_3 можно пренебречь. Исключения составляют случаи применения режущих долот в породах высокой абразивности и шарошечных долот в крепчайших породах для бурения скважины значительной глубины, когда $l_d < L$ и необходимо учитывать время на замену долота t_3 . В большинстве же случаев можно принимать $t_3 = 0$, тогда изменение t_v

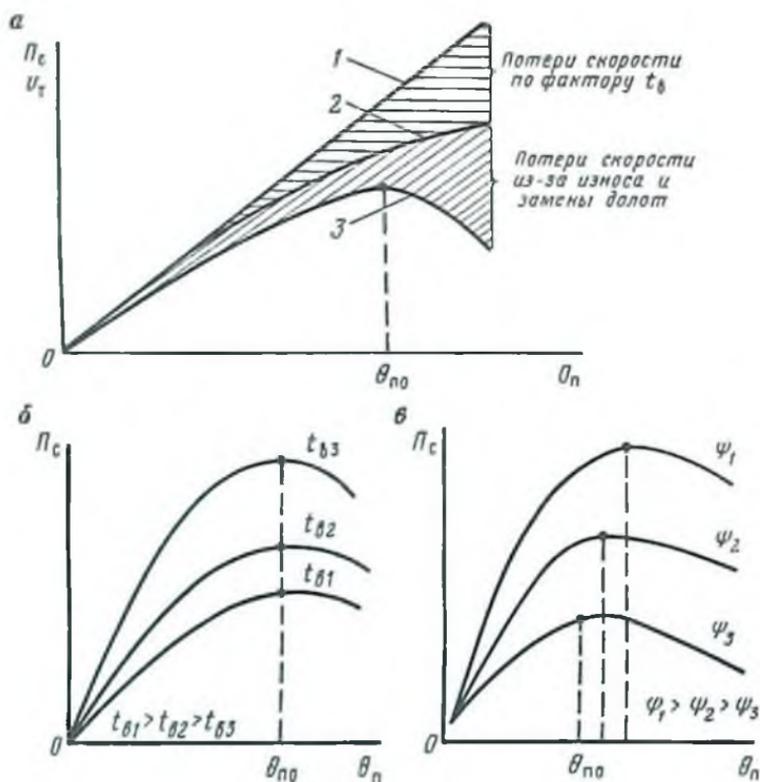


Рис. 5.3. Зависимость сменной производительности бурового станка P_c от факторов интенсификации процесса бурения θ_n (а), затрат времени на вспомогательные операции t_b (б) и интегрального показателя работоспособности бурового долота ψ (в)

сказывается только на абсолютном значении $P_{c \max}$ (рис. 5.3, б). Изменение величины ψ (рис. 5.3, в) влияет и на режимные координаты экстремума и на абсолютное значение $P_{c \max}$.

Производительность бурового станка P_c и себестоимость бурения S взаимосвязаны. При высокой стойкости долот l_d можно пренебречь величиной отношения стоимости долота к его стойкости, и тогда величины S и P_c будут связаны гиперболической зависимостью

$$SP_c = A'',$$

где A'' — стоимость машинно-смены работы станка без сменных затрат на долота. Величина A'' зависит в основном от горно-геологических условий бурения, типоразмеров буровых станков и долот.

Таблица 5.1
Показатели шарошечного и ударно-шарошечного бурения скважин

Коэффициент крепости пород f	Скорость бурения, м/ч		Сменная производительность станка, м		Затраты на бурение 1 м скважины, руб.		Стойкость шарошечных долот, м
	без пневмоударника	с пневмоударником	без пневмоударника	с пневмоударником	без пневмоударника	с пневмоударником	
4	38	4	162	168	0,47	0,55	400
8	17	24	89,4	116	1,23	1,12	200
12	9	15	51,5	80	2,01	1,59	150
16	5	9	28,9	51	4,00	2,91	85
20	3	6	17,3	33	6,7	4,55	50

Таблица 5.2
Показатели работы шарошечных станков СБШ-250, СБШ-250НИМ и СБШ-320 на рудных карьерах (крепкие и крепчайшие породы)

Показатели	ССГОК		Михайловский ГОК		Ковдорский ГОК		Ждановский рудник
	270	320	270	320	270	320	
Диаметр скважины, мм	270	320	270	320	270	320	270—320
Сменная производительность станка, м	61,8	86,5	58	86,5	86,5	86,5	26,5
Средняя стойкость долот, м	185	107,6	99,2	107,6	220	107,6	107,6
Затраты на бурение 1 м скважины, руб.	4,56	13,92	8,72	13,92	13,92	13,92	9,33
Удельный расход ВВ, кг/м ³	0,683	0,8	0,71	0,8	0,8	0,8	0,84
Выход горной массы с 1 м скважины, м ³	36,5	34,9	23,6	34,9	34,9	34,9	34,9

Производительность многошпиндельных буровых станков

$$П_c = \eta T_c m / (1/v + qt_n),$$

где m — число рабочих органов на буровом станке; $q = 1 + m/2$ — коэффициент, учитывающий увеличение времени вспомогательных операций из-за неодновременности их выполнения.

Прирост производительности станка шарошечного бурения при использовании пневмоударников, других интенсификаторов

$$\Delta П_c = \Delta v (t_n v_{ш} + 1) / (\Delta v t_n v_{ш} + 1),$$

где Δv — прирост скорости бурения, м/с; t_n — время вспомогательных операций, м/с; $v_{ш}$ — скорость шарошечного бурения, м/с.

По расчетным данным сочетание шарошечного бурения с пневмоударным выгодно в горных породах с $f > 8$ (табл. 5.1).

Диаметр долота оказывает влияние на объемную сменную производительность (m^3) бурового станка и выход негабарита. В крепких крупноблочных породах существует (см. табл. 2.6) минимум приведенных суммарных затрат на бурение, взрывание, экскавацию и транспортирование, отнесенных к $1 m^3$ горной массы. В таких условиях наиболее рациональны скважины диаметром 132—150 мм, особенно при использовании двухшпиндельных станков.

В зимнее время производительность станков снижается от 7 до 21%.

Практические данные о работе буровых станков различного типа приведены в табл. 5.2—5.4.

6. ТЕХНИКА РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ

6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Опыт разработки скальных пород на открытых горных работах показывает, что даже применение прогрессивных способов ведения буровзрывных работ не позволяет полностью исключить выход крупной фракции (негабаритов).

Негабариты разрушаются почти исключительно взрывным способом, с применением шпуровых или накладных зарядов. При этом вторичное дробление породы взрывным способом значительно увеличивает расходы на буровзрывные работы. Так, стоимость разрушения негабарита наиболее распространенным взрывным способом с использованием накладных зарядов в 3—5 раз выше стоимости взрывного рыхления пород массива.

Объемы вторичного дробления пород в горнодобывающей промышленности значительны. Например, на железорудных карьерах страны выход негабаритов составляет 10 млн. м³ в год, на гранитных карьерах — 10—30% объема добычи, на разрезах угольной промышленности — более 6 млн. м³.

Количественная характеристика негабарита зависит от конкретного технологического процесса. Применительно к карьерным экскаваторам минимально допустимый линейный размер куска взорванной горной массы (м) зависит от вместимости ковша:

$$l_n = \sqrt[3]{2/3V_k},$$

где V_k — вместимость ковша экскаватора, м³.

При погрузке горной массы на ленточный конвейер допустимый размер кусков породы

$$l_n \leq 0,5B - 0,1,$$

где B — ширина ленты конвейера, м

При погрузке горной массы в бункеры, дробилки, на грохоты размер негабарита

$$l_n \leq (0,75 \div 0,8)z,$$

где z — меньшая сторона приемного отверстия бункера, дробилки или ячейки грохота, м.

6.2. УСТАНОВКИ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОГО БУРЕНИЯ ШПУРОВ В НЕГАБАРИТАХ

Установки для механизированного бурения шпуров в негабаритах выполняются на базе тракторов, автомашин, автопогрузчиков, экскаваторов. Буровые машины (как правило, перфораторы) в установках размещаются на манипуляторах различных конструкций (консольные, выдвигные, двух- и многозвенные с поворотной платформой или колонной). Приводы в манипуляторах представлены гидроцилиндрами обычного исполнения или в сочетании с цепями, канатами, винтовыми механизмами и т. д. Установки выбирают в зависимости от технологических условий разрушения негабаритов (количество и уровни расположения относительно забоя), требований к радиусу действия, мобильности, диапазону ориентации буровой машины в пространстве, проходимости, климатических условий.

Буровая установка СБУ-2 смонтирована на базе трелевочного трактора Т40. Применяется на разрезах Южного Кузбасса. Изготовитель — Новокузнецкий машиностроительный завод. Расход бурения составляет 0,4—0,6 шпурометра на 1 м³, при удельном расходе ВВ 0,2—0,3 кг/м³.

Буровая установка СБУ-8 применяется на карьерах ССГОК. Она смонтирована на базе трактора «Кировец» типа К700, на котором размещен компрессор КТ6 и два гидронасоса для гидрорывов навесного манипулятора. В качестве буровой машины используется пневматический перфоратор ПР24.

Техническая характеристика буровой установки СБУ-8

Средняя производительность бурения, мм/с	3,33
Диаметр шпура, мм	43
Глубина бурения (не более), м	2
Радиус действия, м	8
Компрессор:	
подача, м ³ /с	0,088
давление сжатого воздуха, МПа	0,8
привод	От вала отбора мощности трактора
	60
потребляемая мощность, кВт	60
Основные размеры буровой установки в транспортном положении, м	8,1×2,5×3,5

Буровая установка УБН-2 смонтирована на базе автомобиля КраЗ, оснащена пневматическим перфоратором с автоподатчиком, располагаемыми на конце стрелы манипулятора, в качестве которого использовано навесное оборудование монтажно-го гидродъемника АГП12. Разработчик — Криворожский филиал ВНИИОМИКа.

Техническая характеристика буровой установки УБН-2

Сменная производительность бурения, м	100
Число одновременно буримых шпуров	1—2
Диаметр шпура, мм	42—65
Глубина бурения (не более), м	2
Фронт работ с одной точки, м	18
Число перфораторов	2
Основные размеры буровой установки в транспортном положении, м	8×3×3,6
Масса, т	20

При коэффициенте крепости горных пород $f = 11 + 14$ сменная производительность бурения составляет в среднем 35 и максимальная 57 м (глубина шпуров 0,5—0,7 м, угол наклона к вертикали изменяется от 0 до 90°). С одной точки стояния обуриваются 4—6 негабаритов. В тех же условиях три бурильщика ручными перфораторами ПР25 бурили за смену 40 м шпуров. Стоимость бурения на 40—60% выше, чем при использовании УБН-2.

Буровая машина МБШ-1 смонтирована на базе трактора Т100МГП, на котором размещен компрессор К9М, два манипулятора с автоподатчиками и перфораторами типа КС50, с ними могут использоваться буровые штанги длиной 500, 700 и

Таблица 6.1

Техническая характеристика бурильных молотков (перфораторов)

Показатели	Переносные				
	ПР19	ПР25Л	ПП54В	ПР22	ПП36В
Длина, мм	648	875	885	670	860
Расход воздуха, м ³ /мин	2,5	3,5	3,5	2,8	3,5
Энергия удара, Дж	44	57	57	54	64
Частота ударов, мин ⁻¹	1850	2300	2350	2300	2380
Крутящий момент, Н·м	12,2	17,6	17,6	17,6	14,7
Ударная мощность, кВт	2,1	2,12	2,12	1,66	1,84
Диаметр коронки, мм	36—40	35—56	36—56	36—50	36—56
Масса, кг	30	32	32	24,5	24

2200 мм. Фронт работы из одного положения машины составляет 12 м с возможностью обуривания негабаритов, расположенных на уровнях от $-1,5$ до $+12$ м относительно площадки стояния. Имсеется положительный опыт применения МБШ-1 в условиях рудника «Медвежий ручей» Норильского ГМК. Разработчик — НИПИГормаш.

Техническая характеристика буровой машины МБШ-1

Скорость бурения при $f=16$, мм/с	3,3—4,1
Число манипуляторов	2
Диаметр шпура, мм	42—64
Глубина шпуров, м	$<2,2$
Направление бурения, градус	0—360
Фронт работы с одной точки, м	12
Усилие подачи бурового инструмента, кН	1,0
Рабочее давление в гидросистеме, МПа	10
Давление сжатого воздуха системы удаления буровой мелочи, МПа.	0,5
Основные размеры установки в транспортном положении, м	$6 \times 3 \times 3,5$

Пневматические бурильные молотки (перфораторы ударного действия) классифицируются: по частоте ударов — на обычные с числом ударов 33 в секунду и высокочастотные с числом ударов более 33 в секунду; по способу применения — на переносные ПП, ручные ПР, колонковые ПК, телескопные ПТ; по массе — на легкие (до 18 кг), средние (20—25 кг), тяжелые (более 30 кг) и по ряду других признаков (табл. 6.1).

Пневматические бурильные молотки предназначены для бурения шпуров в любом направлении диаметром 28—70 мм в породах любой крепости. При отсутствии электроэнергии и сжатого воздуха для бурения шпуров применяют мотоперфораторы с бензиновым двигателем.

(при давлении воздуха 0,5 МПа)

(ручные)			Телескопные		Колонковые	
ПП36ВБ	ПП36С	ПР24МВ	ПТ29	ПТ36М	ПК60	ПК75
850 3,5	930 3,5	735 3	1470 3,3	1430 4,5	575 9	600 13
64 1800	64 2300	54 1900	44 2400	78 2600	88 2800	147 2000
14,7	14,7	17,6	20	29	175	245
1,84	1,84	1,7	1,92	3,7	4,1	4,85
36—56 27,5	36—56 29,5	36—50 25	36—45 40	36—85 52	40—65 60	65—85 75

Мотоперфоратор С354М предназначен для бурения шпуров диаметром 40 мм и глубиной до 0,5 м. Продувка шпура производится отходящими газами от двигателя. Перфоратор имеет длину 930 мм, массу 37 кг. Оснащен бензиновым двигателем мотопилы «Дружба-4».

6.3. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА НЕВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ

Большинство невзрывных способов разрушения основано на механическом разрушении под действием локальных концентрированных напряжений, превышающих сопротивление сил внутренних связей в породе. Разрушающие напряжения могут создаваться и в результате внутренних сил, возникающих при нагревании породы струей раскаленных газов, электрическим полем тока высокого напряжения. Разрушение породы может происходить и с коренным, глубоким изменением ее свойств или состава вследствие протекания химических или физико-химических процессов, таких как плавление, горение и растворение.

Термический способ разрушения горных пород позволяет использовать в качестве источников тепла электрические нагреватели, электронные пушки, лазеры, установки для прожигания, плазменные резаки, нагреватели инфракрасного излучения и аппараты для плавления. В зависимости от природы источника тепла и свойств породы применение термических способов вызывает отслаивание, растрескивание, плавление или испарение породы. При использовании электрической энергии разрушение пород происходит без шума и ударных волн.

Термические способы разрушения горных пород значительно ослабляют породы, которые затем могут быть эффективно разрушены механическими или гидравлическими средствами.

Термические способы разрушения можно применять только в термически буримых породах. Так, например, проведенные на Бородинском разрезе эксперименты по разрушению негабаритов, сложенных песчаниками на карбонатном цементе, показали, что породы КАТЭКа под действием газовой струи горелки конструкции Московского горного института плавилась, но не разрушались.

Затраты на разрушение негабаритов термическими способами в зависимости от применяемого оборудования в 5—100 раз выше, чем при традиционном — взрывном.

Электрофизические методы разрушения горных пород воздействием на них электромагнитного поля или радиационного излучения являются наиболее перспективными из развивающихся направлений. К электрофизическим методам разрушения относятся установки с использованием электрического разряда, пробоя и электромагнитного поля низкой, промышленной, высокой и сверхвысокой частот. Следует учитывать, что в этих установках используются такие параметры токов, напряжения и частоты, при которых электромагнитное излучение представляет определенную опасность для обслуживающего персонала.

Механический способ разрушения горных пород является наиболее распространенным на открытых горных работах. В зависимости от времени передачи энергии механические способы разделяются на статические и динамические.

К статическим относятся способы разрушения пород резцом, шарошкой, расклиниванием (гидравлический).

К динамическим способам разрушения относятся ударный, взрывной и гидромпульсный. При ударном разрушении хрупких тел, благодаря практически мгновенному протеканию процесса перехода энергии в разрушаемый материал, на рабочем инструменте в момент удара возникают большие усилия и развиваются значительные мощности. Это оказывает существенное влияние на процесс разрушения, так как при кратковременном приложении разрушающей нагрузки у крепких пород в большой степени проявляются хрупкие свойства.

Машины с ударными рабочими органами имеют более удачную силовую схему воздействия с разрушаемой породой — большие нагрузки, возникающие при соударении, замыкаются в системе порода — инструмент — ударник. Поэтому конструкция ударных систем не испытывает значительных динамических нагрузок. Механизм ударного действия получается более компактным и имеет меньший вес при прочих равных условиях. Перспективы и возможности ударного способа разрушения, примеры из области бурения крепких горных пород, простота изготовления и эксплуатации ударных машин свидетельствуют о том, что он должен найти широкое применение в практике разрушения негабаритов. В настоящее время машины ударно-

го действия, основанные на механическом разрушении, получили распространение при рыхлении мерзлых грунтов и твердых покрытий в дорожном и промышленном строительстве, на карьерах.

Машины ударного действия можно классифицировать: по назначению; способу нагружения инструмента; методу нанесения удара; частоте ударов; способу аккумулярования энергии; типу привода и способу управления.

По назначению машины ударного действия разделяются на универсальные и специальные, по возможности применения их на дроблении негабаритов или грунтов. Специальные машины предназначены исключительно для определенного вида работ, например, для рыхления на карьерах мерзлых грунтов.

По способу нагружения инструмента машины ударного действия делятся на машины с забиваемым или с падающим инструментом. В машинах, в которых используется способ забивания инструмента, внедрение инструмента в породу (грунт) вызывается единичными или многократными ударами бойка по инструменту. При этом, как правило, инструмент прижат к забою статическим усилием. В машинах с падающим инструментом разрушение пород происходит за счет энергии, накопленной инструментом (грузом).

Основные недостатки таких машин — невозможность попадания инструмента в одну и ту же точку при ударах и большие динамические нагрузки, возникающие в элементах базовой машины при сбрасывании инструментов большой массы.

По методу нанесения ударов машины делятся на установки с направленными и ненаправленными ударами. К типичным представителям машин с падающим инструментом и ненаправленным ударом относятся: клин-молот, шар-баба, клин-бабы. Все типы машин с навесными рабочими органами ударного действия относятся к машинам с направленными ударами.

Частота нанесения ударов. По этому признаку машины ударного действия делятся на машины с единичными ударами и многоударные. Машины единичного удара обладают, как правило, значительной энергией единичного удара и разрушают материал за небольшое количество циклов. К многоударным машинам относятся машины с частотой ударов от 1 до 30 Гц. Эти машины обеспечивают такое нагружение материала, при котором энергия, идущая на разрушение, циклически аккумулируется внутри материала, создавая рост напряжений, которые в конечном итоге достигают разрушающих величин.

По способу аккумулярования энергии машины ударного действия можно разделить на гравитационные, механические, пневматические, гидравлические, гидропневматические, электрические, взрывомеханические и взрывоимпульсные.

К гравитационным машинам ударного действия относятся различные молоты с падающим и забиваемым инструментом. В механических молотах энергия накапливается при взводе бойка кривошипно-шатунным механизмом. При разрыве связи между бойком и кривошипом первый под действием силы сжатия пружины разгоняется до некоторой скорости.

Пневматические машины (пневмомолоты) получили наибольшее распространение. Рабочим телом в пневмомолотах является сжатый воздух, который, воздействуя на поверхность бойка, перемещает его либо к инструменту, либо отводит от него. Пневмомолоты, навешиваемые в качестве сменного оборудования, до настоящего времени широко используются и выпускаются как отечественной промышленностью, так и за рубежом. Конструкция их довольно проста и надежна, требования к герметичности подвижных соединений невысоки, так как компрессор подбирается с запасом производительности.

К настоящему времени созданы различные модификации пневмомолотов, отличающихся конструктивным исполнением (табл. 6.2). Обладая небольшой массой, пневмомолоты могут навешиваться на легкие базовые машины, что значительно уменьшает себестоимость разрушения горных пород.

Недостатки пневмомолотов: невысокая энергия единичного удара, необходимость использования дорогостоящих компрессоров, снижение маневренности базовой машины из-за наличия компрессора и рукава, питающего молот сжатым воздухом, а также повышенная вероятность отказа при высокой влажности и низкой температуре окружающей среды из-за обледенения выхлопных окон молота.

В гидравлических молотах, по сравнению с пневматическими, указанные недостатки отсутствуют. Кроме того, привод гидромолотов осуществляется непосредственно от гидростемы любой машины с гидроприводом, что обеспечивает лучшее использование мощности базовой машины и снижение эксплуатационных затрат. То же самое можно сказать и о гидропневматических молотах.

В нашей стране разработана серия гидравлических и гидропневматических молотов СП70, СП62, СО182 и СО1136, выполненных по единой принципиальной схеме. Значительный интерес представляет гидропневматический молот (бутобой) БПГ30. Разработчик — Карагандинский политехнический институт.

Зарубежные фирмы создают гидромолоты, имеющие пневматический аккумулятор, в котором энергоносителем является сжатый азот, а в качестве ударной части — бойка используется поршень рабочего цилиндра. Крупнейшие производители гидромолотов — ФРГ, США, Франция, Финляндия, Италия, Великобритания и Бельгия. Технические характеристики гидравличе-

Таблица 6.2

Техническая характеристика пневматических молотов для дробления негабарита

Страна (фирма), марка пневмомолота	Энергия удара, Дж	Частота ударов, уд/мин	Расход воздуха, м ³ /мин	Давление воздуха, МПа	Масса, кг
СССР					
БП2	500	160	3,2	0,6	130
Б2М	1100	600	15	—	300
БТ1М	800	800	—	0,5	—
МТ10	1400	420	—	0,5	300
МТ131	2450	360	12	0,6	—
ПН1300	1300	500	9,6	0,5	350
ПН1700	1700	400	9,6	0,6	450
ПН2400	2400	325	11—18	0,6	500
СП66	100	570	12	0,5	340
ФРГ («Менк»)					
SB80	400	180	5	0,65	1900
SB120	600	150	6,5	0,65	2375
SB180	9450	125	8	0,65	3875
SB270	14 100	115	11	0,65	5375
SB400	2170	100	16	0,65	7475
ФРГ («Демаг»)					
DKB375	1380	600	7,0	0,6	410
DKB750	2760	600	17	0,7	870
VR15	3660	215	9,5	0,7	2150
VR20	10 340	130	12	0,6	3950
VP40	13 400	138	13,2	0,7	—
Япония (NRK)					
IPN200	940	380	4,5	0,6	218
IPN400	1290	320	6,5	0,6	405
IPN600	1700	310	9	0,7	—
Динамакс-1300	1300	200	7	0,6	490
Динамакс-2500	2700	200	11	0,6	750
Динамакс-6000	6000	150	13	0,6	—
США («Ингерсолл-Рэнд»)					
ABM500	960	600	10	0,7	250
ABM1000	1650	600	14,8	0,7	455
США («Кент»)					
KB555	680	600	4,2	0,5	220
Бельгия («Стэнюик»)					
BR-150	1500	200	10,0	0,65	650

Таблица 6.3

Техническая характеристика отечественных и зарубежных гидравлических и гидропневматических молотов, выпускаемых и прошедших опытную проверку

Страна (фирма), марка молота	Энергия удара, кДж	Частота ударов, уд/мин	Рабочее давление жидкости, МПа	Расход жидкости, л/мин	Масса молота, кг
СССР					
ГЗМ200	2	400	10	114	500
ГПМ200	2	250	10	114	320
СП71	3	120	10	100	750
БПГ30	30	15	7,5	140	1200
СП62	9	160	16	165	2100
СП70	3,5	155	12—16	125	750
СО182	3	140	10—12	105	65
СО1136	20	120	20	200	3400
ГПУ500	5	160	16	150	360
ГПУ1000	10	200	3	400	900
ГПУ2000	28	110	10	480	1800
ПГСД1	20	20	6	330	3600
М20	20	45	16	—	2100
М50	50	30	16	—	4000
М100	100	30	16	—	4500
М200	200	15	16	—	6200
ФРГ («Крупп»)					
ПМ-401	0,72	500—550	12—15	60—70	400
ПМ-600	2	380—480	13—15	65—90	846
ПМ-800	3,3/1,65	450—900	15—18	90—120	1400
ПМ-1000	7,35	200	18—20	120	23 000
ФРГ (MGF)					
НН-420М	0,7	500—600	13—15	60—70	420
НН-580М	1	500—600	13—15	60—70	580
НН-960М	2,5	260—300	13—15	60—70	960
НН-961М	2	350—400	13—15	80—90	960
ФРГ («Гюнтер Клемм»)					
КВ-4000	3—5	1900—3300	14—20	60—90	170
КВ-5000	3—5	300—500	13—20	40—120	1000
КВ-40S	3—5	2000—4500	14—20	80—100	—
США («Ингерсолл-Рэнд»)					
G-500	0,7—1	510—800	13—18	70—120	240
G-900	12,5	420	12,7	68—114	384
G-1100	1,66	588	7—14	111—190	545
США («Джой»)					
514 Холти	27,5	15	17,6	113—132	1090

Страна (фирма), марка молота	Энергия удара, кДж	Частота ударов, уд/мин	Рабочее давление жидкости, МПа	Расход жидкости, л/мин	Масса молота, кг
Франция («Монтабер»)					
ВРН-250В	1	230—600	14,0	35—90	550
ВРН-250С	1	490—600	11,0	90—130	550
ВРН-501А	2	320—450	16,0	60—80	1000
ВРН-501В	2	320—450	14,5	100—120	1000
ВРН-501С	2	320—450	12,0	110—140	1000
ВРН0-501	2	320—450	10,5	140—170	1000
Финляндия («Роксон»)					
В200	1,3	300—560	14,0	45—85	800
В700	4	200—400	22,0	70—130	1000
Финляндия («Раммер»)					
S700	2,2	250—500	14,0	50—100	690
S800	3,5	250—400	14,0	80—160	1300
S806	3,5	250—400	14,0	80—160	1450
Япония (NRK)					
Н1ХА	1	500—700	11,0	25—40	100
Н3Х	3	400—580	14,0	43—70	250
Н6Х	6	400—570	14,0	90—140	600
Н9Х	9	400—500	14,0	125—160	890
Н14Х	11	400—500	17,0	133—180	1200
602НВ	2,1	250—350	25—32	40—60	500
802НВ	2,8	250—350	60—90	60—90	650
802НА	2,8	250—350	14—25	120—150	650
1102НА	4,2	220—250	14—18	140—160	1100
Италия («Сокоmek»)					
MDO-200	0,55	450—550	12,5—15	45—70	370
MDO-400	1,22	400—450	—	45—70	700
MDO-800	2,25	400—500	—	45—70	1200
Великобритания («Галлик-Добсон»)					
202НВ	0,42	500—600	14—17	183	703
	0,95	250—350	25—30	25—35	250

ских и гидropневматических молотов, изготавливаемых в СССР и за рубежом, приведены в табл. 6.3.

К электрическим машинам ударного действия относятся электрические ударные машины возвратно-поступательного действия. Наибольшее распространение получили электромеханические с пружинным ударным механизмом,

электрические компрессионно-вакуумные и молоты со свободным выбегом бойка. В первом из названных типов ударных машин подъем бойка осуществляется с помощью захвата, приводимого в движение кривошипно-шатунным механизмом с электроприводом. После разрыва захвата и бойка последний разгоняется под действием усилия сжатой при подъеме пружины. В компрессионно-вакуумных машинах за счет взаимного перемещения внутренних полостей создается разрежение, затягивающее боек в положение взвода. При изменении вектора перемещения подвижной полости над бойком создается область сжатия и боек ускоренно перемещается к инструменту. Молоты со свободным выбегом бойка относятся к электромагнитному типу. Силовое электромагнитное поле, меняя полярность, заставляет боек двигаться возвратно-поступательно. Наиболее мощные из имеющихся в промышленности электрических молотов имеют энергию единичных ударов до 3 кДж.

Взрывомеханические молоты разрабатываются в ряде организаций Советского Союза. Энергоносителем является жидкое топливо. К числу молотов, работающих на жидком топливе, относятся бензино-воздушные и дизельные молоты.

Бензино-воздушные молоты работают аналогично двигателю внутреннего сгорания, разгоняя боек до соударения за счет энергии расширяющегося газа, выделяющегося при сгорании бензино-воздушной смеси. Сжатие смеси в камере сгорания и взвод поршня-бойка происходят принудительно. Промышленные испытания бензино-воздушного молота (разработка МГРИ им. С. Орджоникидзе), навешенного на трактор Т-100 МГП, проводились на карьере в Ленинградской области. Установка оснащена молотом с энергией единичного удара 10 кДж. Целью испытаний являлась проверка работоспособности основных элементов установки.

Среди навесных вариантов дизельных молотов наиболее перспективны трубчатые молоты, в которых корпус молота неподвижен, а боек, падая под действием силы тяжести или дополнительного аккумулирующего устройства, сжимает топливно-воздушную смесь в камере сгорания. Разрабатываются также двухкамерные дизельные молоты, характеризующиеся высокой частотой ударов.

Взрывоимпульсные молоты с жидким или твердым (порох) энергоносителем. В ИГД им. А. А. Скопинского разработан ряд конструкций экспериментальных образцов взрывоимпульсных приводов, работающих на дизельном топливе, отличающихся друг от друга как по энергии генерируемых импульсов, так и по конструктивным решениям основных узлов и систем.

Взрывоимпульсные приводы на твердом энергоносителе предназначены для использования в установках для

дробления негабаритов и твердых включений при вскрышных работах на угольных разрезах. Взрывоимпульсный привод представляет собой свободнопоршневую и ударную систему, отличающуюся от известных ударных систем тем, что в качестве источника энергии в ней используется твердый энергоноситель — порох, что позволяет получать высокие энергии удара при небольших габаритах привода. При этом обеспечивается возможность регулирования энергии удара в широком диапазоне. Испытания взрывоимпульсных приводов в промышленных условиях показали высокую эффективность данных устройств при разрушении горных пород, работоспособность и надежность разработанных конструкций. Технические характеристики бензиновоздушных и взрывоимпульсных молотов представлены в табл. 6.4.

Гидроимпульсный способ разрушения горных пород с использованием энергии гидравлического удара от разряда или взрыва в жидкости. В 1985 г. на Бородинском разрезе (участок «Грамадский») ПО «Красноярскуголь» были проведены промышленные испытания установки с использованием эффекта электрогидровзрыва. Макетные образцы высоковольтной установки и рабочего органа — разрядника

Таблица 6.4
Техническая характеристика бензиновоздушных и взрывоимпульсных молотов

Показатели	МГРИ	ДИП1	ДИП4, ДИП5	ДИП6	ДИМ	УДК2	ЦДК3	ГДУ
Энергия удара, кДж	15,0	1,3	4,0	3,3	6,32	5—15	15—30	<50
Частота ударов, с ⁻¹	1,0	13,0	13,0	<3	4,5	0,5—1,0	0,5—1,0	<2,0
Тип энергоносителя	Бензин	Дизельное топливо	Дизельное топливо	Дизельное топливо	Дизельное топливо	Порох ВТ или ВТМ	Порох ВТ или ВТМ	Бензин, спирт
Основные размеры, мм:								
длина	1820	1550	1550	2182	2380	1600	2000	1800
ширина	280	380	380	584	800	470	470	550
высота	280	200	200	390	350	270	595	550
Масса, кг	450	860	860	1100	1200	500	1310	1500

были разработаны и изготовлены КАТЭКНИИуголь и ЦКБ «Геофизика». Установка для разрушения негабаритов состояла из генератора импульсов тока и соединенным с ним кабелем разрядника, выполненным заклинивающимся в шпуре. Питание установки осуществлялось от трехфазной четырехпроводной сети 380/220 В с заземленной нейтралью.

Техническая характеристика установки для разрушения негабаритов

Максимальная энергия, кДж	190
Номинальная энергия, кДж	170
Напряжение зарядки накопителя, кВ:	
максимальное	9,0
номинальное	4,5
Максимальная емкость накопителя, мкФ	$12 \cdot 10^3$
Индуктивность разрядного контура с подключенным разрядником, Гс	$15 \cdot 10^6$
Время заряжания накопителя до номинальной энергии, с	10
Масса установки, т	4,5

В процессе испытаний установки в промышленных условиях установлено, что раскалывание негабарита происходило после 2—3 импульсов. Энергия, требуемая для разрушения негабаритов, изменялась в пределах 90—250 кДж/м³. Трещины в негабарите образовывались уже после первого импульса, поэтому для рабочего органа, заклинивающегося в шпуре, энергия разряда составляла 90—100 кДж. Минимальная энергоемкость разрушения была получена при следующих параметрах установки: рабочее напряжение — 9 кВ, емкость накопителя — 2000 мкФ, энергия накопителя — 80 кДж. При этих параметрах наблюдалась наибольшая трещиноватость, так как длительность ударной волны была соизмерима со временем образования трещин. Динамика роста трещиноватости негабарита устанавливалась с помощью прибора УК-10П, позволяющего определять акустические характеристики и, в частности, время пробега упругой волны от одного негабарита до другого.

В результате проведенных экспериментов установлено, что разрушение происходит от двух факторов: от ударной волны при пробое жидкости в шпуре и от расклинивающего действия воды, проникающей в трещины под давлением. Данное определение не противоречит гипотезе разрушения крепких минеральных сред.

Затраты на дробление негабаритов гидроимпульсным способом и традиционным взрывным способом с использованием шпуровых зарядов одинаковы (0,78 руб/м³). Но учитывая, что при испытаниях не наблюдался разлет осколков, можно считать установку наиболее безопасной. *Основные недостатки установки:* ее низкая маневренность, громоздкость и большая масса.

Эвакуация негабаритов из рабочей зоны разреза из-за отсутствия специальных транспортных средств осуществляется путем перемещения крупнокусковой массы на нижележащий горизонт

или в отвал. На нижележащий горизонт негабариты перемещаются либо экскаватором, либо бульдозером. Перемещение негабаритов экскаватором снижает его производительность на основной работе и не безопасно, так как возможны заколы уступа. Поэтому данный вариант рекомендуется применять только во фронтальном забое с погрузкой горной массы в транспорт или с верхней погрузкой в железнодорожный транспорт.

При перемещении негабаритов на нижележащий горизонт бульдозерами производительность основного выемочно-погрузочного оборудования не снижается. Область применения данного варианта эвакуации та же, что и вышерассмотренного.

При оценке вариантов эвакуации негабаритов следует учитывать, что при отработке нижележащего горизонта они будут мешать производительной работе горного оборудования и требуют дополнительной эвакуации и, следовательно, дополнительных затрат времени и дополнительного оборудования. Кроме того, перекатывание негабарита на нижележащий горизонт связано с опасностью возникновения аварийных ситуаций. Отсюда можно сделать вывод о целесообразности транспортирования негабаритов не только из забоя, но и рабочей зоны карьера в целом.

На некоторых карьерах применяют частичную эвакуацию негабаритов небольших линейных размеров (до 6—10 м³) автомобильным или железнодорожным транспортом. Погрузка негабаритов осуществляется ковшом экскаватора, что сопряжено с опасностью поломки рабочего оборудования и транспортных сосудов вследствие больших динамических нагрузок при сбрасывании и падении негабаритов.

6.4. РАЦИОНАЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ

При определении целесообразной области применения механических средств разрушения негабаритов рассматривают два варианта навески ударных систем: на автономные базовые машины и на платформу вскрышных экскаваторов.

Для определения эффективности разрушения негабаритов механическим способом с использованием ударников задаются производительностью установок и определяют затраты на разрушение 1 м³ негабаритов, а затем обратным путем определяют необходимую энергию удара. Эффективность конструктивных решений определяют по общеизвестным методикам расчета народнохозяйственного эффекта от применения новой техники. Годовую производительность установки для дробления негабаритов (м³) определяют по формуле

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{см}} n_{\text{см}} N_{\text{сут}},$$

где $Q_{см}$ — сменная производительность установки для дробления негабаритов, м³; $n_{см}$ — число рабочих смен установки в сутки ($n_{см}=2$); $N_{сут}$ — число рабочих дней установки в год ($N_{сут}=285$).

$$Q_{см} = (T\eta_{см}V_n) / (t_o + t_y + t_p + t_{пер} + t_{пр}),$$

где T — продолжительность рабочей смены, мин; $\eta_{см}$ — коэффициент использования времени смены ($\eta_{см}=0,85$); V_n — средний объем негабарита, м³; t_o — время на осмотр негабарита и выбора мест приложения нагрузки ($t_o=2$ мин); t_y — время на установку молота в место приложения нагрузки ($t_y=1$ мин); t_p — время разрушения негабарита, мин; $t_{пер}$ — время на подъезд и маневрирование экскаватора у следующего негабарита ($t_{пер}=6$ мин); $t_{пр}$ — прочие затраты времени на разрушение одного негабарита ($t_{пр}=3$ мин);

$$t_p = [n_y/n'_y + t_y]n_n,$$

где n_y — число ударов, необходимое для полного раскалывания негабарита; n'_y — частота ударов молота, мин⁻¹; n_n — число мест приложения нагрузки на негабарит в зависимости от его линейных размеров и марки погрузочного оборудования;

$$n_y = (6 \cdot 10^4 V_n f^2) / A_{ед}^2,$$

где f — коэффициент крепости разрушаемых пород; $A_{ед}$ — энергия единичного удара молота, Дж;

$$A_{ед} = (r_{тр}/k)^3,$$

где $r_{тр}$ — радиус зоны трещин; k — коэффициент, характеризующий породу ($k=0,385$);

$$r_{тр} = (\sigma_o/\sigma_p)^{1/3}r_o,$$

где σ_o — напряжения на границе зоны дробления (ядра); σ_p — предел прочности породы на растяжение; r_o — радиус зоны дробления (ядра).

Задаваясь часовой производительностью установки для дробления негабаритов, строят зависимость затрат на вторичное дробление от применяемой марки базовой машины (рис. 6.1). Учитывая, что удельные затраты на разрушение негабаритов по отчетным данным разрезов составляют при взрывном разрушении с использованием накладных зарядов 0,72 руб/м³, а шпуровых — 0,78 руб/м³, принимают данные затраты максимальными для рассматриваемого способа. Для обеспечения конкурентоспособности механического способа разрушения негабаритов обратным расчетом по приведенным выше выражениям определяют минимально необходимую энергию единичного удара молотов. Из данных табл. 6.5 видно, что минимально необходимая энергия удара молота, при равных значе-

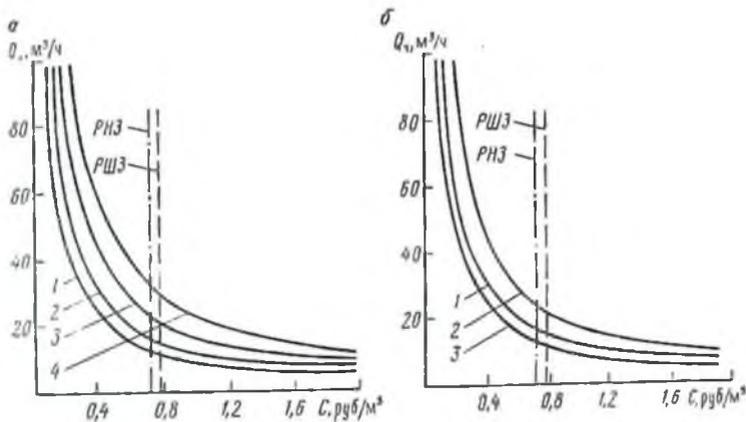


Рис 6.1. Взаимосвязь часовой производительности молота $Q_ч$ от затрат на дробление негабаритов C :

a — базовая машина — трактор (1 — Т100МГП; 2 — Т100; 3 — ДЭТ250, 4 — Т600); b — базовая машина — экскаватор (1 — ЭО4121; 2 — экскаватор ЭО5122; 3 — экскаватор ЭО4321); РНЗ — разрушение негабаритов накладными зарядами; РШЗ — разрушение негабаритов шпуровыми зарядами

ниях затрат на вторичное дробление, изменяется от 21 до 104 кДж. Для снижения затрат на вторичное дробление горных пород с использованием механического способа разрушения необходимо увеличение энергии единичного удара молота.

Минимальная годовая производительность установок для дробления негабаритов в зависимости от применяемой базовой машины составляет 46,5—120,2 тыс. м³ (см. табл. 6.5). Это говорит о том, что при выходе негабаритов на карьере меньше указанной величины установки для дробления будут простаивать, увеличивая стоимость работ.

Установки для механического разрушения негабаритов выгодны на карьерах при годовых объемах вторичного дробления более 50 тыс. м³.

Таблица 6.5

Значения энергии единичного удара и производительности установок для разрушения негабаритов механическим способом

Марка базовой машины	Часовая производительность установки, м ³	Энергия единичного удара, кДж
Трактор Т100МГП	12	21
Трактор Т100	15	30
Трактор ДЭТ250	22	58
Трактор Т600	31	104
Экскаватор ЭО4121	16	30
Экскаватор ЭО4321	13	21
Экскаватор ЭО5122	24	72

Когда молоты навешиваются на платформу карьерного экскаватора (на контргруз или спереди на специальной платформе), снижается производительность его на основной работе, особенно при погрузке в автомобильный транспорт. При погрузке горной массы в железнодорожный транспорт разрушение негабаритов может производиться во время обмена составов. При простое экскаватора в момент дробления негабаритов удельные затраты на выемку горной породы с учетом затрат на дробление негабаритной массы растут. Кроме того, следует учитывать, что с увеличением процентного содержания негабаритов в вынимаемой горной массе в забое производительность экскаватора на основной работе значительно снижается за счет увеличения времени цикла на выемку и укладку негабарита в забое.

В соответствии с этим, аналогично ранее проведенным расчетам для автономных установок, рассчитывают затраты на дробление негабаритов ударными системами с учетом времени выемки и укладки негабарита для его разрушения. При расчете стоимостных параметров разрушения негабаритов с целью определения сменной производительности экскаватора в зависимости от выхода негабаритов и их объема используют номограммы.

Расчеты показывают, что удельные затраты на выемку горной массы с учетом дробления негабаритов в зависимости от процента выхода от общей горной массы значительны, а производительность низка. Удельные затраты на выемку горной массы достигают 1—3 руб на 1 м³. Таким образом, с учетом затрат на разрушение негабаритов, навеска молотов на карьерные экскаваторы может осуществляться при выходе негабаритов до 2% общего объема обрабатываемой горной массы, причем энергия единичного удара молота должна быть не ниже 100 кДж, а для экскаваторов с вместимостью ковша более 12,5 м³ — 150—200 кДж. При навеске молотов на самоходные базовые машины экономически целесообразны установки с ударными системами с энергией единичного удара 30—100 кДж в зависимости от марки применяемой базовой машины. При навеске молотов на платформы карьерных экскаваторов рациональная область их применения ограничивается 2%-ным выходом негабаритов от общего объема обрабатываемой горной массы с энергией единичного удара молота 100—200 кДж.

7. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ БУРЕНИЯ И ПРИВОД БУРОВЫХ СТАНКОВ

7.1. ПРИНЦИПЫ ПОДХОДА К СОЗДАНИЮ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ШАРОШЕЧНЫХ СТАНКОВ

При создании систем автоматического контроля работы узлов бурового станка, систем информационных и управляющих необходимо установить, какие функции выполняет каждая система. Принцип, который был заложен МГИ в 1963—1966 гг. при создании систем управления режимами бурения, состоял в следующем. В связи с тем, что стойкость долота мало изменяется с увеличением создаваемого на него осевого усилия, во всех случаях было принято, что система работает при максимально допустимых значениях осевых усилий. При увеличении частоты вращения долота возрастают вибрации на станке, что ведет к снижению его долговечности (надежности работы), снижается стойкость долот, ухудшаются условия работы машинистов. Для любого типа станка можно найти оптимальные значения частоты вращения или предельного уровня вибраций (горизонтальных и вертикальных), удовлетворяющие условиям долговечности станка, стойкости долот и санитарным нормам для машиниста. Таким образом машина эксплуатируется в предельно допустимых по интенсификации разрушения породы на забое режимах, обеспечивает получение лучших технико-экономических показателей буровых работ, т. е. максимально возможную производительность и минимальные затраты на бурение 1 м скважины. Это было реализовано в ряде вариантов систем управления, разработанных МГИ совместно с ВНИИ Цветметавтоматика (Орджоникидзенский филиал) и НПО Днепрочерметавтоматика, которые прошли промышленные испытания и изготавливаются по заказам предприятий на экспериментальном заводе НПО «Днепрочерметавтоматика» с 1986 г. Описание схем и принципов работы устройств приведено ниже.

Развивая научные идеи, заложенные в получении максимального количества информации от работающего станка, как производственной единицы, с одной стороны, а также как возможной информационной системы о свойствах обуриваемого массива, с другой, чего пока нельзя сделать ни одним из известных методов оценки свойств массива на карьерах, МГИ считает, что станки нового технического уровня должны быть оснащены на перспективу следующими автоматизированными системами:

1. Диагностики состояния основных узлов станков по типу автомобильных, самолетных систем или других сложных машин;

2. Информативной о показателях работы станка за смену, сутки, месяц (количество пробуренных метров скважин, израсходованных долот, чистого времени работы станка, затрат энергии и т. д.);

3. Управления режимами работы и горизонтирования станка (выбор осевого усилия, частоты вращения, количества воздуха и воды и т. д.), обеспечивая высокую надежность его эксплуатации, точность установки на точке бурения;

4. Защиты от аварийных ситуаций, возникающих на станке (трогание с места при опущенном в скважину буровом ставе, перелодьем вращателя, разрыва шланга гидросистемы и т. д.);

5. Информационной о свойствах и составе буримых пород (крепости, трещиноватости, содержании полезных компонентов и т. д.).

Кроме того, станки должны быть оснащены системами хранения и беспроводной передачи информации на центральный пункт с целью реализации САПР буровзрывных работ на карьере.

7.2. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ БУРЕНИЯ

Назначение и классификация систем управления бурением (табл. 7.1).

Системы управления предназначены для оптимизации режима бурения (частоты вращения бурового инструмента, осевого усилия на забой и др.) с целью установления их оптимальных значений при непрерывном изменении свойств горных пород во время бурения, с учетом текущего состояния инструмента и другого оборудования буровых станков. При этом оптимальные значения параметров бурения устанавливаются в процессе регулирования исходя из выбранного заранее критерия оценки результатов бурения (критерия эффективности). Оптимальные значения этих параметров могут определяться заранее и поддерживаться постоянными по величине. Критерием оценки бурения (эффективности) может служить себестоимость бурения, минимум энергозатрат и др. Конечной целью оперативного регулирования параметров режима бурения является получение более высоких технико-экономических показателей по сравнению с бурением при постоянных значениях параметров, а также улучшение условий работы обслуживающего персонала и оборудования.

Системы ручного управления предназначены для регулирования параметров режима бурения оператором в диапазоне величин, допускаемых регулируемыми органами, и корректировки этих величин при возникновении нежелательных си-

Таблица 7.1

Оснащенность буровых станков системами управления и контроля

Системы управления и контроля	Буровые станки отечественного производства	Буровые станки зарубежных фирм
<i>Системы ручного управления:</i>		
со стабилизацией параметров	1СБР-125, БСМ, СБМК-5, НКР-100М, БМК-4М, УКС-30М, УКС-22М, БС-1М	BE40R, BE45R, BE55R, GD-60, GD100, RR11E, RR12E, RR15E, M4, M5
с дистанционным управлением	1СБУ-125, Урал-64, СВБ-2М, 2СБШ-200, 2СБШ-200Н, СБШ-250-55, 4СБШ-40	BE40R, BE45R, BE55R, BE60R, BE61R, GD60, GD100, GD120, M4, M5
<i>Системы автоматического управления:</i>		
процессом бурения	3СБШ-200Н	BE60R, BE61R, GD120, M4
вспомогательными операциями	2СБШ-200, 2СБШ-200Н, 3СБШ-200Н, 4СБШ-200Н (перехват рабочего органа)	BE61R, GD120, станки фирмы «Атлас Копко»
<i>Автоматизированные приводы:</i>		
вращения и подачи бурового инструмента	2СБШ-200, 2СБШ-200Н, 3СБШ-200-60, СБШ-250-55	BE40R, BE45R, BE60R, BE61R, GD60, GD-100, GD120/130, RR12E, M4, M5
пневмосистемы	2СБШ-200, 2СБШ-200Н, 3СБШ-200-60,	BE61R, GD120
<i>Системы измерений и контроля параметров</i>	2СБШ-200, 2СБШ-200Н, 3СБШ-200-60, 4СБШ-200-40, СБШ-250-55	BE40R, BE45R, BE55R, BE60R, BE61R, GD-60, GD100, GD120/130, RR11E, RR12E, RR15E, M4, M5, M4SS, станки фирмы «Атлас Копко»

туаций (больших вибраций, токов ротора вращательно-подающего механизма и т. п.). Эти системы управления дают возможность поддерживать оптимальные параметры режима бурения в несложных условиях. Для сложных условий бурения использование ручных систем управления с целью оптимизации процесса затруднительно, так как оператор не успевает реагировать на изменение ситуации.

Системы автоматического управления (САУ) процессом бурения позволяют по выбранному критерию эффективности устанавливать оптимальные параметры режима в условиях практически любой сложности. Кроме того, эти системы позволяют корректировать параметры режима бурения

(при возникновении вибраций рабочего органа, завалов скважины продуктами разрушения и т. д.).

Технологические САУ дают возможность управлять параметрами режима бурения по вводимому в них или вычисляемому ими оперативно технико-экономическому критерию эффективности. По способу использования критерия эффективности они разделяются на *системы с косвенным использованием критерия эффективности* (например, программные системы) и *системы с непосредственным использованием критерия*, вычисленного в процессе бурения либо вводимого извне (например, экстремальные системы). САУ, позволяющие стабилизировать заданные параметры приводов при изменении условий бурения (автоматизированные приводы), как правило, входят в состав технологических и играют в них подчиненную роль.

Требования к системам управления и приводам. Системы управления воздействуют на механизмы бурового станка, которые, в свою очередь, приводятся в рабочее движение соответствующими системами приводов. Поэтому, с точки зрения управления, к приводам станка предъявляются требования хорошей регулируемости (чувствительности, линейности), обеспечения необходимого диапазона регулирования параметров режима, хороших статических свойств и приемлемых переходных процессов. Обычно в системе управления используются приводы с тиристорными преобразователями и силовыми магнитными усилителями, а также гидравлический привод с плавным регулированием скорости подачи (давления в гидросистеме). От качества характеристик приводов зависят свойства и качество систем управления бурением.

Системы управления должны обеспечивать заданный диапазон регулирования, необходимое быстродействие, заданный характер переходного процесса, отклонение устанавливаемых параметров режима бурения от оптимальных не больше расчетных во всем диапазоне регулирования, быстрое реагирование на предаварийную ситуацию с целью ее ликвидации корректировкой режимов бурения, выполнение защитных функций.

Показатели применения систем автоматического управления. Характеристики современных САУ: быстродействие не более 3 с, диапазон регулирования 0,5—20 с⁻¹, 100—300 кН, статическая ошибка не более 3%, характер процесса — аperiodический.

Приближенные показатели применения САУ можно определить сопоставлением результатов бурения, полученных при ручном управлении на данном месторождении, с расчетными показателями бурения на оптимальных режимах (с учетом пережаемости горных пород). За исходные данные при таких расчетах можно брать соответствующие геолого-технологические

карты или данные каротажа взрывных скважин. Более точные показатели САУ могут быть определены по результатам бурения одним станком с чередованием ручного и автоматического управления (бурением через одну—две скважины) или же при параллельной работе на одном блоке двух идентичных станков на разных способах управления бурением. При этом фиксируют скорость или время бурения отдельных промежутков скважины (по каждому метру, штанге, скважине), ток нагрузки, стойкость долота и т. п.

При бурении с автоматическим управлением производительность станков увеличивается до 10—40%, стойкость буровых долот возрастает на 20—35% (большие значения относятся к бурению крепких перемежающихся пород или к осложненным условиям — завалы, карсты и т. п., меньшие — к бурению монокристаллических пород). Наибольший экономический эффект получен на перемежающихся крепких породах. Кроме того, при автоматическом управлении бурением отсутствуют сильные вибрации, большие пиковые нагрузки тока, предотвращаются завалы и другие осложнения. Улучшаются условия эксплуатации и обслуживания буровых станков, снижается аварийность.

Надежность современной аппаратуры автоматического управления для буровых станков оценивается следующими показателями: средняя наработка на отказ 1000—2000 ч, коэффициент готовности 0,998, среднее время восстановления 0,5—2 ч, удельная трудоемкость восстановления и текущих ремонтов $1,1 \times 10^{-3}$. Увеличение надежности аппаратуры связано в основном с качеством ее изготовления и представляет резерв повышения производительности буровых станков и эффективности бурения.

Критерии эффективности бурения для систем управления. Система управления должна обеспечивать наилучшие технико-экономические показатели бурения по выбранному и введенному в нее критерию эффективности работы бурового станка: скорости бурения, производительности, времени работы долота на забое скважины до его полного износа и замены, энергии, затрачиваемой на бурение, себестоимости бурения (удельные приведенные затраты). Кроме того, при бурении должны соблюдаться ограничительные условия, например, вибрация оборудования и крутящий момент на долоте не должны превосходить установленные предельные уровни.

По способу использования критерии эффективности разделяются на критерии прямого и косвенного использования.

По прямым критериям производится непосредственное регулирование режима. Косвенные критерии могут использоваться в программах управления, составляемых заранее для систем управления.

К основным критериям эффективности относятся те, по которым выполняется регулирование параметров режима. *Главным критерием при бурении считается себестоимость* (удельные приведенные затраты).

Производительность станка, скорость бурения, энергия, затрачиваемая на бурение, удельный на единицу осевого усилия крутящий момент на долоте, удельная на единицу длины скважины мощность вращения бурового снаряда, удельная на единичное значение параметра режима скорость бурения — эти и некоторые подобные критерии имеют вероятностную связь с главным критерием.

Основные критерии при бурении экстремизируются системой управления.

К вспомогательным критериям относятся те, которые служат для ограничения параметров режима: предельный крутящий момент на долоте, предельная мощность вращения, предельные значения частоты вращения бурового снаряда и осевого усилия на забой, предельная величина виброскорости узлов конструкции станка (рабочего органа, мачты, кабины) и др.

Вспомогательные критерии вводятся в систему управления в виде ограничительных уставок на наибольшее или (и) наименьшее значение ограничиваемых параметров. Система управления поддерживает параметры режима в установленных пределах.

Программы для САУ с ручным управлением процессом бурения. Для систем управления с косвенным использованием основного критерия должны быть предварительно составлены параметрические программы их работы в функции изменчивости условий бурения (коэффициента крепости горных пород f , контактной прочности p_k и т. п.). Программы используются оператором при ручном управлении или вводятся в САУ при настройке.

Для составления программы проводится экспериментальное бурение на различных режимах и по полученному материалу рассчитываются оптимальные (по принятому критерию эффективности) их параметры (частота вращения бурового инструмента ω , осевое усилие на забой p и т. д.) для данного типа породы, долота, бурового станка. В качестве критерия эффективности обычно принимают стоимостной критерий (C — критерий), иногда — энергетический (E — критерий).

Для случая C — критерия оптимальные параметры ω , p , q , ..., ξ рассчитываются путем минимизации функции вида:

$$C = \left[\frac{z_1 + z_2 + k_e(z_1 + z_2)}{k_r \eta T_{сн}} \right] \left(\frac{1}{v(\omega, p, q, \dots, \xi)} + t_n \right) + C_e \frac{N(p, \omega, q, \dots, \xi)}{v(p, \omega, q, \dots, \xi)} + C_d \frac{1}{L(p, \omega, q, \dots, \xi)},$$

где z_a — сменный (плановый) норматив амортизационных отчислений; z_3 — сменный (плановый) норматив на оплату по тарифу за установленную мощность электрооборудования станка; z_k — затраты на материалы в среднем на рабочую смену (с учетом расходов на текущий ремонт); z_3 — сменные затраты по зарплате бригады; k_p — коэффициент использования годового фонда времени работы станка; η — коэффициент, учитывающий внутрисменные остановки машины; $T_{см}$ — продолжительность работы смены; t_b — удельное на единицу длины скважины время, затрачиваемое на вспомогательные машинные операции; v — скорость бурения; C_d — стоимость долота; L — стойкость долота; N — мощность, потребляемая агрегатами бурового станка при бурении; C_e — стоимость единицы расходуемой электроэнергии.

Стойкость бурового долота оценивается по его ресурсу R :

$$L = v_c T = v_c R / \omega,$$

где v_c — средняя скорость бурения; T — продолжительность работы долота.

Уравнения для оптимальных значений параметров ω_0 и ρ_k , учитывающие многочисленные факторы, влияющие на показатели бурения, имеют сложный вид. Приближенно они могут быть представлены в виде:

$$\rho_k = k_p f; \quad \omega_0 = k_\omega / f,$$

где k_p , k_ω — коэффициенты, определяемые из экспериментов.

Параметры ω и ρ_k можно оценить по косвенным величинам, например, по скорости бурения v . В этом случае для составления программных зависимостей используются уравнения:

$$\rho_k = k_v / v; \quad \omega_0 = k'_v v,$$

где k_v , k'_v — коэффициенты, определяемые экспериментально.

При составлении параметрических программ для САУ должны быть учтены также ограничения по ряду параметров ρ , ω , v углублению долота за один оборот вращения v/ω , мощности

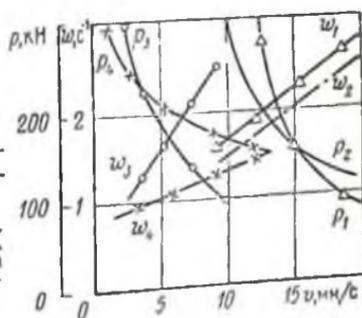


Рис. 7.1. Семейство оптимальных параметрических программ для системы управления, рассчитанное по С-критерию:

ω_1 , ρ_1 — для Черногорского разреза (долота ТП); ω_2 , ρ_2 — для Междуреченского разреза (долота ТП); ω_3 , ρ_3 — для карьеров комбината Уралабест (долота ОКП); ω_4 , ρ_4 — для Сербайского карьера ССГОК (долота ОКП, КП)

подачи p_v и т. д. (рис. 7.1). С учетом таких ограничений параметрические программы управления имеют вид:

$$\omega_0 = \omega_{\min} + c_v v / \omega; \quad p_0 = p_{\min} + c_p / (c'_v + v^2),$$

где ω_{\min} , p_{\min} — минимальные значения частоты вращения и осевого усилия; c_v , c'_v , c_p — коэффициенты.

7.3. КОМПЛЕКТНАЯ (ПОЛНАЯ) СХЕМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Для станка вращательного бурения она содержит (рис. 7.2): блок автоматического забуривания БЗ, систему автоматического управления САУ процессом бурения (по оптимальной программе или экстремального регулирования), анализатор осложнений АО, систему корректировки режимов бурения СКР; блок ограничений БО, систему ориентации СО; систему автоматизации вспомогательных операций АВО; систему дистанционного управления СДУ; информационно-измерительную систему ИИС; блок контрольно-измерительных приборов и сигнализацию БК.

Блок БЗ позволяет забуривать каждую скважину по особой программе, обеспечивающей устойчивость стенок скважины, нормальный крутящий момент на долоте, безвибрационный режим и т. д. По окончании забуривания станок переводится на управление по оптимальной программе или на экстремальное регулирование.

Система САУ обеспечивает оптимальное ведение процесса бурения в соответствии с выбранным критерием эффективности буровых работ. Часть информации для САУ вводится извне с помощью задатчиков, другая (основная часть) обеспечивается системой датчиков (текущая информация). В программных системах в САУ вводятся также необходимые программы управления.

Анализатор АО позволяет определять осложнения при тяжелых условиях бурения (завал скважины, закопаные участки, водонасыщенность, трещиноватость и т. п.) в самом начале их возникновения и на базе этой информации формировать воздействие, позволяющее предупредить аварийное состояние. Виды воздействий, которые могут быть введены в

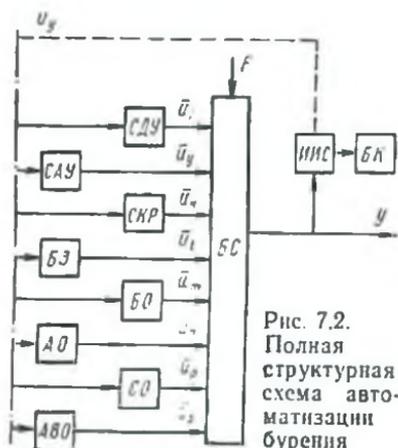


Рис. 7.2. Полная структурная схема автоматизации бурения

САУ для исполнения: снижение параметров режима бурения (ω , p); форсирование этих параметров, снятие осевого усилия, реверс подачи бурового снаряда и т. д. После ликвидации осложнений параметрам автоматически придаются прежние значения.

Блок БО позволяет ограничивать значения параметров режима бурения и выходных величин по предельным значениям (уставкам), введенным в систему.

Система СО предназначена для автоматической ориентации бурового станка на скважине по заданному углу наклона платформы (рабочего органа) бурового станка к линии горизонта, а также для ориентации на блоке по сетке скважин (при переезде от одной скважины к другой).

Система АВО позволяет выполнять сборку и разборку бурового става, снятие и установку бурового долота, управление задвижками и вентилями пневмотранспортной и пылеулавливающей систем, системой орошения и т. п.

Система СДУ обеспечивает ручное дистанционное управление основными и вспомогательными операциями.

Система ИИС дает необходимую информацию и совместно с блоком сигнализации БК обеспечивает непрерывный контроль параметров режима бурения, непрерывный или дискретный контроль вспомогательных и предельных параметров, запись необходимых величин и процессов, сигнализацию о возникающих неисправностях и т. д.

Функциональные схемы системы управления. По обобщенной схеме (рис. 7.3, а, б) буровой станок испытывает возмущение $f(t)$. Выходной сигнал $\bar{y}(t)$ бурового станка (скорость бурения, мощность, устанавливаемое осевое усилие и т. д.) преобразуется в функциональном преобразователе с помощью программы $\bar{y}_i(\bar{y})$, введенной в этот преобразователь при его настройке, в управляющий сигнал $\bar{u}_i(\bar{y})$, который суммируется в элементе ЭС с заданием \bar{x}_0 (оптимальное значение регулируемого параметра). Управление параметрами режима выполняется в САУ по сигналу $\bar{x}(t)$.

В САУ с регулированием по текущей скорости бурения $v(t)$ (рис. 7.3, б) процесс бурения оценивается с помощью сигнала датчика $D(v)$. Сигнал $u_v(t)$ преобразуется с помощью преобразователя ИФ1 по заложенной в нем программе, либо подается непосредственно на ИФ2 и ИФ3 для отдельного преобразования в сигналы управления частотой $\omega(t)$ и осевым усилием $p(t)$. Управление параметрами режима выполняется с помощью систем САР (ω) и САР (p) по разнице между сигналами, снимаемыми с ИФ1, ИФ2, ИФ3 и уставками ω_{\min} , p_{\max} предельных значений ω и p .

В схемах на рис. 7.3, в, г, в гидросистему бурового станка путем установки дросселя-жиклера с фиксированной величиной

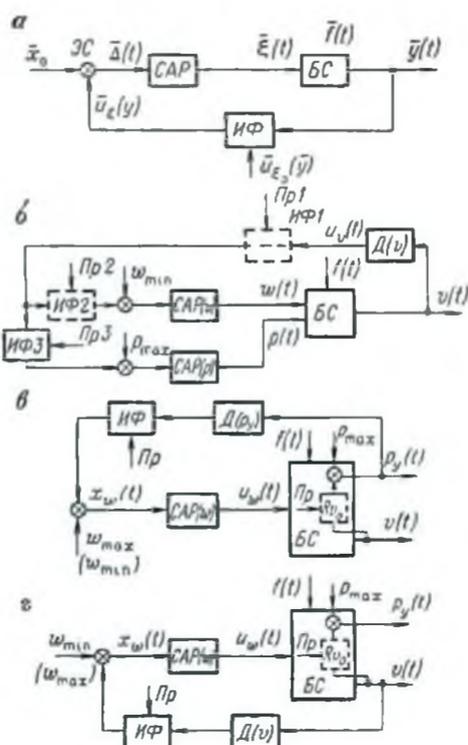


Рис. 7.3. Структурные схемы программных систем управления бурением: ИФ1, ИФ2 и ИФ3 — преобразователи сигналов; САР — управление параметрами режима бурения; Πр — программа преобразования

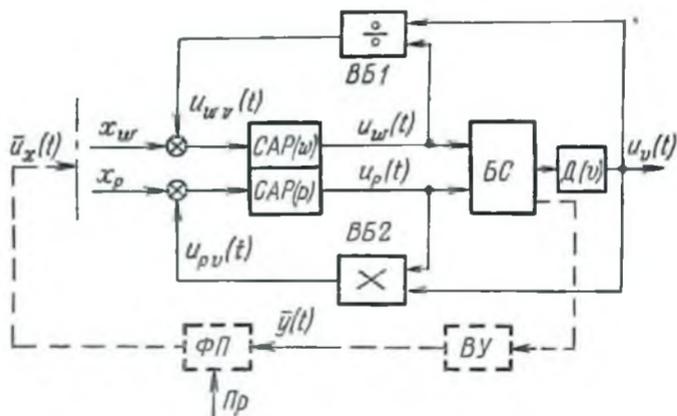


Рис. 7.4. Структурная схема комбинированной системы управления бурением

отверстия вводится гидросопротивление R истечению жидкости, так чтобы устанавливающее осевое усилие $p_y(t)$ определялось скоростью $v(t)$ бурения:

$$p_y(t) = p_{\max} - pv^n(t),$$

и было равно оптимальному значению $p_y(v) = p_{y0}(v)$. В схеме на рис. 7.3, а регулирование частоты вращения ω производится по сигналу от датчика $D(p_y)$ устанавливающегося усилия $p_y(t)$, преобразуемого в блоке ФП по вводимой в него программе преобразования Пр. В схеме на рис. 7.3, б частота ω вращения регулируется по сигналу датчика $D(v)$ скорости бурения $v(t)$, также преобразуемому в блоке ФП по вводимой в него программе преобразования Пр. На входы элементов регулирования этих схем вводятся уставки предельных значений регулируемого параметра.

В комбинированных схемах САУ обычно используют несколько критериев регулирования (рис. 7.4). Выходной параметр $u(t)$ бурового станка БС преобразуется датчиком $D(v)$ в напряжение $u_v(t)$, на основе которого формируются два критерия регулирования $u_{pv}(t)$ и $u_\omega(t)$. Для их формирования в составе САУ имеются вычислительные блоки ВБ1, ВБ2. Для регулирования каждого параметра режима имеется самостоятельная система регулирования по частоте САР(ω) и осевому усилию САР(p). На их входах вводятся уставки соответствующих предельных величин x_ω, x_p .

В этой схеме могут быть введены элементы приспособления САУ к условиям бурения (пример этого показан пунктирными линиями). Показатель $\bar{y}(t)$, определяющий приспособляемость САУ, вычисляется блоком ВУ и преобразуется затем в блоке ФП с помощью вводимой программы Пр преобразования. Полученный сигнал $\bar{y}_x(t)$ используется для регулирования величин уставок $x(\omega), x(p)$.

В программных САУ приспособляемость к условиям бурения может выполняться оперативно изменением вводимой программы (для этого в составе САУ должен быть, например, управляемый функциональный преобразователь). Необходимое изменение программы (функции преобразования) может осуществляться либо оператором, например, при смене типа долоща, вида месторождения, либо непрерывно или дискретно вычисляться специальным блоком на основе оперативной информации.

Согласно экстремальной (самонастраивающейся) САУ бурением (рис. 7.5) система ИИС станка содержит датчики, преобразователи сигналов этих датчиков и т. д., на основе информации которых блоками БПК формируется показатель эффективности (качества) бурения $s(t)$ (например, себестоимость бурения, энергоемкость и т. п.). После преобразова-

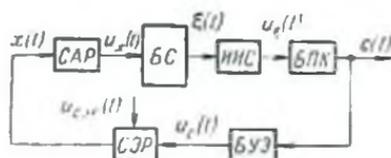


Рис. 7.5. Структурная схема экстремальной системы управления бурением

ния характеристик показателя качества $c(t)$ блоком улучшения качества БУЭ этот сигнал подается на вход системы СЭР экстремального регулирования, которая ведет поиск оптимального значения каждого параметра режима бурения с помощью соответствующих САР по программе $u_{сэп}(t)$, вводимой извне заранее или по мере надобности.

На основе рассмотренных принципов построения САУ разработан ряд принципиальных схем систем управления, разнообразных по составу элементов и выполнению узлов (табл. 7.2).

7.4. АППАРАТУРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БУРОВЫМИ СТАНКАМИ

Комплектное устройство для управления приводами буровых станков шарошечного действия УКБС200 выпускается серийно. В его состав входят блоки (шкафы) управления главным приводом вращения бурового снаряда, приводами вспомогательных машин и механизмов и вспомогательная аппаратура. Составной частью комплекта электрооборудования УКБС-200 является аппаратура управления процессом бурения, воздействующая на приводы подачи и вращения бурового снаряда. Она представляет собой технологическую систему оптимизации процесса бурения в функции свойств горных пород, которые разбуриваются буровым станком и обладают случайным характером залегания.

Аппаратура управления процессом бурения выполнена в виде шкафа автоматизации, работающего в комплексе с набором датчиков и регуляторов, имеющих в составе системы управления, и контрольно-измерительной аппаратурой, имеющейся в составе станка на его пультах управления.

Управление процессом бурения производится в соответствии с выбранным оператором станка критерием эффективности из набора критериев, имеющих в системе управления. Шкаф автоматизации унифицирован и может использоваться на станках как с гидравлической системой подачи бурового става на забой, так и с электрической.

В состав аппаратуры (рис. 7.6) входят: датчик скорости бурения ДСБ, датчик нагрузки ПДН, датчики тока I момента M и вибрации ДВ; преобразователи сигналов датчиков вибрации РГ5(1), частоты вращения ω бурового инструмента РГ5(2), скорости бурения ПДСБ и осевого усилия p ; вычисли-

Таблица 7.2
Технологические системы управления процессом бурения

№ рисунка	Вид САУ	Основной критерий работы	Формула управления
7.3, а	Программная по $c_{\min}(f)$	$y(t)$	$\xi(t) = x_0 + \bar{u}_\xi(y, t) - \bar{u}_\mu(t);$
7.3, б	То же	$v(t)$	$\left. \begin{aligned} \omega(t) &= \omega_{\min} + u_\omega(t) - u_\gamma(t); \\ \rho(t) &= \rho_{\max} - u'_\rho(t) - u_M(t); \end{aligned} \right\}$
7.3, в	→	$v(t)$	$\left. \begin{aligned} \omega(t) &= \omega_{\max} - u_\rho(t) - u_\gamma(t); \\ \rho(t) &= \rho_y(t) = \rho_{\max} - Rv^n(t) - u_M(t); \end{aligned} \right\}$
7.3, г	→	$v(t)$	$\left. \begin{aligned} \omega(t) &= \omega_{\min} + u_\omega(t) - u_\gamma(t); \\ \rho(t) &= \rho_y(t) = \rho_{\max} - Rv^n(t) - u_M(t); \end{aligned} \right\}$
7.4	→	$\begin{aligned} u_{\omega v}(t) \\ u_{\rho v}(t) \end{aligned}$	$\left. \begin{aligned} \omega(t) &= x_\omega + u_{\omega v}(t) = \omega_{\min} + F[u_\omega(t), u_\omega(t)] - u_\gamma(t); \\ \rho(t) &= x_\rho + u_{\rho v}(t) = \rho_{\max} + F'[u_\rho(t), u_\rho(t)] - u_M(t); \end{aligned} \right\}$
7.4 (с пунктирным контуром)	Адаптивная с настройкой программы	$\begin{aligned} u_{\omega v}(t) \\ u_{\rho v}(t) \\ y(t) \end{aligned}$	$\left. \begin{aligned} \omega(t) &= x_\omega(t) + u_{\omega v}(t) = F_1[y(t)] + F_2[u_\omega(t), u_\omega(t)] - u_\gamma(t); \\ \rho(t) &= x_\rho(t) + u_{\rho v}(t) = F'_1[y(t)] + F'_2[u_\rho(t), u_\rho(t)] - u'_M(t); \end{aligned} \right\}$
7.5	Экстремальная	$c(t)$	$\xi(t) = \xi_0(t) \text{ при } c(t) = c_{\text{экстр}}(t) \pm F''[u_M(t)].$

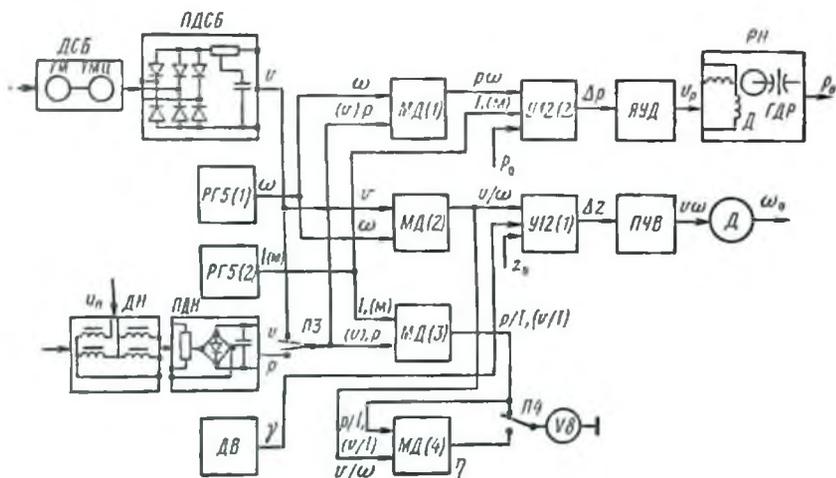


Рис. 7.6. Структурная схема системы управления бурового станка ЗСБШ-200-60

тельное устройство, собранное на четырех множително-делительных ячейках типа МД—АИЭ и двух усилителях ЯУД.

Шкаф автоматизации позволяет вести регулирование параметров режима бурения по следующим критериям:

а) по отношению мощностей подачи и вращения бурового снаряда

$$\eta = \rho v / (\omega M);$$

б) по отношению квадрата скорости бурения к мощности вращения

$$\eta' = v^2 / (\omega M);$$

в) по отношению осевого усилия к крутящему моменту на долоте ρ/M (при этом $v/\omega = \text{const}$);

г) при постоянном заданном значении произведения осевого усилия на частоту вращения ω или отношения скорости бурения v к частоте вращения ω .

Наличие дополнительного блока экстремального регулятора дает возможность производить экстремальное регулирование по ряду критериев (например, по критериям пунктов а, б, в).

Одновременно с регулированием параметров режима бурения по любому критерию аппаратура автоматизации позволяет корректировать эти параметры по устанавливаемому (максимально допустимому) значению (уровню) вибраций бурового органа и предельному значению крутящего момента на двигателе вращательно-подающего механизма.

Сигнал, получаемый от тахомоста двигателя вращателя, пропорциональный частоте вращения ω бурового инструмента, после преобразования его подается на вход множительно-делительного устройства МД(1). На второй вход МД(1) с преобразователей ПДСБ или ПДН через переключатель ПЗ поступает сигнал, пропорциональный соответственно скорости бурения v или осевому усилию p .

На выходе блока МД(1) вырабатывается сигнал $p\omega$, пропорциональный произведению частоты вращения ω на осевое усилие p , равный текущему значению режима бурения. Этот сигнал поступает на усилитель У12(2). Сюда же поступает заданное оптимальное значение осевого усилия p_0 . В усилителе сигналы p и p_0 сравниваются. На третий вход усилителя У12(2) от шунта якоря двигателя через преобразователь ДТ(1) подается корректирующий сигнал I , пропорциональный крутящему моменту M .

На выходе усилителя У12(2) вырабатывается сигнал Δp , равный разнице текущего значения осевого усилия p и оптимального значения p_0 , скорректированный по величине крутящего момента M на двигателе вращателя. Сигнал Δp подается на вход ячейки управления двигателем ЯУД, где преобразуется в напряжение переменного тока u_p , которым управляется двигатель Д (типа РД-09) регулятора нагрузки РН. Двигатель РД-09 жестко сочленен с гидродросселем ГДР, с помощью которого регулируется давление масла в гидросистеме подачи рабочего органа бурового станка.

На первый вход МД(2) через преобразователь ПДСБ от датчика скорости бурения ДСБ подается сигнал, пропорциональный скорости бурения. На второй вход МД(2) поступает сигнал, пропорциональный частоте вращения ω бурового инструмента.

На выходе устройства МД(2) вырабатывается сигнал v/ω , пропорциональный текущему углублению бурового инструмента за один оборот его вращения, который поступает далее на вход усилителя У12(1) для сравнения его с задаваемым значением оптимального углубления z_0 .

На третий вход усилителя У12(1) подается корректирующий сигнал вибрации γ от датчика вибрации ДВ.

На выходе усилителя У12(1) вырабатывается сигнал Δz , равный разнице текущего значения углубления v/ω и оптимального значения углубления z_0 бурового инструмента за один оборот его вращения, скорректированный по величине виброскорости γ .

Сигнал Δz подается на вход преобразователя частоты вращения ПЧВ, преобразуется в напряжение, которым управляется двигатель Д вращательно-подающего органа станка.

Критерий эффективности режима бурения η вычисляется множителемно-делительными блоками МД(3) и МД(4), текущие значения которых поступают через переключатель ПЗ на вольтметр V8. В зависимости от желания оператора бурового станка переключателями ПЗ, П4 выбирается либо критерий удельного осевого усилия p/M , либо критерий удельной скорости бурения v/M , либо критерий η , равный, в одном случае $pv/(\omega M)$, в другом $v^2/(\omega M)$.

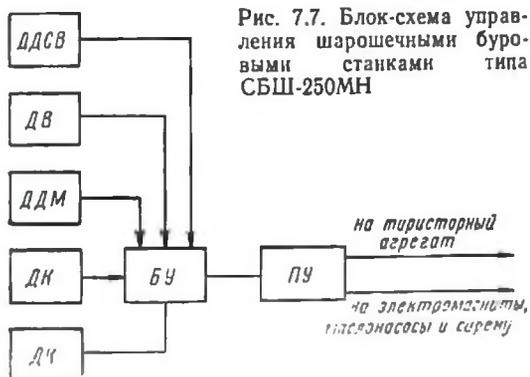
Рукоятки задатчиков углубления z_0 и показателя режима бурения p_0 первоначально должны быть установлены в средние положения. Тем самым вводятся задания p_0 и z_0 , соответствующие средним по величине значениям ω и p . При включении САУ происходит автоматическое установление частоты вращения ω двигателя вращателя и осевого усилия p на буровом инструменте, соответствующие установленным средним значениям p_0 и z_0 . Затем проводят поиск оптимальных значений углубления z_0 и показателя режима бурения p_0 . Для этого с помощью задатчика показателя z_0 режима бурения изменяют величину задания p_0 , добиваясь максимального значения показания прибора V8 по вольтметру V8.

Далее, оставляя найденное значение показателей неизменным, меняют уставку p_0 с помощью задатчика углубления. Проводят последовательный поиск p_0 и z_0 , добиваясь максимума показаний прибора V8, при котором величины p_0 и z_0 имеют оптимальные значения.

После нахождения оптимальных значений p_0 и z_0 , система управления будет работать автоматически без переключения и переналадок до тех пор, пока не изменится резко величина критерия эффективности бурения, что контролируется по прибору V8. При резком изменении величины выбранного критерия надо повторить поиск величин уставок z_0 и p_0 . Это же необходимо делать и при замене типа бурового инструмента для бурения скважин.

Устройство для управления буровым станком СБШ-250МН конструкции Московского горного института обеспечивает возможность ведения процесса бурения на всю глубину скважины в автоматическом режиме с постоянным контролем условий работы долота на забое по критерию максимальной производительности. Основные размеры устройства $480 \times 285 \times 165$ мм, масса 18 кг, питающее напряжение 280 В. Съём первичной информации и подача управляющих сигналов происходит по следующим контрольным точкам на буровом станке:

1. Воздушная магистраль продувки долота.
2. Цепь управления оборотами двигателя вращателя (управляющая обмотка тиристорного преобразователя).
3. Цепь управления осевым усилием.



4. Электромагнитные золотники и двигатель маслостанции.
5. Рабочая площадка мачты станка (вибрация).
6. Крайние верхние и нижние положения опорного узла на мачте.

Блок-схема устройства приведена на рис. 7.7.

Основные принципы работы устройства. Работая по мягким или твердым породам, задают начальный режим бурения по давлению и оборотам. Автоматически устанавливается максимально возможное для данной породы давление и скорость вращения буровой штанги.

В случаях зашламовывания долота повышается давление в магистрали продувки долота, контролируемое датчиком давления сжатого воздуха ДДСВ (см. рис. 7.7). При давлении $>0,6$ МПа, блок управления БУ выдает сигнал в блок управления силовыми элементами ПУ. Буровой снаряд начинает медленно подниматься при минимальных оборотах вращения. Если за время медленного подъема (время можно установить до 10 с) долото не очистилось от шлама (давление в магистрали осталось прежним), то блок управления БУ переключает работу станка на быстрый подъем и при достижении опорным узлом верхнего положения на мачте срабатывает датчик контроля положения (вращателя станка ДК), подъем бурового става прекращается, и включается сигнализация (сирена). Если долото очистилось от шлама во время быстрого подъема (давление в магистрали продувки долота $<0,59$ МПа), то блок управления БУ переводит станок в режим быстрого, а затем медленного опускания бурового снаряда до первоначальной глубины и рабочий режим бурения продолжается далее.

При возникновении вибрации, превышающей установленный допустимый уровень, сигнал датчика вибрации ДВ поступает в блок управления БУ, в котором вырабатывается сигнал управления тиристорным агрегатом, подаваемый на него через пульт управления ПУ. В результате происходит плавное уменьшение

оборотов двигателя вращателя до тех пор, пока уровень вибрации станка не станет равным установленному. При снижении вибрации блок управления БУ формирует управляющий сигнал увеличения оборотов двигателя вращателя, что снижает пиковые динамические нагрузки на долото и сводит к минимуму влияние субъективных факторов на процесс бурения.

При бурении в перемежающихся по крепости горных породах датчик давления масла ДДМ выдает сигнал, так как при работе в мягких и крепких породах в системе подачи долота на забой скважины давление составляет соответственно менее и более 4,9 МПа, и блок управления БУ автоматически переключает работу станка с одного режима на другой.

По достижении опорным узлом нижнего положения на мачте (штанга забурена полностью) в блок управления БУ подается сигнал с датчика контроля положения вращателя ДК и станок переводится в режим сигнализации, характеризуемый снятием осевого усилия на забой и уменьшением оборотов.

Промышленная эксплуатация устройства производилась на Ингулецком ГОКе в течение 1979—1987 гг. на буровых станках СВШ-250МН. Техничко-экономический эффект от внедрения устройства обусловлен: увеличением срока службы бурового оборудования за счет снижения динамических нагрузок; увеличением проходки на долото; снижением времени на вспомогательные операции, текущий ремонт и аварийные простои; снижением материальных затрат на текущий ремонт; повышением производительности бурового станка; улучшением санитарно-гигиенических условий труда машиниста.

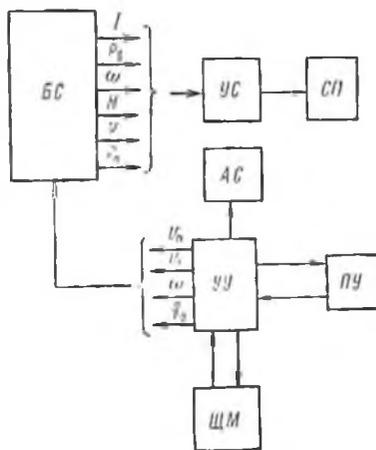
Внедрение системы автоматического управления процессом бурения станком СВШ-250МН на Ингулецком ГОКе позволило: увеличить производительность станка на 10—15%, стойкость долот — на 10%; обеспечить автоматическую ликвидацию зашламовывания долота при бурении; осуществить защиту станка от вибрационных нагрузок; сократить время на вспомогательные операции и повысить надежность работы узлов станка.

Экономический эффект от внедрения системы автоматического управления процессом бурения на один станок составил 14,5 тыс. руб в год.

Применение системы автоматического управления процессом бурения, помимо экономического эффекта, имеет большой социальный эффект, так как улучшает санитарно-гигиенические условия труда машиниста как за счет снижения уровня шума и вибрации в кабине машиниста, так и за счет возможности машиниста покидать кабину в процессе бурения скважин и тем самым уменьшить время воздействия повышенного шума и вибрации на организм. Создается возможность обслуживания нескольких станков одной буровой бригадой.

Рис. 7.8. Блок-схема автоматического управления буровыми станками фирмы «Бюсайрус Ирн»:

БС — буровой станок; УС — усилитель-серворегулятор; УУ — устройство управления; ПУ — пульт управления мастера; ЩМ — щит управления мастера; АС — сигнализатор аварийного режима; СП — самопишущий прибор; I — ток двигателя; P_a — давление воздуха или водовоздушной смеси; H — глубина бурения; v — скорость бурения; P_n — усилие подачи



Аппаратура для управления зарубежными буровыми станками. Аппаратура для управления станками фирмы «Бюсайрус-Ирн» включает системы автоматического управления процессом бурения, форсированного бурения, управления буровым ставом, аппаратуру защиты от вибраций, зашламовывания, перегрузок, контроля параметров бурения, сигнализации окончания бурения. Предусмотрена автоматическая запись параметров процесса бурения.

Система управления станками 60R, 61R серии III имеет блочную конструкцию (рис. 7.8). Устройства системы управления воздействуют на скорость подачи бурового инструмента v_n , частоту вращения ω , скорость нагнетания воды v_b , объемный расход воздуха q_0 . Имеется щит управления мастера, на котором заранее устанавливается ряд параметров процесса бурения. Пульт управления позволяет мастеру оперативно регулировать некоторые параметры. Система управления ограничивает горизонтальные вибрации уменьшением частоты вращения, вертикальные вибрации — уменьшением скорости подачи бурового инструмента. При зашламовывании подача воды в скважину, скорость подачи и прекращается осевого усилия и увеличивается расход воздушно-водяной смеси. Имеется устройство автоматического подъема бурового снаряда из скважины для перебуривания. Переключением дополнительных блоков можно изменять степень автоматизации.

Система автоматического управления буровыми станками фирмы «Марнон» (рис. 7.9) имеет гидростатический привод подачи, состоящий из двух насосов

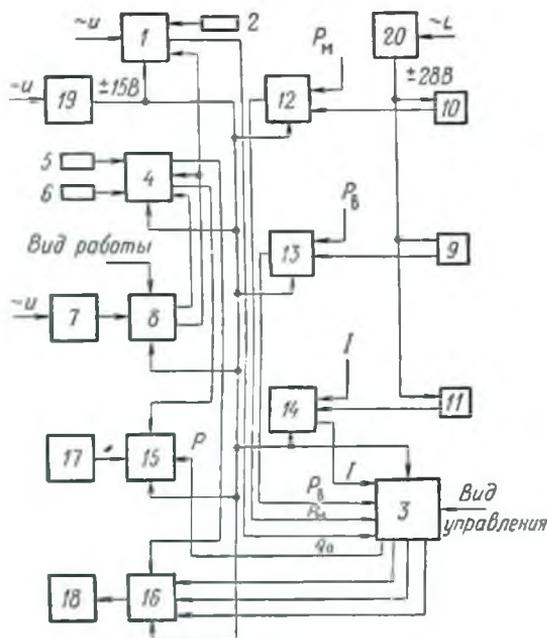


Рис. 7.9. Блок-схема системы управления буровыми станками М4-СС фирмы «Марпюн»

и двух радиально-поршневых гидродвигателей, которые управляются электронной системой, либо вручную.

Автоматическое управление производится в функции одного из параметров: давления в гидросистеме подачи, давления в пневмотранспортной системе, потребляемого тока двигателя вращения бурового снаряда. От блока управления пределом движения I напряжение питания поступает на переключатель 2 ручного подъема-опускания. В блоке 1 формируется также сигнал обратной связи, который поступает в мультиплексор 3. Блок 4 предназначен для управления движением. Рычаги 5, 6 служат для местного и дистанционного управления движением. Выбор местного или дистанционного управления производится переключателями 7 через блок логического управления и питания 8. В комплект системы управления входят датчики давления воздуха 9, масла 10, преобразователь тока двигателя вращателя 11 с усилителями сигналов 12, 13, 14, на входе которых имеются устройства ввода соответствующих уставок. Мультиплексор 3 принимает выходные сигналы усилителей и преобразователя и приводит их в соответствие с положением рукоятки подъема-опускания, а также вырабатывает сигнал, пропорциональный величине снижения производительности насоса (для

уменьшения давления масла, воздуха и тока двигателя вращателя до предельно установленных значений). В систему управления входят два усилителя мощности 15, 16 для приведения в действие сервоклапанов 17, 18, а также блоки питания 19, 20 датчиков и других цепей управления. Настройка системы сводится к установке необходимых предельных значений ограничиваемых параметров и регулировке величины усиления.

7.5. ЭЛЕКТРОПРИВОД БУРОВЫХ СТАНКОВ

Электропривод отечественных буровых станков. Классификация электроприводов. Различают электроприводы вращателя, подачи бурового снаряда на забой, пневмотранспортной системы, вспомогательных агрегатов станка. Главным электроприводом является привод вращателя.

Типы приводов, применяемых на станках для вращателей: асинхронный нерегулируемый или ступенчато регулируемый, регулируемый постоянного тока. Наиболее широко распространены приводы вращателей на постоянном токе с регулированием по системе «магнитный усилитель — вентиляльный преобразователь — двигатель» (МУ-ВП-Д) и «тиристорный преобразователь — двигатель» (ТП-Д). На буровых станках прежних выпусков установлен привод по системе «генератор — двигатель постоянного тока — электромашинный усилитель» (Г-Д-ЭМУ).

Основные характеристики главных приводов: напряжение питания 380 В, мощность привода 25,0—75,0 кВт, ток нагрузки 100—200 А, диапазон регулирования 3,0—25 с⁻¹.

Электропривод вспомогательных механизмов применяется в основном на переменном токе.

Требования, предъявляемые к электроприводу, в значительной мере определяются условиями его работы: вибрации, динамические удары, запыленность, большая влажность воздуха, атмосферные воздействия.

Решающее влияние на работу электропривода вращателя оказывают режимы бурения, которые определяют технологическую эффективность буровых работ. Электропривод вращателя должен быть надежен в работе и экономически выгоден в эксплуатации. Он должен обеспечивать заданный диапазон регулирования частоты вращения бурового снаряда, в соответствии с параметрами бурового процесса (величиной осевого усилия, объемного расхода сжатого воздуха или воздушно-водяной смеси для удаления продуктов разрушения из забоя скважины, скоростью бурения и т. п.) для всех типов горных пород и в соответствии с их физико-механическими свойствами.

Привод должен обеспечивать на выходном валу необходимой величины крутящий момент, развивать достаточную мощ-

ность для преодоления статических сопротивлений горных пород при бурении. Жесткость механических характеристик должна удовлетворять технологическим требованиям процесса бурения. При выборе типоразмера электропривода необходимо учитывать значения его коэффициента полезного действия (КПД) при различных режимах работы бурового станка, а также режимы работы, обеспечивающие минимальные потери расходуемой электрической энергии. Электропривод вращателя должен обеспечивать ручное и автоматическое управление режимами работы, автоматическое регулирование параметров и контроль основных показателей привода.

Асинхронный нерегулируемый и ступенчато регулируемый приводы. Электрические схемы буровых станков, оборудованных таким приводом, в большинстве идентичны, поэтому в качестве примера рассмотрим принципиальную схему управления электроприводом вращателя бурового станка СБШ-250 МН. В электроприводе применен короткозамкнутый асинхронный электродвигатель мощностью 75 кВт и двухскоростной редуктор, обеспечивающий частоту вращения на выходном валу 1,35 и 2,62 с⁻¹. *Достоинства* такого привода: простота схемы управления, высокая надежность при работе в условиях сильной вибрации конструкции и колебаний тока нагрузки при бурении в крепких и трещиноватых породах, низкая стойкость по сравнению с другими типами приводов. *Основные недостатки* привода: невозможность плавного изменения частоты вращения бурового снаряда и, как следствие, невозможность обеспечения оптимального режима при бурении пород с переменной крепостью, что ограничивает применимость привода.

Для главного электропривода вращателя предпочтительнее привод постоянного тока с плавным регулированием частоты вращения. Такой привод обеспечивает оптимальные параметры при бурении горных пород с различными коэффициентами крепости.

На ряде станков (БАШ-320, 2СБШ-200Н и т. п.) применяются приводы постоянного тока с преобразователем на силовых магнитных усилителях (МУ-ВП-Д). Автоматизированный привод системы МУ-ВП-Д по сравнению с приводом Г-Д-ЭМУ более надежен, характеризуется большим сроком службы, сравнительно малыми габаритами и массой, довольно высоким КПД. Система управления такого привода обеспечивает плавное регулирование частоты вращения в пределах 4,3—22 с⁻¹, что при наличии четырех ступеней редуктора вращателя обеспечивает четыре комбинации передаточных чисел с крутящим моментом от 2120 до 6650 Н·м.

На буровых станках выпуска последних лет (СБШ-250-55, ЗСБШ-20-60) в качестве главного электропривода применяются приводы с двигателем постоянного тока и

статическими преобразователями на тиристорах. Они обладают значительно лучшими механическими характеристиками по сравнению с другими типами приводов, надежны и просты в эксплуатации.

Электропривод зарубежных буровых станков. Для большинства зарубежных буровых станков характерным является применение электрического привода вращателя, механизмов хода, подачи (подъема) бурового снаряда, компрессора.

Для привода вращателя применяется электропривод переменного и постоянного тока по системам Г-Д с релейно-контакторным управлением (РКУ) или тиристорным возбуждением (ТВ), а также по системе ТП-Д.

На станках фирм «Бюсайрус-Ири» и «Джой» применяется привод переменного тока с асинхронным электродвигателем и тиристорным регулятором в статоре (AD-TRC), а также с многоскоростным асинхронным двигателем (AD-M). В приводах механизма вращателя станков 60R, 61R, M5, G130 используются два двигателя постоянного тока, а в остальных — один. Два генератора применены на станке M5.

На станках M4, M5 фирмы «Маррион» в электроприводе по системе Г-Д с ТВ применен тиристорный возбудитель типа IC3605 фирмы «Дженерал Электрик», с помощью которого изменяется ток в обмотке возбуждения генератора. Механические характеристики привода формируются введением отрицательных обратных связей по напряжению и току, подаваемых к регулятору от делителя напряжения и шунта. Обмотка независимого возбуждения двигателя получает питание от трехфазного статического возбудителя на кремниевых диодах. Тиристорный возбудитель состоит из силовой части, системы фазоимпульсного управления, системы регулирования, аппаратуры управления. Регулятор тиристорного возбудителя осуществляет суммирование задающего сигнала и сигналов обратной связи по напряжению и току.

Система фазоимпульсного управления выполнена на интегральных микросхемах в виде плат с печатным монтажом. В ней используются амплистаты залитого исполнения. Реверсирование двигателя производится путем изменения полярности в цепи задающей обмотки системы регулирования. Генератор постоянного тока машинного преобразовательного агрегата получает вращение от асинхронного короткозамкнутого электродвигателя. Механические характеристики привода близки к экскаваторным.

Подобный привод имеют также станки 40R, 60R, 61R, GD100, GD120, GD130. На этих станках (кроме станка 40R) в преобразовательных агрегатах используются высоковольтные асин-

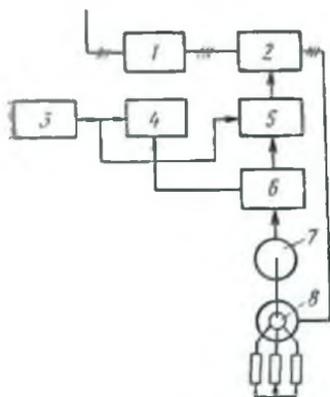


Рис. 7.10 Функциональная схема электропривода по системе АД-ТРС буровых станков 45R, 55R фирмы «Бюсайрус-Ири»

хронные электродвигатели, на станке 40R генератор приводится во вращение от двигателя компрессора.

На станках фирмы «Гарднер Денвер» применяются двигатели постоянного тока экскаваторного типа. Защита от пыли тиристорных возбuditелей обеспечивается избыточным давлением воздуха в машинном отделении.

На станках 45R и RR-12E электропривод вращателя выполнен по системе ТП-Д. На станке 55R в приводе вращателя применен асинхронный двигатель с фазным ротором и тиристорным регулятором в цепи статора (АД-ТРС). Особенностью этого привода является использование асинхронного двигателя с включением в цепь ротора резисторов, обеспечивающих совпадение максимального и стопорного моментов.

Напряжение к статору электродвигателя 8 подается через автоматический выключатель и тиристорный регулятор 1, в каждую фазу которого включены по встречно-параллельной схеме два тиристора (рис. 7.10). Между тиристорным регулятором и двигателем включены контакторы 2 для реверсирования электродвигателя. Вал электродвигателя 8 соединен с тахогенератором 7, напряжение от которого, а также от задающего потенциометра 3 подается в систему управления приводом, который осуществляет управление тиристорами с помощью модуля зажигания 4, и реверсивными контакторами — с использованием модуля силового управления 5. Частота вращения двигателя задается с помощью потенциометра 3, напряжение с которого поступает на модуль фазоимпульсного управления 4, что обеспечивает поддержание тиристорами уровня напряжения на выходе силовой части до тех пор, пока частота вращения двигателя 8 не достигнет заданной величины. Напряжение тахогенератора 7, подаваемое на модуль управления 6, сравнивается с сигналом управления и обеспечивает ограничение на заданном уровне частоты вращения двигателя. При снижении уровня сигнала управления и появлении разницы между напряжением обратной связи от тахогенератора 7 и задающего потенциометра 3 модуль силового управления 5 включает контактор обратного вращения и двигатель 8 тормозится.

В механизмах подачи рабочего органа применяется также электрический привод переменного и постоянного тока по системам АД-ТРС, ГД-ТВ.

Привод компрессора осуществляется от асинхронных короткозамкнутых двигателей. Для управления устройством очистки фильтров пылеулавливающей системы на ряде станков США применяется система «Амерпульс». Она определяет частоту и продолжительность работы электромагнитных клапанов, через которые сжатый воздух подается к фильтрам, и обеспечивает их встряхивание и очистку от пыли.

8. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ БУРЕНИЯ

8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Оптимальные параметры бурения и их связь с показателями физико-механических свойств горных пород составляют технологическую основу ряда инженерных задач: определения рациональных режимов бурения и параметров исполнительных органов буровых станков; разработки принципов и создания средств оптимального управления процессом бурения; оценки целесообразной области применения различных способов бурения; прогнозирования параметров и технико-экономических показателей новой буровой техники и технологии.

Проблема выбора и поддержания оптимальных режимов бурения связана с решением задач оптимизации: проектированием новых, эксплуатацией действующих и выбором оптимальных типоразмеров буровых станков. Решение указанной проблемы определяет необходимость разработки математической модели системы забой скважины — долото — буровой станок, отражающей не только физические закономерности разрушения горной породы и износа долота, но и основные технико-экономические связи и конструктивные параметры буровых станков.

Обобщенная структурная классификация параметров бурения взрывных скважин как объекта оптимизации представлена на рис. 8.1.

Управляемые параметры $У$, характеризующие технические возможности бурового станка и граничные условия, разделяются на оперативно регулируемые режимные параметры UED (осевое усилие на долото p , частота вращения долота ω и расход продувочного агента) и на неоперативно изменяемые параметры C , к которым относятся заданные технико-экономические параметры A (коэффициент эффективного использования бурового станка η , глубина бурения L , различные экономические расходы, стоимость долот C_d и др.) и конструктивные K пара-

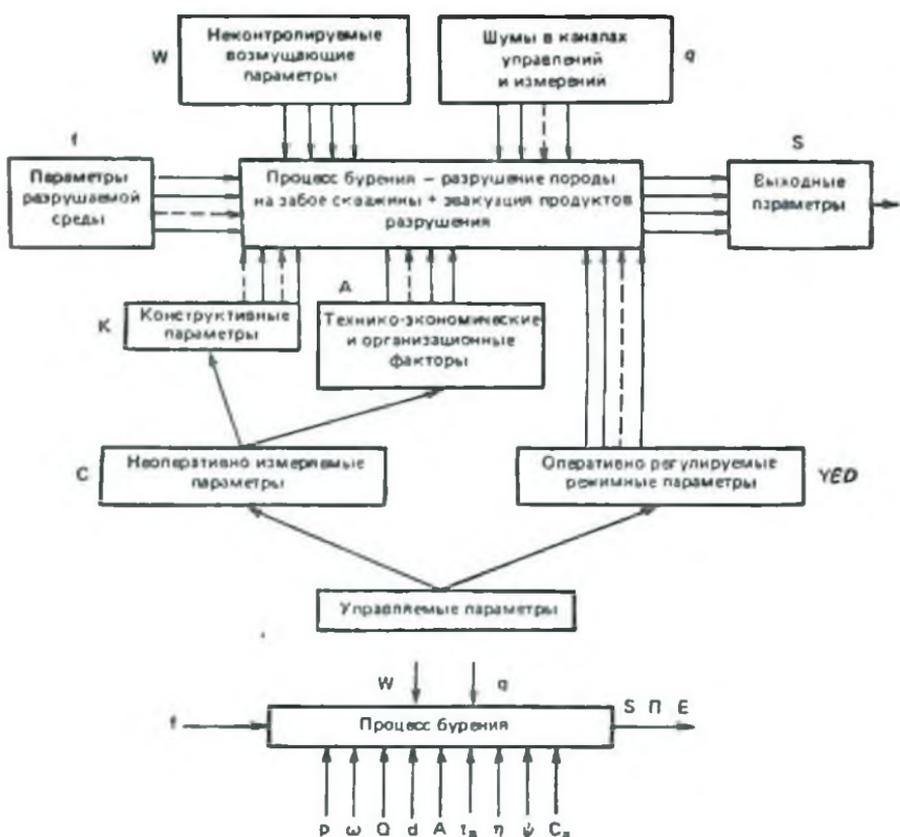


Рис. 8.1. Структурная классификация параметров процесса бурения

метры бурового станка. Из последних наиболее существенное влияние на показатели бурения и возможность реализации оптимальных режимов бурения оказывают мощность N и характеристика привода вращателя; диаметр d , конструкция и ресурс работоспособности долота ψ , удельные потери рабочего времени на вспомогательные операции t_n , в том числе на спуско-подъемные машинные операции k_x , зависящие от конструкции вращательно-подающего органа и длины бурильных штанг.

К параметрам разрушаемой среды f относится комплекс показателей, характеризующих горную породу как объект разрушения при бурении. В группу неконтролируемых параметров входит ряд возмущающих воздействий на процесс бурения, включая шумы в каналах управления и измерений, носящих случайный характер и не поддающихся, как правило, точным количественным определениям.

Выходные параметры S количественно и качественно характеризуют физические результаты процесса разрушения породы (скорость бурения v , энергоемкость E разрушения единицы объема породы, износ долота l_d) и технико-экономические показатели бурения (производительность бурового станка P_c , технологическая себестоимость, удельные приведенные затраты $S_{пр}$ на бурение и др.).

Наиболее важные связи между параметрами выделенных групп представляются уравнениями вида:

$$S = \varphi(f, Y, K, A); \quad Y = \varphi(f, K, A),$$

где S, f, Y, K, A — соответствующие группы параметров.

Уравнения представляют собой в общем виде математическую модель системы «забой скважины — долото — буровой станок», которая позволяет получить общее решение. Уравнения выражают оптимальные управления процессом бурения, если величины Y соответствуют экстремальным значениям критерия оптимальности из группы \bar{S} для каждого комплекса параметров f .

Структурная схема выбора параметров бурового инструмента представлена на рис. 8.2.

Имеются два основных подхода к созданию методов расчета параметров буровых станков и оптимальных режимов бурения:

- 1) на основе теорий разрушения горных пород;
- 2) экспериментально-статическое получение данных о разрушении горных пород в лабораторных и натуральных условиях с последующим построением на этой основе аналитического аппарата для прогнозирования показателей процесса бурения.

Множество существующих теорий механического разрушения горных пород может быть сведено к энергетической теории. *Рациональным способом разрушения и оптимальным режимом разрушения считают такой, который обеспечивает минимальную энергоемкость, поскольку при этом, как правило, достигается максимальная производительность.*

Объем разрушаемой горной породы в единицу времени V непосредственно зависит от мощности N , подводимой к забою скважины:

$$V = N/E,$$

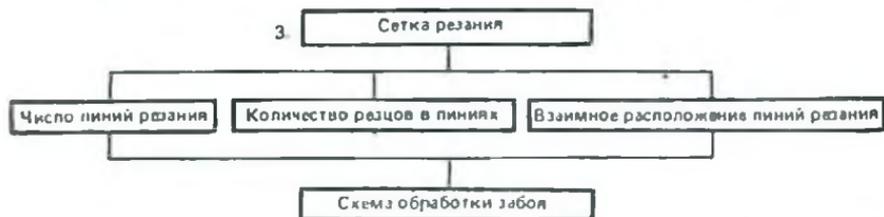
где E — энергоемкость разрушения горной породы.

Применительно к скважине можно записать, что

$$V = vF,$$

где v — скорость бурения скважины; F — площадь забоя. Отсюда

$$v = \frac{1}{E} \cdot \frac{N}{F}.$$



Величину $N/F = N_0$ называют удельной забойной мощностью. Тогда

$$v = N_0/E$$

Таким образом, скорость бурения пропорциональна удельной забойной мощности и обратно пропорциональна энергоемкости разрушения горной породы.

Мощность N ограничена прочностью бурового инструмента. Наиболее эффективно подведенная к забою мощность будет реализована таким породоразрушающим инструментом и при таком режиме его работы, которые обеспечат минимальную величину E .

Согласно энергетической теории разрушения твердых тел, основанной на законе сохранения энергии, целесообразно определять ту часть введенной в породу энергии, которая расходуется на разрыв связей минералов в породе, и, установив, какой объем породы удерживают эти связи, вычислить величину отделяемого объема и общие затраты энергии на отбойку или дробление породы.

При внедрении породоразрушающего элемента долота в породу имеет место скачкообразное разрушение породы с образованием в зоне контакта ядра уплотнения, трещин и выкола породы (хрупкое разрушение). Считают целесообразным стремиться в процессе бурения к постоянству удельной мощности, которая может быть реализована породоразрушающим инструментом.

Основные положения теории разрушения твердых тел и горных пород необходимо учитывать при определении целесообразных способов бурения, параметров станков и режимов бурения. Однако существующий уровень развития теорий разрушения еще не привел к построению расчетных формул, которые бы позволяли получать результаты, удовлетворительно согласующиеся с опытными данными.

Теоретические формулы целесообразны для анализа общих закономерностей бурения.

Расчет силовых и энергетических параметров и выбор режимов бурения могут быть выполнены приближенно ввиду неустойчивости свойств буримых пород, трудности математического описания сложного забойного процесса бурения с большим числом факторов, воздействующих на процесс, показатели которого носят вероятный характер. Поэтому в настоящее время применяют комплексный экспериментально-теоретический подход к расчету с использованием

Рис. 8.2. Структурная схема выбора параметров бурового инструмента

основ физики горных пород, опытных статических данных, экспериментально определяемых параметров расчетных формул, поправочных коэффициентов и интегральных показателей сопротивляемости пород разрушению. Для этого привлекают методы математической статистики, теории подобия; математического анализа и др.

В качестве основного показателя оценки сопротивляемости пород разрушению при расчете оптимальных режимов бурения целесообразно принимать контактную прочность P_k , так как способ определения (метод испытания) этого показателя отражает главное в физической сущности процесса взаимодействия бурового инструмента с породой на забое скважины. Могут быть также использованы пределы прочности горных пород при сжатии и сколе, модуль предельной упругости (модуль Юнга) породы, предел прочности ее при сдвиге и др. Механические характеристики горных пород взаимосвязаны. Так, контактная прочность может быть выражена через предел прочности на сжатие, модуль Юнга, коэффициент пластичности и другие характеристики.

Задача выбора оптимального режима бурения заключается в поиске такого сочетания осевого усилия на долото, его угловой скорости и расхода сжатого воздуха, которое дает наилучший результат с точки зрения принятого критерия оптимальности. При этом тип и конструкция долота должны соответствовать физико-механическим свойствам горных пород. В частности, для шарошечных долот нужно соблюдение условия: $T_b > T_o$ (где T_o и T_b — продолжительность работы долот до износа соответственно их опор и рабочей поверхности).

Другим условием является достижение высокой и экономически выгодной скорости бурения в заданных горно-геологических условиях. Например, шарошечные долота, предназначенные для слабых и ниже средней крепости горных пород, должны иметь крупные фрезерованные зубья при значительном смещении осей шарошек относительно оси долота (в плане). Для пород средней крепости размеры зубьев или вылет твердосплавных вставок шарошек уменьшают. Для пород выше средней крепости и крепких становится целесообразным армирование шарошек только твердосплавными вставками, вылет которых и заострение вершин уменьшают по мере роста прочности породы. В этом случае уменьшают или исключают совсем (для очень крепких пород) смещение осей шарошек с тем, чтобы преобладало разрушение пород ударом, вдавливанием и сколом.

Принципы расчета и поддержания оптимального режима бурения связаны прежде всего с закономерностями разрушения пород и износа долота, опреде-

ляющими характер взаимосвязей между режимными параметрами и критерием оптимальности процесса бурения.

Критерии оптимизации режимов бурения делятся на две группы: технико-экономические и физические. Из технико-экономических критериев наиболее представительными являются экономические затраты и производительность бурового станка. Их формируют более частные показатели — стойкость долота, мощность, скорость бурения, лишь в редких производственных ситуациях имеющие самостоятельное значение.

В настоящее время критерий приведенных удельных затрат в большинстве случаев соответствует постановке задач оптимизации в бурении и согласуется с основными положениями экономической эффективности, одобренными директивными организациями.

При решении задачи управления работающим буровым станком, в частности при выборе режима бурения, капитальные затраты можно рассматривать неизменными, и условие минимизации удельных приведенных затрат совпадает с требованием минимизации технологической себестоимости бурения: $C_6 \rightarrow \min$.

Несмотря на то, что экономическая эффективность подвержена значительным изменениям, связанным с техническим прогрессом, экономическая оценка является наиболее интегральной и надежной. Критерий C_6 соответствует силовым режимам разрушения горных пород, кроме того, он позволяет однозначно определять оптимальные параметры режима при заданных условиях бурения, ценах и нормативных показателях.

Основой расчета оптимальных режимов бурения являются математически выраженные закономерности изменения скорости бурения и стойкости долот. Определение зависимости этих показателей от осевого усилия на долото, частоты вращения долота, расхода сжатого воздуха и контактной прочности породы позволяет осуществить экономико-математическое моделирование параметров технологии бурения.

8.2. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Эффективность работы режущего бурового инструмента зависит от свойств породы, параметров долота и режимов бурения. Структурная схема выбора параметров приведена на рис. 8.2.

Свойства породы оказывают решающее влияние на показатели бурения и выбор параметров долота. Из свойств, характеризующих разрушаемость породы при резании, следует выде-

лить крепость и вязкость, а из свойств, характеризующих степень воздействия породы на инструмент, — абразивность.

Коэффициент крепости породы является одним из интегральных показателей прочностных свойств, которые характеризуются величиной критических напряжений или предела прочности. Крепость породы является решающим фактором, ограничивающим возможности применения режущего бурового инструмента. Экспериментально установлено, что при усилнии подачи $p_n=30$ кН и изменении коэффициента крепости породы f с 2 до 7 механическая скорость бурения v_n снижается в 5,7 раза. Для обеспечения эффективной работы инструмента с увеличением крепости породы требуется соответствующее увеличение усилия подачи. Однако при этом возрастает сила трения по торцевой поверхности резцов и интенсивность их износа, что усугубляет снижение скорости. Так, при бурении по песчанику с $f=9$ и $p_n=40$ кН за 9 мин работы долота суммарный износ резцов увеличивается с 0,9 до 2,7 см², а скорость бурения снижается с 0,27 до 0,03 м/мин.

На основании анализа интенсивности износа резцов, их стойкости и скоростей бурения с учетом качества выпускаемых твердых сплавов можно считать экономически целесообразным применение режущих долот при бурении скважин в породах с коэффициентом крепости $f<7$. В небольших объемах с помощью режущих долот могут обуриваться породы с $f<8$.

Вязкость характеризует сопротивляемость породы разединению частиц и определяется пластическими свойствами породы. Пластическая деформация в отличие от разрушающей происходит без явного нарушения сплошности породы. Поэтому для разрушения вязкой породы требуется дополнительное деформирование и это определяет повышенный расход энергии на разрушение по сравнению с хрупкой породой при том же пределе прочности.

Вязкость влияет на выбор сетки резания и определяет допустимые размеры центрального паза долота d_p , т. е. размеры оставляемого центрального целичка породы. Оценить теоретически количественную зависимость d_p от вязкости не представляется возможным из-за отсутствия общепризнанной методики определения вязкости. По экспериментальным данным при бурении по песчаникам и аргиллитам ширина паза d_p может быть не менее 30 мм. С ростом вязкости пород величина центрального паза должна уменьшаться. При бурении по монолитным вязким известнякам ширина паза не должна превышать 10—15 мм.

Абразивность характеризует способность породы изнашивать при трении инструмент. Интенсивность износа инструмента зависит от формы минеральных частиц в породе и от их твердости. С уменьшением окатанности частиц и увеличением

их твердости — растет абразивность породы. Абразивность оказывает решающее влияние на срок службы бурового инструмента, а следовательно, и на себестоимость бурения. Сравнение стойкости долот при бурении примерно одинаковых по характеру и крепости песчаников свидетельствует о том, что в высокоабразивных песчаниках стойкость инструмента снижается в 2,3—2,9 раза.

Абразивность породы обуславливает и абразивность обрабатываемой буровой мелочи, которая, находясь в контакте с долотом, вызывает интенсивный износ корпуса долота. Это особенно характерно при бурении в сочетании со шнековой очисткой скважин, когда буровая мелочь удаляется из призабойной зоны за счет вытеснения ее долотом. Абразивность буровой мелочи определяет необходимость армирования твердым сплавом не только резцов, но и корпуса долота.

Параметры долота должны соответствовать условиям бурения. Под параметрами понимают такие конструктивные особенности долота, которые оказывают влияние на показатели бурения. К ним относятся геометрия инструмента, сетка резания, расположение резцов по высоте, размеры и форма корпуса, износ инструмента.

Геометрия инструмента характеризуется формой и размерами режущей кромки долота. Она во многом зависит от способа армирования режущей кромки. В режущих долотах, армированных твердым сплавом по передней грани, геометрия определяется профилем режущей кромки, ее длиной и формой. Профиль характеризуется передним и задним углами, которые образуют угол резания. Для упрощения конструкции и технологии изготовления передний угол принимается равным нулю. Длина режущей кромки определяет линию контакта инструмента с забоем и влияет на величину удельного давления на забой. С уменьшением длины режущей кромки растет удельное давление на забой и облегчается внедрение инструмента в породу. Форма режущей кромки определяет получающуюся форму забоя. Желательно образование ступенчатого забоя с целью облегчения его разрушения, поскольку наличие дополнительных плоскостей обнажения снижает сопротивляемость породы разрушению. Долота со сплошной режущей кромкой могут быть рекомендованы только для бурения по наиболее мягким породам.

Долота со сменными резцами более перспективны. Сменность резцов обеспечивает инструменту ряд существенных преимуществ: при конструировании создаются большие возможности в варьировании сетки резания и длины линии контакта с забоем, расширяется диапазон буримых пород, возрастают скорости бурения, увеличивается срок службы инструмента, облегчается его перезаточка. Резцы долота имеют тяжелые

условия работы. Нагрузки на них неодинаковы и зависят от радиуса вращения. Малые радиусы вращения затрудняют вписываемость резцов, а стесненность рабочего пространства ограничивает их размеры. При этом наличие больших пиковых нагрузок требует повышенной прочности резцов.

В конструкции резцов для бурового инструмента большое значение имеет правильный выбор величины вылета режущей кромки ρ , который влияет на вписываемость резца в прорезаемую канавку. Если резец не вписывается в прорезаемую им канавку, то в снятии стружки принимает участие тело резца, что обуславливает снижение скорости бурения и быстрый выход резца из строя. Из условия вписываемости инструмента по задней грани величина заднего угла резца

$$\gamma > \arctg [v_n \cos \psi \sqrt{d^2 + 4\rho^2} / (\pi d^2 n)],$$

где ψ — угол наклона режущей кромки к оси долота; n — частота вращения бурового инструмента. В процессе работы геометрия инструмента изменяется вследствие износа режущей кромки и требуется ее восстановление путем перезаточки или замены изношенных резцов. Специфической особенностью работы режущего бурового инструмента является неравномерный износ режущей кромки. Это обстоятельство обуславливает сравнительно быстрый выход из строя долот, не имеющих съемных резцов. Долота со сплошной режущей кромкой могут быть рекомендованы только для бурения по наиболее мягким породам.

Сетка резания характеризуется числом линий резания и резцов и их взаимным расположением. Под линией резания понимают концентрический след, оставляемый резцом на забое скважины. Сетка определяет схему обработки забоя и должна соответствовать условиям бурения. Возможны варианты сеток резания с дублированием и без дублирования резцов в линиях резания, с оставлением концентрических целичков и со сплошной схемой обработки забоя. Изменение сетки резания при конструировании легко достигается только при использовании сменных резцов.

Выбор сетки резания связан с необходимостью обеспечения вписываемости резцов. При малых радиусах вращения резцов обеспечить вписываемость весьма затруднительно. Поэтому, оценивая схемы расположения резцов с точки зрения условий их работы, можно заключить, что наиболее целесообразным является вариант с выборочным дублированием резцов в линиях резания и сплошной схемой обработки забоя. При сплошной схеме обработки забоя вписываемость резцов легко достигается при условии превышения каждого последующего резца над предыдущим. При этом ширина отдельных резцов может приниматься больше размеров передней грани резца за счет эффекта развала породы при снятии стружки.

Расположение резцов влияет на их вписываемость, интенсивность износа, форму образуемого забоя, а также на режим удаления буровой мелочи. Для достижения вписываемости при сплошной схеме обработки забоя необходимо, чтобы каждый последующий резец, считая от оси вращения, имел превышение над предыдущим, расположенным на меньшем радиусе, на величину

$$k \geq 0,5\varphi u_n / (\pi r),$$

где φ — угол опережения предыдущего резца, рад. При этом со стороны оси у каждого резца создается дополнительная боковая поверхность обнажения, и проблемы вписываемости не возникает. Резцы в одной линии резания должны располагаться на одинаковой высоте и равных расстояниях друг от друга по окружности. В противном случае для них не будут обеспечены равноценные условия работы. При расположении резцов с превышением друг над другом забой приобретает ступенчатую форму с разрывом сплошности. Это благоприятно сказывается на эффективности разрушения породы, обеспечивая снижение энергоемкости процесса.

Режим удаления буровой мелочи зависит от расположения резцов. Расстановка резцов на корпусе должна способствовать эффективной очистке забоя. С этой точки зрения рационально применение лучевого расположения резцов с использованием призабойного пространства между лучами для прохода буровой мелочи. Для уменьшения коэффициента перекрытия скважины *при шнековом способе очистки* более выгодно двухлучевое расположение резцов, *при бурении с продувкой* — трех-четырёхлучевое.

Размеры и форма корпуса определяют режим удаления буровой мелочи из скважины. При этом размеры корпуса влияют на прочность долота, высоту призабойной зоны и коэффициент перекрытия скважины, а форма — на величину сопротивлений движению буровой мелочи. Применение сменных резцов экономически оправдано только при значительном сроке службы корпуса. Стойкость корпуса должна превышать таковую для комплекта резцов в 5—10 раз.

Требования к размерам и форме корпуса зависят от принятого способа очистки скважины от буровой мелочи. При *шнековом способе очистки* долото должно иметь минимальные размеры по высоте и поперечному сечению. В этом случае буровая мелочь создает значительные сопротивления движению инструмента, которые растут с увеличением высоты корпуса H и коэффициента перекрытия скважины k . При обтекаемой форме корпуса сопротивления движению буровой мелочи уменьшаются.

При *пневмотранспортировании* продуктов разрушения отсутствует сопротивление со стороны буровой мелочи вращению и подаче инструмента на забой. В этом случае долото определяет характеристику призабойной зоны и поэтому оказывает решающее влияние на расход воздуха. По условиям очистки скважины рациональны также параметры долота, чтобы обеспечить примерно равенство расходов воздуха на очистку призабойной зоны $F_{\text{приз}}$ и затрубного пространства $F_{\text{затр}}$. При этом высота долота как параметр может не ограничиваться, а ширина продувочных окон между корпусом и стенкой скважины должна приниматься максимально возможной.

Форма корпуса и расположение резов в долотах с продувкой имеют важное значение в обеспечении благоприятной аэродинамической характеристики. Долото должно обладать минимальными аэродинамическими сопротивлениями. Для достижения этого желательно исключить вихревые движения воздуха и возникновение встречных потоков. Расположение резов и продувочных каналов должно обеспечивать хороший обдув забоя и беспрепятственность движения потока в затрубное пространство. Для уменьшения сопротивлений движению воздушного потока желательно, например, лучевое расположение резов.

Износ инструмента оказывает непосредственное влияние на величину удельного усилия подачи, а следовательно, и на скорость бурения. Экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что интенсивность износа уменьшается с увеличением осевого усилия подачи, т. е. с увеличением удельного давления на забой. Таким образом, *повышение удельного давления инструмента на забой обеспечивает не только увеличение скорости бурения и уменьшение энергоемкости процесса, но и удлиняет срок службы инструмента.*

Износ пропорционален пути трения и при одинаковом пути трения остается одинаковым, независимо от величины усилия подачи. Увеличение усилия подачи не приводит к росту интенсивности износа, а вызывает увеличение глубины срезаемой стружки и затрачивается на преодоление возникающих дополнительных сопротивлений, особенно по передней грани. С позиций износа инструмента дублирование резов в линиях резания не обеспечивает улучшения условий их работы и в общем случае должно быть признано нерациональным.

По мере затупления долота растет удельный износ на каждый пробуренный метр скважины. В результате бурение затупленным инструментом не только снижает показатели, но и приводит к увеличению расхода инструмента. Поэтому при отработке режущих долот необходимо строго следить за своевременным восстановлением режущей кромки.

Выбор параметров системы очистки скважины шнеками. Шнековый буровой став представляет собой разновидность вин-

тового конвейера, однако отличается большой специфичностью условий применения: нестационарностью, возрастающей длиной транспортирования, спецификой загрузки, необычностью којуха, роль которого выполняют стенки скважины. При шнековом способе очистки скважины имеют место две различные по характеру и причинам движения буровой мелочи зоны: призабойная и шнековая. Если *шнековая зона движения буровой мелочи* имеет много общего с транспортированием материала винтовым конвейером, то *призабойная зона* является сугубо специфичной. Движение буровой мелочи в ней оказывает существенное влияние на выбор конструктивных параметров инструмента и определяет возникновение дополнительных сопротивлений вращению и подаче става на забой.

При очистке скважин шнеками буровая мелочь из призабойной зоны удаляется за счет вытеснения ее инструментом. Экспериментальными исследованиями установлено, что на удаление буровой мелочи из зоны ее образования затрачивается до 15% осевого усилия и до 50% энергии, расходуемой двигателем вращателя на работу инструмента.

Величина сопротивления буровой мелочи движению инструмента зависит от интенсивности ее образования и параметров долота. Увеличение скорости бурения обуславливает пропорциональный рост сопротивлений подаче и вращению. С увеличением высоты долота примерно пропорционально возрастает момент сопротивления вращению и с нарастающей интенсивностью увеличивается сопротивление подаче долота на забой. С увеличением коэффициента перекрытия скважины долотом интенсивно возрастают сопротивления подаче и вращению. Обтекаемая форма корпуса долота способствует снижению величин сопротивлений и увеличению скорости бурения.

Принципиальная отличительная особенность работы шнекового бурового става как конвейера состоит в подаче его на забой, т. е. в смещении шнека относительно стенок скважины. В результате этого смещения обеспечивается поступление буровой мелочи на шнек или его загрузка. Основными параметрами шнекового бурового става, которые подлежат выбору, являются частота вращения n , диаметр вала шнека d_b и шаг шнека h .

Анализ известных зависимостей свидетельствует о том, что неправомерно рассмотрение шнекового бурового става как обычного винтового конвейера. Наличие подачи бурового става на забой значительно снижает возможную производительность шнека, зависимость которой от скорости подачи имеет прямолинейный характер. Применительно к параметрам станка СБР-160 возможная производительность винтового конвейера равна 0,067 м³/мин, в то время как возможная производительность шнекового бурового става при скорости его подачи $v_n =$

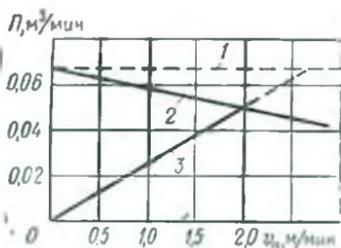


Рис. 8.3. Зависимость производительности шнекового бурового става $П$ от скорости бурения (на примере станка СБР-160):

1 — возможная производительность винтового копалейсера; 2 — возможная производительность шнекового бурового става; 3 — фактическая производительность шнекового бурового става

Таблица 8.1

Рациональные параметры шнекового бурового става ($D=160$ мм, $n=200$ мин⁻¹)

Породы	Характеристика пород			Параметры шнека			
	f_1	f_2	k_p	h_0 , мм	$d_в$, мм	$n_{мин}$, мин ⁻¹	$v_{пmax}$, м/мин
Глины	0,9	0,8	1,25	100	84	125	1,62
Песчанки	0,7	0,5	1,3	120	81	119	2,17
Аргиллиты	0,9	0,6	1,2	130	80	115	2,58
Угли	0,7	0,3	1,3	160	76	107	3,38

Примечание. В табл. приняты обозначения: f_1 — коэффициент внутреннего трения для буровой мелочи; f_2 — коэффициент трения буровой мелочи о шнек; k_p — коэффициент разрыхления пород; h_0 — оптимальный шаг шнека; $d_в$ — диаметр трубы (вала) шнека; $n_{мин}$ — минимальная частота вращения шнека; $v_{пmax}$ — максимальная скорость подачи става на забой.

$=2,5$ м/мин составляет только $0,047$ м³/мин, т. е. снижается в $1,43$ раза (рис. 8.3). Характерно, что с увеличением скорости подачи бурового става возрастает требуемая, но снижается возможная производительность шнека. Это обуславливает вероятность возникновения несоответствия между ними. В рассматриваемом случае максимальная возможная скорость подачи шнека из условия очистки скважины от буровой мелочи $v_{пmax} = 2$ м/мин. При $v_n > 2$ м/мин интенсивность образования буровой мелочи превышает транспортирующую возможность шнека и происходит нарушение режима очистки скважины.

Выбор параметров шнекового бурового става необходимо увязывать со свойствами пород. Параметры става станка СБР-160 соответствуют условиям бурения в глинистых породах. Переход же к расчетным параметрам при бурении в других породах позволяет значительно улучшить показатели работы (табл. 8.1). Так, при бурении по углю обеспечивается увеличение допустимой скорости бурения на 33% .

8.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРЕНИЯ

Для проектирования средств буровой техники и технологии бурения требуется рассчитывать скорость проходки скважин, ряд силовых и энергетических параметров бурения в зависимости от свойств горных пород, диаметра долота и т. д.

Определение ожидаемой величины скорости бурения для той или иной конструкции долота является центральной задачей теории бурения, до полного решения которой еще далеко.

Если учесть основные параметры, влияющие на скорость бурения, то в общем виде можно записать

$$v = \varphi(p, \omega, \rho_k, d, Q, D_k),$$

где D_k — конструктивные параметры долота; Q — количество подаваемого на забой сжатого воздуха или промывочного агента.

Доминирующее влияние на характер разрушения и скорость бурения породы оказывают осевое усилие на долото (или энергия удара), прочность породы, частота ударов (вращения) инструмента.

При ударном бурении прочных горных пород (хрупкий характер их разрушения) глубина внедрения h (м) лезвия долота, заостренного под углом α (градус), обратно пропорциональна пределу прочности породы и прямо пропорциональна энергии удара:

$$h = A_y [2 \cdot 10^6 d \sigma_{мб} (\operatorname{tg} \alpha / 2 + \mu_1) k_3],$$

где d — диаметр бурового инструмента, м; A_y — энергия удара долота, Дж; μ_1 — коэффициент трения бурового инструмента о породу; $k_3 = 1,2 \div 1,3$ — коэффициент, учитывающий затупление лезвия; $\sigma_{мб} = 0,5 (\sigma_{сж} + \sigma_{ск})$ — предел прочности породы при механическом способе бурения, МПа; $\sigma_{сж}$ — предел прочности породы на сжатие, МПа; $\sigma_{ск}$ — предел прочности породы на скалывание, МПа.

Предел прочности породы при разрушении механическим способом $\sigma_{мб}$ находит все более широкое применение и дает удовлетворительные результаты инженерных расчетов. Средние значения $\sigma_{мб}$ для некоторых категорий горных пород приведены в табл. 8.2.

При ударном бурении в зависимости от частоты ударов пневмоударника необходимая частота вращения бурового инструмента

$$\omega = 2nhz \operatorname{tg} \theta / 2 / (\pi d),$$

где θ — угол скола частиц породы под ядром уплотнения в сторону открытой плоскости ($\theta \geq \alpha$); n — число ударов пневмоударника в секунду (у современных станков частота ударов в

Таблица 8.2

Пределы прочности пород при разрушении механическим способом бурения

Горные породы	Плотность пород в целлюлозе ρ , т/м ³	Коэффициент крепости пород f	Предел прочности (породы), МПа		Среднее значение предела прочности породы $\sigma_{ср}$, МПа
			на сжатие $\sigma_{сж}$	на скалывание $\sigma_{ск}$	
Мел, каменная соль, гипс, обыкновенный мергель, камешный уголь	2,28—2,65	2—4	34—80	2,4—23	18,2—51,5
Песчаник, конгломераты, плотный мергель, известняки	2,65—2,72	4—6	80—100	23—25	51,5—62,5
Железные руды, песчаные сланцы, сланцевые песчаники, крепкие песчаники	2,72—2,84	6—10	100—140	25—32	62,5—86
Гранит, мрамор, доломит, колчедан, порфиры	2,84—2,89	10—12	140—180	32—44	86—112
Плотный гранит, роговяки	2,89—2,95	12—14	180—243	44—50	112—146,5
Очень крепкий гранит, кварциты, очень крепкие песчаники и известняки	2,95—3,00	14—16	243—272	50—52	146,5—162
Базальты, диабазы	3,00—3,21	16—20	272—343	52—53	162—198

секунду за один оборот составляет 8—15); h — глубина внедрения лезвия долота, м; z — число перьев на коронке долота ($z=2$ — для однодолотчатой и $z=4$ — для крестовой); d — диаметр долота, м.

Теоретическая скорость ударного бурения (м/с)

$$v_{т.у} = \frac{Ahzn \operatorname{tg} \theta/2}{\pi d^2 (\operatorname{tg} \alpha/2 + \mu_1) k_3 \sigma_{\text{мб}}} 10^{-6},$$

или

$$v_{т.у} = \frac{Azn \operatorname{tg} \theta/2}{\pi d^2 (\operatorname{tg} \alpha/2 + \mu_1) k_3 \sigma_{\text{мб}}} 10^{-6},$$

где A — энергия единичного удара.

Следовательно, эффективность ударного бурения возрастает с увеличением энергии единичного удара, частоты ударов и с уменьшением угла заострения лезвия, а уменьшается — с увеличением диаметра долота (при прочих равных условиях) и прочности породы.

Теоретическая скорость шарошечного бурения

$$v_{т.ш} = \frac{2\rho\omega k_{\text{сш}}}{d\sigma_{\text{мб}}(\operatorname{tg} \alpha/2 + \mu_1) k_3},$$

где ρ — осевое усилие на долото, МН; d — диаметр долота, м; ω — частота вращения долота, с^{-1} ; α — угол заострения зуба шарошки; $k_3 = 1,2 \div 1,3$ — коэффициент заострения зуба; $k_{\text{сш}} \approx 0,5$ — коэффициент, учитывающий уменьшение скорости бурения из-за неполного скалывания породы между зубьями.

В зависимости от крепости породы частота вращения шарошечного долота принимается равной 80—160 мин^{-1} (табл. 8.3), а потребное осевое усилие подачи с достаточной для инженерных расчетов точностью может быть определено по формуле

$$p_{\text{ос}} = (0,6 \div 0,8) f d \cdot 10^3 = (0,6 \div 0,8) \sigma_{\text{сж}} d \cdot 10^2.$$

Полное сопротивление (H), преодолеваемое механизмом вращения,

$$P_{\text{ш}} = \frac{hd\sigma_{\text{мб}}z_{\text{ш}}}{2} 10^{-4},$$

где h — глубина внедрения зубьев шарошки в породу (толщина стружки), см; $z_{\text{ш}}$ — число шарошек на долоте.

Глубина внедрения зубьев шарошки в породу (толщина стружки)

$$h = v / (k_{\text{сш}} z_{\text{ш}}),$$

где v — скорость бурения, см/мин.

Крутящий момент ($H \cdot \text{м}$), необходимый для вращения бурового става и шарошечного долота,

$$M_{\text{ш}} = (p_{\text{ш}} d k_{\text{тр}} / 3) 10^{-2},$$

$$d = 250 \text{ мм} \quad d = 2 \cdot 125 \text{ мм}$$

Таблица 8.3

Скорости бурения шарошечными станками для расчетов мощности вращателей

Диаметр долота d , мм	Коэффициент крепости породы f	Частота вращения долота ω , мин ⁻¹	Осевое усилие на долото $P_{ос}$, Н·10 ⁴	Механическая скорость бурения v , см/мин
200	2—4	150—160	2,5—4	40
	4—6	150—160	10—12	36
	6—10	140—160	12—15	30
	✓ 10—12	120—130	16—18	25
	✓ 12—14	105—120	18—20	18
	14—16	80—110	20—32	13
250	6—10	81	15—18	25
	10—12	81	19—22	20
	12—14	81	23—26	16
	14—16	81	27—30	11
	16—20	81	31—35	8
320	10—12	80	—	18
	12—14	80	45	14
	14—16	80	50	10
	16—20	80	55	8

где $k_{тр}$ — коэффициент, учитывающий трение в подшипниках шарошек и бурового става о стенки скважины (принимают равным 1.12).

Мощность привода вращателя (кВт)

$$N_B = (M_{ш\omega} / \eta_{мех}) 10^{-3},$$

где ω — угловая скорость вращения долота, рад/с; $\eta_{мех}$ — КПД механизма вращателя (принимают обычно 0,65).

Мощность привода вращателя может быть выражена также через скорость бурения с учетом буримости породы:

$$N_B = (0,04d^2 v \sigma_{мб} / \eta_{мех}) 10^{-4}.$$

Приближенные расчеты можно выполнять, пользуясь табл. 8.2 и 8.3.

Мощность и тип двигателя подбираются с учетом передаточного числа редуктора и пусковых характеристик (необходимых соотношений пускового, максимального и номинального моментов).

При проходке скважин комбинированным ударно-шарошечным инструментом (шарошечное долото с пневмоударником) механическая скорость бурения

$$v = \frac{\omega}{2\pi} \left[\frac{k_1 (\rho_{ос} + \Delta\rho_s)}{K' \alpha_1 E \xi_1} \right]^{2/3},$$

где Δp_0 — эквивалентное приращение осевого усилия p_{oc} от динамического воздействия пневмоударника; $k_1 \leq 1$ — коэффициент, показывающий, какая доля суммы $p_{oc} + \Delta p_0$ приходится на взаимодействие с породой зубьев долота: $\alpha_1 = 0,015 \div 0,03$ — коэффициент, зависящий от строения и пористости пород; k' — коэффициент, зависящий от схемы взаимодействия «пневмоударник — зуб долота»; E — динамический модуль упругости пород; ξ_i — коэффициент, определяемый по геометрическим параметрам долота;

$$\xi_i = \frac{8,5}{\sqrt{\sin \theta}} \sum_{i=1}^m \frac{R_3}{\alpha_i \sqrt{r_i v_i^3}},$$

где θ — угол наклона оси шарошки к оси долота; R_3 — радиус внедрения зуба шарошки; r_i — радиус i -го венца шарошки; α_i — угол между осями соседних зубьев шарошек; v_i — число венцов, работающих по одному участку забоя; m — число всех венцов на всех шарошках долота.

Для мощных станков шарошечного бурения крепких пород штыревыми долотами максимально допустимые осевые усилия могут быть ориентировочно определены по формулам:

$$\rho = \rho_0 (d/d_0)^{2,4}; \quad S = S_0 (d/d_0)^{1,8} \quad \text{и} \\ \sigma = \sigma_0 (d/d_0)^{0,6},$$

где ρ и ρ_0 — осевые усилия, соответствующие прочности долот диаметром соответственно d и d_0 (при этом $d > d_0$ и $\rho > \rho_0$; S и S_0 — суммарное сечение штырей долот диаметром соответственно d и d_0 ; σ и σ_0 — величины допускаемых в твердом сплаве напряжений.

Для вращательного бурения резовыми коронками толщина стружки, срезаемой косым резцом с торцевой поверхности скважины за один оборот, может быть определена через механическую скорость бурения v :

$$h_{CT} = v / (z_{рез} \omega),$$

где $z_{рез}$ — число резцов на коронке (обычно $z_{рез} = 2$); ω — частота вращения коронки. Величины v и ω могут быть приняты по табл. 8.3.

При угле резания резца $\alpha_1 = 90^\circ$ усилие сопротивления сколу $\rho_{ск}$ разрушаемой породы (Н)

$$\rho_{ск} = 0,5 \cdot 10^{-4} h_{CT} d \sigma_{вб} k_k z_{рез},$$

где d — диаметр резца, см; $\sigma_{вб}$ — прочность породы при вращательном бурении (см. табл. 8.2), МПа; $k_k = 0,5 \div 0,7$ — коэффициент, учитывающий полноту контакта площади передней грани резца с породой.

Подставив в формулу значение $h_{ст}$, получим

$$p_{ск} = 0,5 \cdot 10^{-4} \sigma_{вб} k_n / \omega.$$

Осевое усилие подачи p можно определить в зависимости от величины $p_{ск}$:

$$p = c_{ш} p_{ск},$$

где $c_{ш} = 1,5 \div 0,7$ — опытный коэффициент, большие значения которого принимаются для более затупленного (притупленного) инструмента и меньших значений толщины стружки.

Для существующих станков СБР и режущих долот рекомендуют удельные осевые усилия на лезвие резца в пределах 100—300 кН/м при условии $f \leq 6$.

Момент сопротивления при разрушении породы резцами долота (Н·м) приближенно (пренебрегая трением резцов о мягкую породу) может быть определен по формуле

$$M_{раз} = 0,5 p_{ск} d \cdot 10^{-2},$$

где d — диаметр долота, см.

Момент $M_{т}$ сопротивления при вращении заполненного разрушенной породой шнека и транспортировании породы приближенно может быть определен по формуле

$$M_{т} = 0,25 d^3 L_{шн} \frac{\rho}{k_p} \cdot 10^{-5},$$

где $L_{шн}$ — длина шнека, см; ρ — плотность породы в целике (табл. 8.3); $k_p = 1,1 \div 1,2$ — коэффициент разрыхления породы.

Мощность привода вращателя

$$N_{в} = \frac{(M_{раз} + M_{т}) \omega}{\eta_{мех}} \cdot 10^{-3},$$

где $N_{в}$ — мощность привода вращателя, кВт; ω — частота вращения долота; $\eta_{мех}$ — КПД механизма вращателя.

8.4. ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ БУРЕНИЯ ОТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СТАНКА И КОНТАКТНОЙ ПРОЧНОСТИ ПОРОД

Наиболее широко используется зависимость

$$v = k \omega^x p^y,$$

где k , x , y — эмпирические коэффициенты.

При бурении быстро затупляющимся инструментом необходимо учитывать изменение скорости бурения во времени:

$$v(t) = v_0 e^{-at},$$

где v_0 — начальная скорость бурения; e — основание натурального

ных логарифмов; β — декремент падения скорости вследствие естественного износа долота.

В отличие от бурения резанием скорость проходки шарошечным долотом при правильном его выборе (в соответствии с буримостью пород) длительное время остается постоянной. Износ шарошечных долот зависит главным образом от контактной прочности пород. На износ долот влияет также абразивность крепких пород.

Притупление долота вызывает увеличение жесткости пары зуб — порода, что до известной степени равносильно увеличению твердости породы. Этот фактор можно учесть следующим образом. Если долото выбрано правильно, то без существенных ошибок можно принять $\beta=0$ и скорость бурения определять по формуле

$$v = v_m / [1 + (\rho_c / \rho)^2],$$

где v_m — максимально возможная скорость бурения в заданных условиях; ρ_c — осевое усилие, при котором экстремален силовой градиент глубины разрушения горной породы за один оборот долота.

При бурении резанием можно оперировать средней скоростью бурения, которая связана с текущей скоростью v_c уравнением,

$$v_c = v(1 + e^e) / \varphi,$$

где φ — относительная величина торцевого притупления лезвия.

В конкретном случае скорость бурения определяют по формуле

$$v = v_m \rho / (\rho + \rho_c).$$

Зависимость скорости бурения от параметров режима бурения и контактной прочности пород имеет вид

$$v = k_Q \rho \omega \left[\frac{a_1 \rho_k \omega}{\rho} + \frac{a_2 \rho_k^2}{\rho(\rho_k + \rho_{km})} + (b_2 + b_4) n \rho \right],$$

где k_Q — поправочный коэффициент, учитывающий качество очистки забоя скважины от разрушенной породы (при совершенной очистке $k_Q=1$, при неудовлетворительной $k_Q < 1$); a_1 и a_2 , b_2 и b_4 — параметры, зависящие от типоразмера долота; ρ_k — контактная прочность породы, МПа; ρ_{km} — контактная прочность при механическом бурении (максимальная), МПа.

Прогнозирование стойкости долот. Стойкость долота, зависящую от его качества и условий эксплуатации, обычно оценивают продолжительностью безотказной работы или длиной пробуренных скважин l_d до допустимого износа долота.

Стойкость долота в общем виде определяется по формуле

$$l_d = \alpha R / (\omega^2 \rho^6),$$

где α — коэффициент, учитывающий условия бурения на забое; R — ресурс долота, зависящий от свойств горных пород, типа долота и качества его изготовления; ω — угловая скорость вращения долота; z и δ — эмпирические коэффициенты. Характер зависимости коэффициентов, входящих в эту формулу, от контактной прочности или крепости горных пород не установлен.

Зависимость стойкости долот от параметров режима бурения и контактной прочности породы имеет вид

$$l_d = \theta \rho / [a_1 \rho_k^2 \omega + a_2 \rho_k^3 / (\rho_k + \rho_{km}) + \rho_k (b_2 + b_4 \omega) \rho^2],$$

где θ — коэффициент, характеризующий зависимость интегрального показателя ψ работоспособности долота данного типа-размера от ρ_k ;

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{\psi_i}{\rho_{ki}}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{\rho_{ki}^3}}.$$

Для долот типа Т и ТК коэффициент $\theta \approx 686 \cdot 10^8$ кН·рад \times \times МН/м², для долот типа ОК $\theta = 1800 \cdot 10^8$ кН·рад·МН/м².

Приведенная для l_d зависимость соответствует опытным результатам и может быть использована для расчета средней стойкости долота, а будучи введенной в выражение критерия эффективности — для расчета оптимальных параметров режима бурения и программ управления процессом бурения.

Величина осевого усилия, при которой стойкость долота имеет максимум,

$$\rho_{l_d \max} = \left[\frac{\rho_k}{b_2 + b_4 \omega} \left(a_1 \omega + \frac{a_2 \rho_k}{\rho_k + \rho_{km}} \right) \right]^{1/3}.$$

Максимальная стойкость долота

$$l_{d \max} = \theta / \{ 2 \rho_k / (b_2 + b_4 \omega) [a_1 \rho_k \omega + a_2 \rho_k^2 / (\rho_k + \rho_{km})] \},$$

отсюда видно, что с увеличением угловой скорости вращения стойкость долота снижается.

8.5. РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ БУРЕНИЯ

В большинстве случаев наименее выгодными являются режимы бурения горных пород, устанавливаемые по критерию приведенных удельных затрат $S_{пр}$ (в частном случае по критерию минимальных затрат на бурение 1 м скважины S). При этом обеспечивается наиболее высокий и экономически выгодный уровень скорости бурения. Критерий S является не только ин-

тегральным. Его экстремальные значения соответствуют силовым режимам разрушения горных пород и позволяют однозначно определить оптимальное сочетание режимных параметров. При эксплуатации буровых станков решающее значение может иметь уровень их производительности, обусловленный требованиями выемочно-погрузочных работ или технологии взрывных работ. В этом случае параметры режима бурения рассчитываются по заданной производительности, в частности, максимальной.

Один из возможных и практически проверенных методов расчета целесообразных режимов бурения основан на использовании экономико-математической модели критерия оптимальности процесса бурения (S), отражающего количественную связь между экономическими, конструктивными и технологическими параметрами системы «забой скважины — долото — буровой станок»:

Затраты на бурение 1 м скважины (руб)

$$S = \left(\frac{1}{v(n, p_{oc}, d, p_k)} + t_n \right) \left[\frac{z_a + z_3 + k_v(z_a + z_3)}{k_v T_c \eta} \right] + \frac{C_d}{l_d(n, p_{oc}, d, p_k)} + C_b \left[\frac{\Sigma N(n, p_{oc})}{v(n, p_{oc}, d, p_k)} + \eta (k_x + t_3/l_d) \Sigma N_y + \frac{\eta_3 C_b k_{пер} N_{zz}}{L} \right],$$

где v — скорость бурения; n — частота вращения долота; p_{oc} — осевое усилие на долото; d — диаметр долота; p_k — контактная прочность горной породы; l_d — стойкость долота; C_d — стоимость (цена) долота; T_c — продолжительность рабочей смены; η — коэффициент эффективного использования станка в течение смены; t_n — затраты времени на вспомогательные операции при бурении, отнесенные к 1 м скважины;

$z_a = C_{ст} H_a / \Phi_3$ — сменный (плановый) норматив амортизационных отчислений, руб;

$z_3 = N_y C_y / (\Phi_3 \cos \varphi)$ — сменный (плановый) норматив на оплату по тарифу за установленную мощность электродвигателей станка, руб;

$k_v = \Phi_\phi / \Phi_3$ — коэффициент использования эффективного годового фонда времени работы бурового станка; Φ_ϕ — фактическое время работы станка в году, смен; Φ_3 — плано-расчетный годовой фонд времени работы станка, смен; $C_{ст}$ — балансовая стоимость станка, руб; H_a — годовая норма амортизационных отчислений; N_y — установленная мощность трансформатора станка, кВА; C_y — тариф за установленную мощность; t_3 — время замены долота или сменных резцов, с; L — глубина скважины, м; C_b — продолжительность вспомогательных машинных операций, выполняемых после подъема става до начала бурения очередной скважины, с; k_x — конструктивный показатель, характеризующий удельные затраты времени на холос-

тые ходы вращательно-подающего механизма станка в процессе бурения, с/м; z_3 — сменные расходы на заработную плату экипажа, руб; z_m — затраты на материалы в среднем на рабочую смену (с учетом расходов на текущий ремонт); C_3 — тариф за 1 кВт·ч израсходованной электроэнергии, руб; $\Sigma N(n, p)$ — суммарная мощность при бурении породы, кВт; η_3 — средний коэффициент загрузки двигателей по мощности (0,8—1,2); ΣN_y — суммарная установленная мощность двигателей, работающих при выполнении спуско-подъемных операций, кВт; $k_{пер}$ — коэффициент, учитывающий увеличение расхода мощности на передвижение станка ($k_{пер} = 2 \div 2,5$); $N_{ход}$ — мощность ходовых двигателей, кВт.

Приведенная выше формула представляет собой экономико-математическую модель S-критерия в наиболее информативной форме. Первый член в квадратных скобках содержит экономические (z_3, z_m, z_1 и z_2) и технико-организационные (k_p, T_c, η) факторы. Сумма $(1/v + t_b)$ характеризует техническую скорость бурения, зависящую от скорости бурения v и конструкции станка (параметр t_b). Второй член формулы отражает изменение затрат на долото, а последний — затраты на расходуемую электроэнергию. Экономико-математическая модель содержит основные переменные состояния процесса разрушения породы v, l_d и N , зависящие от параметров режима бурения и свойств буримых пород.

Затраты на работу станка в единицу времени (машинно-час, машинно-секунда) без затрат на долота и электроэнергию

$$A = [z_1 + z_2 + k_p(z_m + z_3)] / k_p T_c \eta.$$

Это выражение можно назвать постоянной заданных экономико-организационных условий бурения станком определенного типа, которая учитывает большинство неуправляемых факторов.

Затраты на электроэнергию составляют 2,7—3,7% всех затрат, при смене горно-геологических условий они изменяются незначительно. Это дает основание для многих случаев упростить формулу, исключив из нее последний член, получить более компактную и удобную для приближенных расчетов экономико-математическую модель S-критерия:

$$S = \left[\frac{1}{v(\rho_{oc}, \omega, d, \rho_k)} + t_b \right] A + \frac{C_d}{l_d(\omega, \rho_{oc}, d, \rho_k)}.$$

Для буровых станков большой единичной мощности (600—1000 кВт) и тем более при оснащении их магнитострикционными интенсификаторами следует использовать формулу в первом варианте.

Для шарошечных станков заданного типоразмера (по диаметру долота) на основании приведенных зависимостей целевая функция, по которой можно определить оптимальные значения параметров режима бурения, имеет вид

$$S = \left(\frac{A}{\omega \rho_{oc}} + \frac{C_d \rho_k}{\theta} \right) \left[\frac{a_1 \omega \rho_k}{\rho_{oc}} + \frac{a_2 \rho_k^2}{\rho(\rho_k + \rho_{км})} + (b_2 + b_4) \omega \rho_{oc} \right] + D,$$

где $A t_0 = D$.

При фиксированном значении контактной прочности функция имеет вид

$$S = \left(\frac{A}{\omega \rho_{oc}} + \frac{C_d}{\psi} \right) \left[\frac{b_1 + b_3 \omega}{\rho_{oc}} + (b_2 + b_4 \omega) \rho_{oc} \right] + D,$$

где b_1 и b_3 — коэффициенты, зависящие от свойств пород.

Функция $S(\rho_{oc}, \omega)$ имеет абсолютный экстремум (минимум). Рассмотренные модели относятся к условиям установившегося процесса разрушения горных пород и являются непрерывными дифференцируемыми функциями в исследуемом диапазоне, поэтому можно временно пренебречь ограничениями и применить для оптимизации аналитический метод поиска экстремума в его классическом виде. Оптимум находится путем решения системы уравнений, получаемых приравниванием нулю частных производных функций по каждому из параметров режима бурения. При известной величине контактной прочности горной породы оптимальные параметры режима бурения для станков заданного типоразмера можно ориентировочно рассчитать по формулам:

$$\omega_0 = k_n \sqrt{\frac{2Ab_2\theta\varepsilon_1}{C_d\rho_k}};$$

$$\rho_0 = \left[2a_1k_n \sqrt{\frac{2Ab_2\theta\varepsilon_1}{C_db_2}} + \frac{a_2\rho_k^2}{b_2(\rho_k + \rho_{км})} \right]^{1/2},$$

где k_n — поправочный коэффициент, изменяющийся в пределах 0,75—1,0;

$$\varepsilon_1 = \sqrt{a_2b_2(\rho_k + \rho_{км})} / [a_2b_4\rho_k + a_1b_2(\rho_k + \rho_{км})].$$

Для станков различного типоразмера метод основан на обработке результатов экспериментов с помощью безразмерных комплексов, включающих в себя основные характеристики системы «забой скважины — долото переменного диаметра». Критерии подобия установившегося процесса бурения находятся путем анализа основных уравнений процесса — скорости бурения и стойкости долот, записанных в конечной форме для долота базового диаметра.

На графике оптимальных расчетных значений ω_0 и ρ_0 (рис. 8.4) для наиболее типичных условий шарошечного буре-

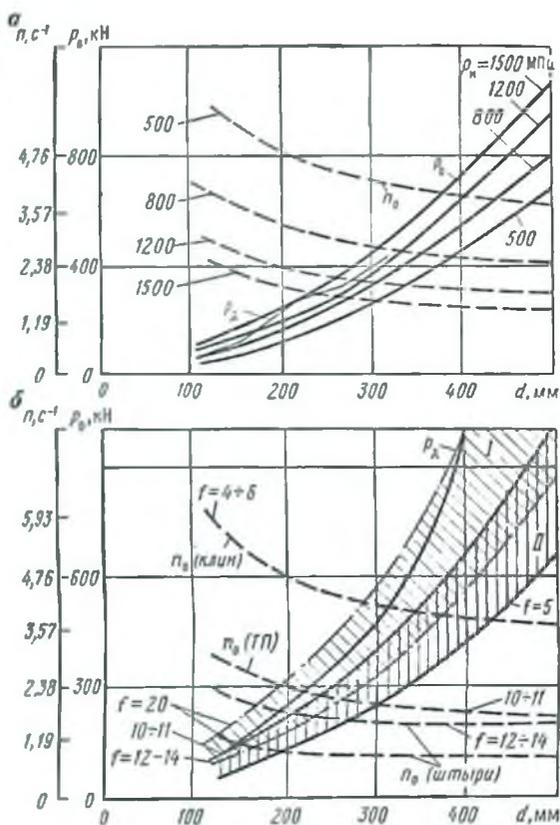


Рис. 8.4. Зависимость оптимальных значений осевого усилия ρ_a и частоты вращения n , долота от его диаметра d в породах различной крепости f и контактной прочности ρ_k :

а — для долот типа Т; б — I — зона долот со вставными зубками (штырями); II — зона долот Т

ния показаны значения предельных осевых усилий, запроектированных для отечественных станков. Линия ρ_d соответствует максимально допустимым нагрузкам.

8.6. РАСЧЕТ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ БУРЕНИЯ РЕЖУЩИМИ ДОЛОТАМИ С ПРОДУВКОЙ СКВАЖИН СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

Экспериментально-расчетный метод определения рациональных параметров бурения режущим инструментом основан на использовании математических моделей, построенных с учетом теоретически обобщенных экспериментальных зависимостей

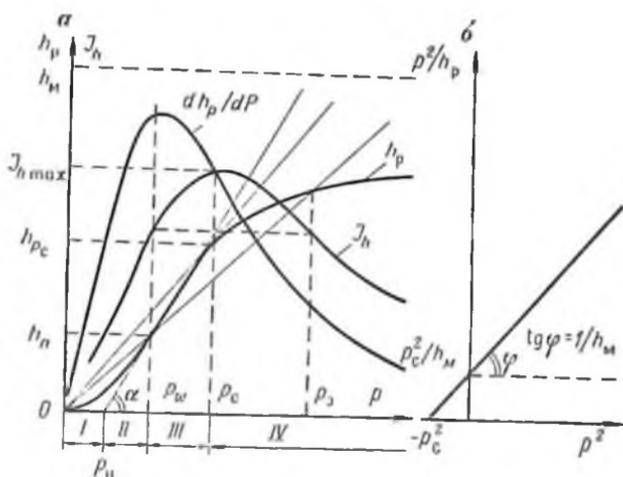


Рис. 8.5. Зависимость силового градиента I_h и глубины разрушения горной породы h_p от осевого усилия на долото:

а — общий вид; б — спрямленная зависимость $h_p(p)$

скорости бурения и стойкости долот от режимов бурения, контактной прочности и абразивности горных пород.

Главным параметром, определяющим эффективность процесса бурения резанием, является осевое усилие на инструмент. Для определения его пользуются зависимостями глубины разрушения h_p горной породы за один оборот долота от осевого усилия p и соотношением $h_p/p = I_h$. Параметр I_h называется силовым градиентом разрушения горной породы за один оборот долота от осевого усилия (при $\omega > 0$), а зависимость $h_p = \varphi(p)$ — интегральной силовой функцией. Общий вид этих зависимостей и их элементы представлены на рис. 8.5.

Характерными являются следующие величины осевого усилия: p_{II} — минимальное усилие; p_w — усилие, соответствующее границе усталостно-объемного и объемного видов разрушения породы; p_c — усилие, соответствующее максимуму силового градиента разрушения горной породы (соотношения h_p/p); p_3 — усилие, приблизительно соответствующее минимуму удельной энергоёмкости разрушения горной породы.

Глубина разрушения породы за один оборот долота при установившемся процессе бурения

$$h_p = h_m [1 + (p_c/p)^2],$$

где h_m — предельная глубина разрушения горной породы в заданных условиях.

Кривая $h_p(p)$ спрямляется в координатах p^2 и p^2/h_p , что облегчает нахождение ее параметров.

Таблица 8.4

Расчетные значения осевых усилий ρ_0 и ρ_s (кН) для режущих долот

Долото (число лезвий)	Диаметр долота, мм	Коэффициент	
		2	4
ДР214В (3)	214	(24—30)/43	(48—60)/86
ДР160Ш (2)	160	(12—15)/22	(24—30)/43
ДР125Ш (2)	125	(9—12)/17	(18—23)/34

Примечание. В числителе приведены значения ρ_c в породах средней, выше значения ρ_0 в малоабразивных и ниже средней абразивности ($a=18$ мг, $F_y=1.2$ мм²/см).

Применительно к режущим долотам диаметром 125—243 мм, используемым на угольных разрезах, величину ρ_n (кН) можно приближенно определить по формуле

$$\rho_n = 3,5fdm_{л}m_{р}F_y,$$

где f — коэффициент крепости пород; d — диаметр долота, м; F_y — максимальная площадка притупления резцов долота, приходящаяся на 1 см длины лезвия (обычно $F_y=1,2$ мм²/см); $m_{л}$ — число лезвий долота (обычно двух-трехлезвийные); $m_{р}$ — коэффициент, учитывающий влияние рассечки на длину режущей кромки долота.

Для условий угольных разрезов область оптимальных осевых усилий ρ_0 находится в пределах

$$\rho_c < \rho_0 < \rho_s.$$

По заданным величинам f , $m_{р}$, $m_{л}$ и F_y значения осевых усилий ориентировочно можно рассчитать по формулам:

$$\rho_c = 18,37fdm_{л}m_{р}F_y; \quad \rho_s = 32,8fdm_{р}m_{л}F_y.$$

Осевые усилия ρ_c могут быть рекомендованы для бурения горных пород повышенной абразивности, а ρ_s — для бурения пород малоабразивных и ниже средней абразивности.

В табл. 8.4 представлены расчетные значения осевых усилий для режущих долот различных конструкций.

Скорость бурения достаточно широко распространенными режущими долотами диаметром 214—215,9 мм, например типа ДР214В, может быть рассчитана по эмпирической формуле

$$v = 0,25\omega/[1 + (12f/\rho)^2],$$

где v — скорость бурения, мм/с; ω — частота вращения долота, с⁻¹; ρ — осевое усилие на долото, кН; f — коэффициент крепости пород.

различных типоразмеров ($m_p=0,85$)

крепости пород

6	8	10
(72—90)/130 (36—45)/65 (28—35)/50	(96—120)/173 (48—60)/86 (37—46)/67	(123—150)/224 (60—75)/108 (47—58)/84

средней и повышенной абразивности ($\alpha=18+50$ мг, $F_p=1,2+1,5$ мм²/см), в знаменателе —

Целесообразные величины частоты вращения режущих до-
лот с продувкой воздухом находятся в пределах 70—200 в ми-
нуту. Меньшие значения относятся к породам повышенной аб-
разивности.

9. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТРЕБНОСТИ БУРОВЫХ СТАНКОВ

Норма потребности в буровых станках для определения пар-
ка на уровне карьера (разреза) рассчитывается по типам стан-
ков m , как количество единиц, необходимое для производства в
год объема работ в 1 млн. т добычи полезного ископаемого:

$$N_{jm} = Q_n k_{nj} \alpha_j \eta_{jm} / (\gamma_{jm} P_{смjm} n_{смjm} T_{кjm} k_{нjm}),$$

где Q_n — нормативный объем добычи для расчета нормы по-
требности, 1 млн. т; k_{nj} — коэффициент вскрыши в j -м году,
м³/т; α_j — доля горной массы, разрабатываемой с применением
буровзрывных работ (БВР), в j -м году; η_{jm} — доля, которую
занимает объем буровых работ, выполняемых буровыми стан-
ками типа m в j -м году; γ_{jm} — среднегодовой выход взорванной
горной массы с 1 м скважины для станков типа m в j -м году,
м³/м; $P_{смjm}$ — сменная производительность для станков типа m
в j -м году, м/смену; $n_{смjm}$ — принятый режим функционирова-
ния технологического процесса — число смен в сутки для стан-
ков типа m в j -м году, смен; $T_{кjm}$ — годовой календарный фонд
времени одного бурового станка типа m в j -м году, суток;
 $k_{нjm}$ — коэффициент использования календарного фонда вре-
мени станками типа m в j -м году.

Показатели буровых работ: α_j , η_{jm} , $P_{смjm}$, $n_{смjm}$, $T_{кjm}$ и
 $k_{нjm}$, входящие в формулу, являются варьирующими величина-
ми. Влияние их на потребность в буровых станках можно вы-

разить интегральным показателем работы буровых станков

$$Y_{jm} = \alpha_j \eta_{jm} / (\gamma_{jm} \Pi_{cm} \Pi_{jm} \Pi_{cm} T_{kjm} k_{ujm}).$$

Прогнозные значения интегрального показателя работы буровых станков могут быть получены по методу прогнозной экстраполяции, позволяющему фактическое развитие увязать с гипотезами о его динамике.

При этом используются временные (динамические) ряды показателей, проводится экстраполяция их на период прогноза и вводятся корректирующие коэффициенты, учитывающие изменения в плановом периоде факторов, влияющих на эти показатели.

Временной ряд может быть представлен в виде

$$y_t = x_t + \varepsilon_t,$$

где x_t — детерминированная компонента процесса; ε_t — стохастическая компонента процесса.

Детерминированная компонента (тренд) x_t характеризует существующую динамику развития процесса в целом, стохастическая компонента ε_t отражает случайные колебания процесса.

Задача состоит в определении вида экстраполирующих функций x_t и ε_t на основе исходных эмпирических данных.

По полученным значениям y_{jm} за анализируемый период строится временной ряд и производится его исследование. Но прежде чем перейти к выделению тренда в рассматриваемых временных рядах, необходимо проверить гипотезу о его существовании. Для этой цели используется метод Фостера-Стюарта.

По каждому временному ряду рассчитываются значения условных величин B_j и C_j путем последовательного сравнения уровней ряда. Для первых членов ряда этим условным показателям всегда присваиваются значения $B_1=0$, $C_1=0$. Далее сравнивается каждый последующий член ряда y_j со всеми предыдущими, т. е. y_{j-1} ; y_{j-2} ; y_1 . Если уровень y_j превышает по своей величине каждый из предыдущих уровней, то величине B_j присваивается значение 1, в остальных случаях эту величину приравнивают 0. Таким образом,

$$B_j = \begin{cases} 1, & \text{если } y_j > y_{j-1}; y_{j-2}; \dots; y_1; \\ 0 & \text{— в остальных случаях.} \end{cases}$$

Если уровень y_j меньше всех предыдущих, то величине присваивается значение 1, т. е. для этого показателя

$$C_j = \begin{cases} 1, & \text{если } y_j < y_{j-1}; y_{j-2}; \dots; y_1; \\ 0 & \text{— в остальных случаях} \end{cases}$$

После того как B_j и C_j определены для всех соответствующих членов ряда y_j , т. е. составлены временные ряды B_j и C_j , рассчитываются показатели:

$$s = \sum_{j=1}^n B_j; \quad d = \sum_{j=1}^n C_j; \quad d_t = s - d; \quad t = d_t/\sigma_2,$$

где s , d , d_t , t — обозначения показателей временного ряда. Значения σ_2 табулированы. Приближенно эту величину можно рассчитать по формуле

$$\sigma_2 = \sqrt{2 \ln n - 0,8456},$$

где n — число наблюдений (число лет анализируемого периода).

Расчетные значения показателя t , полученные по формуле, сравниваются с табличными значениями t — критерия Стьюдента. Гипотеза о наличии тенденции в изменении средней временного ряда не отвергается, если $t > t_{0,1,\dots,n-1}$. Если $t < t_{0,1,\dots,n-1}$, то принимается гипотеза об отсутствии этой тенденции.

Для сглаживания и экстраполяции временных рядов используется метод экспоненциального сглаживания, при котором более поздним членам временного ряда придается больший вес, поэтому этот метод можно успешно использовать для прогнозирования показателей временного ряда на ближайшую перспективу. Этот метод дает возможность прогнозировать тенденцию (тренд), сложившуюся к концу анализируемого периода т. е. позволяет для временного ряда получить оценку параметров, характеризующих не средний уровень процесса, а тенденцию развития, сложившуюся к началу планируемого периода. Достоинством метода является возможность использования его для сглаживания сравнительно коротких временных рядов (не менее 3-х членов ряда).

Успешное прогнозирование данным методом зависит от правильного выбора величины параметра сглаживания (α), который рекомендуется рассчитывать по формуле Р. Брауна

$$\alpha = 2/(n_1 + 1),$$

где n_1 — интервал сглаживания. Интервал сглаживания целесообразно принимать равным пяти годам в соответствии с принятым в СССР периодом планирования.

Определение параметра α позволяет рассчитывать веса для каждого наблюдения временного ряда

$$\omega_j = \psi_j / \sum_{j=1}^n \psi_j; \quad \psi_j = \alpha (1 - \alpha)^{n-j},$$

где $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

При наличии тенденции по временному ряду сглаживание производится по полиномиальной модели первого порядка.

При отсутствии тенденции ряд сглаживается с помощью полиномиальной модели нулевого порядка. В этом случае начальное условие имеет вид

$$s_0 = \sum_{j=1}^n y_j \omega_j,$$

т. е. в качестве начального условия используется средняя взвешенная временного ряда.

Расчетное значение показателя для каждой точки анализируемого периода определяется по формуле

$$\hat{y}_j = \alpha y_j + (1 - \alpha) \hat{y}_{j-1},$$

где в качестве \hat{y}_{j-1} используется s_0 .

В этом случае базисный показатель для прогноза будет одинаков для всех лет перспективного периода и равен расчетному значению показателя для последнего года анализируемого периода.

При наличии тенденции во временном ряду для определения начальных условий рассчитываются параметры d_0 и d_1 прямой линейной линии регрессии методом наименьших квадратов:

$$d_0 = \frac{\sum y_j \omega_j \sum t_j^2 \omega_j - \sum t_j \omega_j \sum t_j y_j \omega_j}{\sum t_j^2 \omega_j - (\sum t_j \omega_j)^2},$$

$$d_1 = \frac{\sum t_j y_j \omega_j - \sum t_j \omega_j \sum y_j \omega_j}{\sum t_j^2 \omega_j - (\sum t_j \omega_j)^2}.$$

Начальные условия имеют вид:

$$s_{0(y)}^{[1]} = d_0 - \frac{1 - \alpha}{\alpha} d_1; \quad s_{0(y)}^{[2]} = d_0 - \frac{2(1 - \alpha)}{\alpha} d_1.$$

Показатели сглаживания рассчитываются для каждой строки ряда по формулам:

$$s_{j(y)}^{[1]} = \alpha y_j + (1 - \alpha) s_{j-1(y)}^{[1]}, \quad s_{j(y)}^{[2]} = \alpha s_{j(y)}^{[1]} + (1 - \alpha) s_{j-1(y)}^{[2]}.$$

Расчетное значение показателя для каждого года анализируемого периода

$$\hat{y}_j = 2s_{j(y)}^{[1]} - s_{j(y)}^{[2]},$$

а для последнего года анализируемого периода рассчитывается коэффициент регрессии \hat{d}_1 (в качестве \hat{d}_0 выступает \hat{y} этого же года)

$$\hat{d}_1 = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (s_{j(y)}^{[1]} - s_{j(y)}^{[2]}).$$

В качестве модели прогноза после выполнения экспоненциального сглаживания принимается уравнение регрессии

для последнего года анализируемого периода

$$\hat{y}_l = \hat{d}_0 + d_1 t_l,$$

где \hat{y}_l — расчетное значение показателя по годам планового периода; $t_l = 1, 2, 3, \dots, l$ — число лет планового периода.

Оценка адекватности расчетных показателей фактическим данным производится с помощью F-критерия Фишера.

$$F = s^2_{\text{общ}} / s^2_{\text{ост}},$$

где $s^2_{\text{общ}}$ — общая дисперсия ряда; $s^2_{\text{ост}}$ — остаточная дисперсия ряда;

$$s^2_{\text{общ}} = \frac{n \sum_{l=1}^n (y_l - \bar{y})^2 \omega_l}{n-1}; \quad s^2_{\text{ост}} = \frac{n \sum_{l=1}^n (y_l - \hat{y}_l)^2 \omega_l}{n-2}.$$

В тех случаях, когда тенденция ряда не может быть признана нормальной, показатели его сглаживаются, но не экстраполируются; для дальнейших расчетов используются показатели, установленные в результате сглаживания для последнего года анализируемого периода.

Данные, полученные в результате сглаживания ряда и экстраполяции тренда, являются базисными. Поскольку точное совпадение фактических данных и прогнозных точечных оценок, полученных путем экстраполяции, — явление маловероятное, при обработке временных рядов определяется интервальный прогноз

$$\hat{y}_l \pm \tau_l,$$

где τ_l — допуск прогноза в году l планового периода,

$$\tau_l = s_{\text{ост}} k t_{0,1, \varphi};$$

k — табулированная функция, зависящая от количества наблюдений в анализируемом периоде,

$$k = \sqrt{\frac{n+1}{n} + \frac{3(n+2l-1)^2}{n(n^2-1)}}.$$

$t_{0,1, \varphi}$ — критерий Стьюдента при уровне значимости 0,1 и числе степеней свободы φ (при наличии тенденции $\varphi = n-2$, при отсутствии тенденции $\varphi = n-1$).

Размер доверительного интервала характеризует точность прогноза.

Для определения прогнозных значений показателя по годам планового периода необходимо к базисным его значениям применить поправочные коэффициенты, учитывающие возможное состояние системы в каждом году этого периода.

Полученные расчетные значения интегрального показателя работы буровых станков (\hat{y}_l) корректируются с помощью поправочных коэффициентов, учитывающих действие новых факторов и изменение количеств рабочих смен в году:

$$\hat{y}_{ln} = \hat{y}_l / (k_n k_{cml} k_{nl}),$$

где \hat{y}_{ln} — скорректированный интегральный показатель работы буровых станков в плановом периоде; k_{nl} — коэффициент, учитывающий действие новых факторов на производительность станков; k_{cml} — коэффициент, учитывающий изменение числа рабочих смен; k_n — коэффициент прогрессивности (напряженности) норматива годовой производительности;

$$k_{nl} = 1 + \Delta \Pi_{cml} / \Pi_{cml},$$

где $\Delta \Pi_{cml}$ — расчетное изменение производительности за счет действия новых факторов.

$$k_{cml} = 1 + \Delta T_{pl} / T_{kl},$$

где ΔT_{pl} — увеличение числа рабочих смен за счет изменения режима работы и сокращения времени планово-предупредительных ремонтов; T_{kl} — годовой календарный фонд времени.

$$k_n = \sum_{j=1}^n y_j / \sum_{j=1}^n \hat{y}_j,$$

где $j = 1, 2, \dots, n$ — количество наблюдений, когда фактические значения показателя y_j превышают расчетные значения показателя \hat{y}_j .

Норма потребности в буровых станках типа m на уровне карьера (разреза) на планируемый период (шт/млн. т)

$$H_{lm} = Q_n k_{nl} \hat{y}_{ln}.$$

Норма потребности в буровых станках для определения списочного парка на планируемый период на уровне карьера (шт/млн. т)

$$H_l = \sum_{m=1}^m H_{lm} Q_{lm} / Q_l,$$

где $m = 1, 2 \dots m$ — число типов буровых станков в плановом периоде; Q_{lm} — доля добычи полезного ископаемого на карьере за год, получаемая с применением буровых станков типа m в году l планового периода, млн. т; Q_l — годовая добыча полезного ископаемого на карьере в году l планового периода, млн. т.

Норма потребности в буровых станках для определения парка по типам станков на уровне производственного объединения

на планируемый период (шт./млн. т)

$$H_{lm} = \sum_{i=1}^D H_{lmi} Q_{lmi} / \sum_{i=1}^D Q_{lmi},$$

где $i=1, 2, \dots, D$ — число карьеров в производственном объединении.

Норма потребности в буровых станках для определения списочного парка в году l планового периода на уровне производственного объединения (шт./млн. т)

$$H_l = \sum_{i=1}^D H_{li} Q_{li} / \sum_{i=1}^D Q_{li},$$

где H_{li} — норма потребности в буровых станках для определения списочного парка в году l планового периода на уровне i -го карьера, шт./млн. т; Q_{li} — годовая добыча угля на i -м карьере в году l планового периода, млн. т.

Аналогично рассчитывается норма потребности в буровых станках по отрасли.

Нормы потребности в буровых станках для определения парка на уровне производственного объединения и отрасли можно рассчитывать и более простым методом.

Нормы потребности в буровых станках для определения парка в году l планового периода (шт./млн. т). Рекомендуется рассчитывать по формуле ИГД им. А. А. Скочинского и НИИОГР

$$H_l = (q_{dl} + q_{взл} \alpha_l k_{vl}) / H_{прl},$$

где q_{dl} — удельный расход бурения на добыче, м/1000 т; $q_{взл}$ — удельный расход бурения на вскрыше, разрабатываемой с применением буровзрывных работ, м/1000 м³; α_l — доля вскрыши, разрабатываемая с применением буровзрывных работ в общей вскрыше; k_{vl} — коэффициент вскрыши, м³/т; $H_{прl}$ — норма годовой производительности среднесписочного бурового станка, м.

Норма производительности станка за отчетный период

$$H_{пр} = Q_{vj} / N_{спj},$$

где Q_{vj} — годовой объем буровых работ j -м году, м; $N_{спj}$ — среднесписочное число станков бурового парка в j -м году, шт.

Коэффициент вскрыши в j -м году отчетного периода

$$k_{vj} = Q_{vj} / Q_{dj},$$

где Q_{vj} — объем вскрыши, млн. м³; Q_{dj} — объем добычи, млн. т.
Доля вскрыши, разрабатываемая с применением буровзрывных работ,

$$\alpha_j = Q_{взj} / Q_{vj},$$

Таблица 9.1
Динамика показателей работы буровых станков на карьере

Показатели	Отчетный период						
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Объем добычи полезного ископаемого, млн. т	4,259	4,362	4,605	5,217	5,735	6,318	7,022
Объем вскрыши, млн. м ³	29,436	28,861	34,91	41,199	38,683	40,78	46,525
Коэффициент вскрыши, м ³ /т	6,91	6,62	7,58	7,897	6,745	6,455	6,626
Объем взорванной горной массы, млн. м ³	29,796	27,337	32,562	39,064	38,395	40,144	43,974
в т. ч. из добыче	3,155	3,231	3,411	3,864	4,248	4,680	5,201
на вскрыше	26,641	24,106	29,151	35,2	34,147	35,464	38,773
Доля (удельный вес) взорванной горной массы в общем объеме вскрыши	1,012	0,947	0,933	0,948	0,993	0,984	0,945
Объем буровых работ, м	860 150	867 420	1 001 478	1 092 752	1 147 143	1 021 100	959 151
Доля (удельный вес) объема бурения шарошечными станками	0,499	0,509	0,606	0,733	0,832	0,846	0,895
Доля (удельный вес) объема бурения шнековыми станками	0,501	0,491	0,394	0,267	0,168	0,154	0,105
Число отработанных смен на бурении	5734	6056	7238	7214	6748	5956	5249
в т. ч. шарошечными станками	2964	3089	4414	5008	5316	4825	4521
шнековыми станками	2770	2967	2824	2206	1432	1131	728
Среднесменная производительность станков, м: шарошечных	150	143,23	138,36	151,48	170	171,44	182,16
шнековых	144,92	142,83	137,5	159,93	179,54	179,03	189,95
Среднесуточное число станков	155,45	143,66	139,71	132,29	134,58	139,06	137,90
в т. ч. шарошечных	19,58	20,67	23,42	25,33	21,5	19	19,75
шнековых	9,66	10,25	12,42	15,08	14,58	14	14
Выход взорванной горной массы с 1 м скважины, м ³ /м	9,92	10,42	11	10,25	6,92	5	5,75
Интегральный показатель работы буровых станков:	31,693	31,515	32,514	31,35,748	33,470	39,314	45,847
шарошечных	0,3230	0,3553	0,3559	0,366	0,3771	0,3433	0,3009
шнековых	0,3372	0,3610	0,3150	0,2488	0,1790	0,1226	0,1235

где $Q_{взj}$ — объем вскрыши, разрабатываемой с применением буровзрывных работ, млн. м³.

Удельный расход бурения на добыче и вскрыше

$$q_{дj} = Q_{бдj} / Q_{дj}; \quad q_{взj} = Q_{бвj} / Q_{взj},$$

где $Q_{бдj}$ — объем буровых работ на добыче, тыс. м; $Q_{бвj}$ — объем буровых работ на вскрыше, тыс. м.

Исходные данные для расчета можно получить из статистической отчетности предприятий и производственных объединений.

Расчетные показатели на планируемый период, входящие в формулу для H_i , определяются по ранее приведенной методике.

Исходные данные для расчета парка шнековых станков типа СВБ-2М, СБР-160 и шарошечных станков типа 2СБШ-200, 2СБШ-200И, 60-Р приведены в табл. 9.1.

Согласно предлагаемой методике определяется интегральный показатель работы буровых станков за отчетный период 1980—1986 гг. Расчет прогнозных значений интегрального показателя производится методом экспоненциального сглаживания на ЭВМ по программе, разработанной институтом НИИОГР.

Расчетные значения нормы потребности в буровых станках шарошечного и шнекового типа для определения парка и среднесписочный парк по годам планового периода 1987—1990 гг. представлены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Потребности в буровых станках для определения парка на карьере в периоде 1987—1990 гг.

Показатели	Плановый период			
	1987	1988	1989	1990
Объем добычи полезного ископаемого, млн. т	7,27	7,52	7,85	8,00
Объем вскрыши, млн. м ³	47,5	57,5	59,5	61,8
Коэффициент вскрыши, м ³ /т	6,534	7,646	7,580	7,725
Прогнозные значения интегрального показателя работы станков:				
шарошечных	0,3503	0,3503	0,3503	0,3503
шнековых	0,2269	0,2269	0,2269	0,2269
Норма потребности в буровых станках для определения парка, шт./млн. т:				
шарошечных	2,289	2,678	2,655	2,706
шнековых	1,483	1,735	1,720	1,753
Среднесписочный парк буровых станков:				
шарошечных	16,64	20,14	20,84	21,65
шнековых	10,78	13,05	13,50	14,03

10. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТРЕБНОСТИ БУРОВЫХ ДОЛОТ

Под нормой потребности следует понимать максимально допустимый расход долот при бурении на рациональных режимах в горно-геологических условиях, соответствующих конструкции долота, с учетом необходимого запаса долот. Норма потребности долот устанавливается, исходя из стойкости (величины проходки) долота, которая зависит от *конструктивно-технологических факторов*, обусловленных конструкцией долота и технологией его изготовления, и *эксплуатационно-технологических факторов*, зависящих от горно-геологических условий отработки долота и технологии бурения.

Стойкость долота в значительной степени зависит от его надежности и долговечности, т. е. от свойства бурового инструмента сохранять работоспособность с учетом возможности его восстановления (переточки)*. В этом случае долговечность долот оценивается коэффициентом восстановления.

Потеря работоспособности режущих и ударных долот обычно происходит вследствие притупления лезвия. Максимально допустимая ширина площадки притупления лезвия долота зависит от прочностных характеристик буримых пород и принимается в пределах 3—5 мм.

Шарошечные долота теряют работоспособность по причине износа их вооружения или опор. Причиной аварийных выходов долот из строя могут быть выкрашивания твердого сплава или заклинивания опор. В первом случае это свидетельствует о некачественном креплении (запрессовке) твердого сплава, в другом — о засорении продувочных отверстий, заводских дефектах подшипников или высоких осевых усилиях. Кроме того, преждевременный выход из строя вооружения долот может свидетельствовать о несоответствии типа долота буримым породам.

Норма расхода долот (шт/м) должна устанавливаться в соответствии с объемами буровых работ по группам различных пород и для каждого типа долота

$$H_d = 1/L_n,$$

где L_n — нормированная стойкость долота, м.

При этом производится хронометраж процесса бурения с фиксацией параметров режима бурения. Число долот при испытании устанавливается в соответствии с требованиями математической статистики.

Нормированный показатель стойкости

* Шарошечные долота восстановлению не подлежат.

$$L_n = \sum_{i=1}^n L_{ni}/n,$$

где L_{ni} — проходка на i -ое испытываемое долото с учетом переточек; $i=1, 2, \dots, n$ — число отработанных долот;

$$L_n = \beta L,$$

где β — коэффициент восстановления; L — проходка на долото до первой переточки, м;

$$\beta = (L_1 + L_2 + \dots + L_m)/L,$$

где L_1, L_2, \dots, L_m — проходка на долото после очередной переточки или замены режущих элементов, м; m — число переточек или замен режущих элементов долота.

Однако этот показатель стойкости иногда не учитывает всего разнообразия производственных условий эксплуатации бурового инструмента на карьерах. Поэтому нормированная стойкость корректируется по среднему значению стойкости L_n , установленному в результате натуральных наблюдений за обработкой долот в процессе их эксплуатации.

Сопоставление указанных показателей средней стойкости позволяет скорректировать и оценить нормированную стойкость. При этом, если эксплуатационный показатель средней стойкости незначительно отличается от стойкости, полученной в процессе промышленных испытаний, то нормированная стойкость выбирается по эксплуатационной стойкости.

Резкое снижение эксплуатационной стойкости по отношению к стойкости, полученной при промышленных испытаниях, свидетельствует о нарушении технологии обработки долот. Поэтому необходимо выявить и устранить причину снижения эксплуатационной стойкости. В этом случае в качестве нормированной принимается стойкость, полученная при промышленных испытаниях, которую в дальнейшем следует корректировать.

В случаях, когда отсутствуют натурные наблюдения за эксплуатацией долот, показатель средней стойкости (м)

$$L_{\text{ср}} = \frac{\sum_{t=1}^T Q_t / \sum_{t=1}^T N_t,$$

где Q_t — годовой объем бурения в t -м году анализируемого периода, м; N_t — годовой расход долот в t -м году; $t=1, 2, \dots, T$ — число лет анализируемого периода (последние 2—3 года).

Сравнение средней стойкости за анализируемый период и нормированной стойкости является основанием для оценки прогрессивности выбранной нормированной стойкости. Если принятая нормированная стойкость больше среднего значения стойкости за анализируемый период, то можно считать, что установленная норма является прогрессивной. Если принятая нормированная стойкость будет меньше среднего значения стойкости за анализируемый период, то следует проверить пра-

вильность учета расхода буровых долот на предприятии или откорректировать норму.

Индивидуальная норма расхода (потребности) буровых долот предназначена для определения потребности в буровом инструменте для конкретных условий бурения отдельных участков пород, выделенных на карьерах (разрезах). Она рассчитывается на 1000 м пробуренных скважин и является основной частью групповой нормы для предприятия.

Индивидуальная норма расхода долот на 1000 м для участков вскрыши и полезного ископаемого при бурении на i -й группе пород

$$H_{ni} = 1000 / (\beta_i L_{ni}),$$

где β_i — коэффициент восстановления долота; L_{ni} — нормированная стойкость долота, м.

Средневзвешенная индивидуальная норма расхода долот на 1000 м для вскрышных участков предприятия

$$H_{нв} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{ni} Q_{oi}}{\sum_{i=1}^n Q_{oi}},$$

где H_{ni} — индивидуальная норма расхода долот i -го вскрышного участка на 1000 м; Q_{oi} — объем бурения на i -м участке, тыс. м; $i=1, 2, \dots, n$ — число вскрышных участков с установленными индивидуальными нормами.

Групповая норма расхода буровых долот для определения потребности в них предприятия

$$H_{гр} = H_{нд} \frac{\psi}{\gamma_d d} + H_{нв} \frac{k_n \alpha \eta_j}{\gamma_b},$$

где $H_{нд}$ — индивидуальная норма расхода долот при бурении полезного ископаемого на 1000 м; $H_{нв}$ — средневзвешенная индивидуальная норма расхода долот при бурении вскрышных пород на 1000 м; ψ — доля полезного ископаемого, добываемого с применением буровзрывных работ; γ_d — выход горной массы с 1 м скважины, пробуренной по полезному ископаемому, м³/м; d — плотность полезного ископаемого, т/м³; k_n — коэффициент вскрыши, м³/т; α — доля вскрыши, разрабатываемая с применением буровзрывных работ; η_j — доля буровых работ на вскрыше с применением j -го вида инструмента (шарошечного, режущего, ударного); γ_b — выход горной массы с 1 м скважины, пробуренной по вскрышным породам, м³/м.

Сводная укрупненная норма предназначена для определения расхода долот на уровне производственного объединения

$$H_{св} = \sum_{i=1}^D H_{гри} Q_i / \sum_{i=1}^D Q_i,$$

где $H_{гри}$ — групповая норма расхода долот для i -го предприятия, отнесенная на 1000 т добычи; Q_i — объем добычи полезно-

го ископаемого i -го предприятия, тыс. т; $i=1, 2, \dots, D$ — число предприятий в объединении.

Отраслевая норма расхода на 1000 т предназначена для определения потребности долот на открытых горных работах

$$H = \sum_{i=1}^B H_{сви} Q_i / \sum_{i=1}^B Q_i,$$

где $H_{сви}$ — сводная норма расхода долот i -го производственного объединения на 1000 т добычи; Q_i — объем добычи полезного ископаемого i -го производственного объединения, тыс. т; $i=1, 2, \dots, B$ — число производственных объединений в отрасли.

Нормы расхода буровых долот разрабатываются с учетом применения оптимальных параметров режима бурения и опираются на передовой опыт. По мере совершенствования технологии бурения, а также изменения условий бурения, нормы расхода пересматриваются.

Нормы потребности буровых долот на всех уровнях определяются, исходя из норм расхода и необходимых запасов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Автоматизация* и автоматизированные системы управления в угольной промышленности. Под ред. Б. Ф. Братченко. М., Недра, 1976.
2. *Барон Л. И.* Горнотехнологическое породоведение. — М., Наука, 1977.
3. *Буданов В. Е.* Промышленные испытания гидромолота СП-62 на дроблении негабаритов. — В кн.: Перспективы развития открытой разработки угольных месторождений. Кемерово. КузПИ, 1985, с. 127—131.
4. *Буровзрывные работы* на угольных разрезах/Н. Я. Репин, В. П. Богатырев, В. Д. Буткин и др. М., Недра, 1987.
5. *Буткин В. Д.* Проектирование режимных параметров автоматизированных станков шарошечного бурения. М., Недра, 1979.
6. *Буткин В. Д., Жуковский А. А., Чигинцев В. Ф.* Методика инженерного расчета оптимальных параметров шарошечного бурения взрывных скважин. — Уголь, 1975, № 11, с. 42—44.
7. *Взрывоимпульсное разрушение горных пород*/А. В. Докукин, Ю. Д. Красников, А. А. Шубин и др. М., Наука, 1979.
8. *Виницкий К. Е.* Управление параметрами технологических процессов на открытых разработках. М., Недра, 1984.
9. *Дмитриев А. П., Гончаров С. А.* Термодинамические процессы в горных породах. М., Недра, 1983.
10. *Единые нормы выработки (времени) на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности.* Бурение, ЦБНТ. М., НИИТруда, 1978.
11. *Жуковский А. А.* Преобразователи сигналов для систем управления режимов бурения. — Горный журнал, 1975, № 9, с. 65—66.
12. *Жуковский А. А.* Приводы и средства автоматизации буровых станков на открытых разработках. Тр. ЦНИЭИУгля. М., Изд. ЦНИЭИУголь, вып. 1, 1979.
13. *Жуковский А. А.* Устройство управления для гидравлических регуляторов буровых станков. — В кн.: Техника и технология буровзрывных работ. Вып. 3. Киев, 1975, с. 19—24.

14. Жуковский А. А., Нанкин Ю. А., Сушинский В. А. Электропривод и автоматизация буровых станков США для открытых горных работ. Тр. ЦНИЭИугля, вып. 12, М., изд. ЦНИЭЦуголь, 1982.

15. Исследование и разработка ударных строительных и дорожных машин. Тр. ВНИИстройдормаш. Вып. 84. М., изд. ВНИИстройдормаш, 1979.

16. Крюков Г. М., Оноцкий М. И., Френкель Б. Е. Особенности разрушения породы шарошечными долотами при одновременном воздействии статической и динамической нагрузок. — В сб. Взрывное дело, № 89/46. М., Недра, 1986, с. 64—74.

17. Лопатин Ю. С., Осипов Г. М., Перегудов А. А. Бурение взрывных скважин на карьерах. М.: Недра, 1979.

18. Машины ударного действия для разрушения горных пород/Лобанов Д. П., Горюнов В. Б., Фонберштейн Е. Г. и др. — М., Недра, 1983.

19. Мансуров В. А. Поведение горных пород при различных скоростях нагружения. Фрунзе, Илим, 1982.

20. Мельников Н. В. Краткий справочник по открытым горным работам. М., Недра, 1982.

21. Мохначев М. П. Динамическая прочность горных пород. М., Наука, 1982.

22. Нанкин Ю. А., Герасимов И. В. Станок направленного бурения 2СБШ-200Н. — Недра, М., 1980.

23. Нормативный справочник по буровзрывным работам/Ф. А. Авдеев, В. Л. Барон, Н. В. Гуров и др. М., Недра, 1986.

24. Перетолчин В. А. Вращательное и шарошечное бурение скважин на карьерах. М., Недра, 1983.

25. Перетолчин В. А. Расчет параметров и показателей работы пневмотранспортных систем буровых станков. Иркутск, изд. ИПИ, 1982.

26. Подэрни Р. Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ. М., Недра, 1985.

27. Протасов Ю. И. Теоретические основы механического разрушения горных пород. М., Недра, 1985.

28. Рабочая книга по прогнозированию/Редколлегия: И. В. Бестужев-Лада (отв. редактор). М., Мысль, 1982.

29. Развитие техники и технологии открытой угледобычи/М. И. Щадов, К. Е. Вишицкий, М. Г. Потапов и др. М., Недра, 1987.

30. Разрушение негабаритных кусков горных пород/В. Ф. Бызов, М. И. Великий, А. И. Чернонос, С. З. Вайман. Киев, Техника, 1986.

31. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. М., Недра, 1984.

32. Справочник по бурению на карьерах/Под ред. Б. А. Симкина. М., Недра, 1981.

33. Средства автоматизации железорудных карьеров/А. А. Жуковский, А. Г. Заринов, В. В. Климов, В. П. Крюков. М., Недра, 1976.

34. Суханов А. Ф., Кугузов Б. Н. Разрушение горных пород взрывом. М., Недра, 1983.

35. Сливак А. И., Попов А. Н. Разрушение горных пород взрывом при бурении скважин. М., Недра, 1986.

36. Тангаев И. А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. М., Недра, 1986.

37. Телешов А. С., Брюхов Б. Ф. Технологическая оценка станка, совмещающего паразитивание става с бурением скважины. — В кн.: Технология и механизация добычи полезных ископаемых открытым способом. М., Недра, 1986, с. 33—40.

38. Техника и технология добычи руд за рубежом/С. Н. Подвиженский, С. Л. Нофин, Э. С. Ивановский, В. Г. Гальперин. М., Недра, 1986.

39. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования. М., Статистика, 1977.

40. Чулков Н. Н. Расчет приводов карьерных машин. М., Недра, 1987.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Оценка сопротивляемости горных пород разрушению при бурении	5
2. Классификация и условия применения способов и средств бурения скважин на карьерах	28
3. Конструкция буровых станков	50
3.1. Станки шарошечного бурения	50
3.2. Станки вращательного бурения с режущими долотами и комбинированные	61
3.3. Станки ударно-вращательного бурения	70
3.4. Станки огневого бурения	78
3.5. Техника бурения на зарубежных карьерах	79
4. Буровой инструмент	94
4.1. Средства механического воздействия на горную породу и их классификация	94
4.2. Шарошечные долота и область их применения	98
4.3. Режущий буровой инструмент	118
4.4. Комбинированный буровой инструмент	125
4.5. Долота и штанги для ударно-вращательного бурения	130
5. Производительность буровых станков	133
6. Техника разрушения негабаритов	139
6.1. Общие положения	139
6.2. Установки для механизированного бурения шпуров в негабаритах	140
6.3. Способы и средства невзрывного разрушения негабаритов	143
6.4. Рациональная область применения средств механического разрушения негабаритов	153
7. Автоматическое управление процессом бурения и привод буровых станков	157
7.1. Принципы подхода к созданию систем автоматического контроля и управления работой шарошечных станков	157
7.2. Системы управления процессом бурения	158
7.3. Комплектная (полная) схема системы автоматизации	164
7.4. Аппаратура для управления буровыми станками	168
7.5. Электропривод буровых станков	177
8. Методы расчета оптимальных режимов бурения	181
8.1. Общие положения	181
8.2. Выбор параметров и режимов для режущего бурового инструмента	187
8.3. Определение технических и энергетических параметров бурения	195
8.4. Зависимость скорости бурения от режимов работы станка и контактной прочности пород	200
8.5. Расчет оптимальных режимов бурения	202
8.6. Расчет рациональных режимов бурения режущими долотами с продувкой скважины сжатым воздухом	206
9. Методика расчета потребности буровых станков	209
10. Методика расчета потребности буровых долот	218
Список литературы	221

8
75/1158

10000 10000/1

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Симкин Борис Александрович
Кутузов Борис Николаевич
Буткин Владимир Дмитриевич

СПРАВОЧНИК ПО БУРЕНИЮ НА КАРЬЕРАХ

Звездующий редакцией *О. И. Паркани*
Редакторы издательства *Т. И. Королева, Ю. В. Анзимилова*
Технические редакторы *С. Г. Веселкина, А. А. Бровкина*
Корректор *Л. В. Сметанина*

ИБ № 7051

Сдано в набор 15.01.90. Подписано в печать 05.07.90. Т-07579. Формат 60X88/16. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 13,72. Усл. кр. отт. 14,21. Уч.-изд. л. 14,70. Тираж 4950. Заказ 1503/1246—9. Цена 1 р. 10 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
125047 Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Московская типография № 11 Государственного комитета СССР по печати.
113105 Москва, Нагатинская ул., д. 1.

