

Б22.143

193

Н. И. ЛЮБИМОВ

КЛАССИФИКАЦИЯ
ГОРНЫХ ПОРОД
И РАЦИОНАЛЬНОЕ
ПРИМЕНЕНИЕ
БУРОВОЙ ТЕХНИКИ



Б22.143 | 36009

Л 93 | Любимов Н.И.

Классификация гор-
ных пород ...

			0-60

Книга должна быть возвращена не
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выданий _____

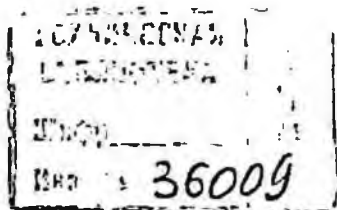
2204

Н. И. ЛЮБИМОВ

622.143

193

КЛАССИФИКАЦИЯ
ГОРНЫХ ПОРОД
И РАЦИОНАЛЬНОЕ
ПРИМЕНЕНИЕ
БУРОВОЙ ТЕХНИКИ



МОСКВА «НЕДРА» 1977

Любимов Н. И. Классификация горных пород и рациональное применение буровой техники. М., «Недра», 1977. 239 с.

В книге рассмотрена классификация горных пород по физико-механическим свойствам, установлены в соответствии с этими свойствами области рационального применения буровой техники и определены перспективные скорости бурения разведочных скважин. Описаны новые приборы и методы определения механических свойств горных пород в производственных условиях. С целью прогнозирования скоростей разведочного бурения с учетом механических свойств горных пород и характеристик буровых станков предложены новые формулы. В книге даны рекомендации по способам бурения, породоразрушающему инструменту и техническим средствам с учетом опыта и перспектив развития техники и технологии разведочного бурения.

Книга предназначена для специалистов, занятых бурением геологоразведочных скважин.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время при проведении геологоразведочных работ в больших объемах применяется алмазное бурение с использованием новых типов буровых установок, шпуре стало осуществляться бескерновое и ударно-вращательное бурение гидроударными машинами и пневмоударниками. Для интенсификации буровой разведки используются буровые снаряды при бурении скважин малых диаметров. Кроме того, широко используют колонковые снаряды со съёмными керноприемниками.

Оснащение геологической службы новой техникой и применение более совершенной технологии бурения разведочных скважин позволили получить в 1975 г. производительность 475 м/ст-мес. Еще более высокие показатели намечено достигнуть в десятой пятилетке. Средняя производительность должна возрасти к 1980 г. до 575 м/ст-мес. Бурение предполагается вести на предельно высоких скоростях вращения буровых станков с широким использованием снарядов со съёмными керноприемниками.

Успешному выполнению поставленных задач будет способствовать данная работа, включающая классификацию горных пород по механическим свойствам, установление областей для рационального применения буровой техники и определение перспективных скоростей бурения разведочных скважин.

В работе приведена характеристика новых приборов и методов определения механических свойств горных пород в производственных условиях.

Особенно результативными оказались разработки метода и аппаратуры для определения абразивности пород в сочетании с методом определения их динамической прочности.

Параметры абразивности и динамической прочности пород в объединенном выражении являются основой классификации горных пород по механическим свойствам и определения категорий буримости для вращательного бурения.

Эти исследования по существу являются итогом вы-

полнения очень важной проблемы по классификации горных пород на основе их физико-механических свойств и объективной оценки категорий буримости.

Исследования механических свойств горных пород на различных объектах разведки полезных ископаемых с использованием методов определения механических свойств пород позволили:

1) разработать классификацию генетических типов горных пород по механическим свойствам;

2) сгруппировать месторождения полезных ископаемых и регионы геологоразведочных работ по составу и механическим свойствам горных пород рудных полей и продуктивных толщ;

3) выработать рекомендации по использованию буровой техники применительно к характерным комплексам горных пород, вмещающим месторождения различных полезных ископаемых;

4) разработать методику определения расчетной буримости генетических разностей и комплексов горных пород, слагающих отдельные регионы с большим объемом геологоразведочных работ.

Применение расчетных формул дает возможность провести перспективную оценку скоростей бурения при наиболее полном использовании технических характеристик буровых станков и прогрессивной технологии бурения разведочных скважин. Работа на форсированных режимах обеспечивает повышение механической скорости бурения в 2—4 раза по сравнению с данными бурения при малых скоростях и нагрузках.

Группировка месторождений полезных ископаемых по принадлежности к преобладающим генетическим комплексам горных пород, слагающих рудные поля и продуктивные толщи (осадочные породы неметаморфизованные, метаморфизованные, метаморфические, основные и ультраосновные изверженные породы, преимущественно гранитоиды, вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы и породы сложного комплекса), позволила разработать основы типизации условий буровой разведки. Это в свою очередь может облегчить разработку методов оптимизации проектирования и сооружения скважин на объектах разведки с учетом состава и параметров механических свойств каждого из генетических комплексов горных пород.

Глава I

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Наиболее распространенные методы и аппаратура для определения физико-механических свойств горных пород описаны в литературе [2, 3, 10, 22, 25, 36, 38], поэтому в работе излагается лишь сущность методов, имеющих значение для исследования буримости и классификации горных пород для разведочного бурения.

Опыт показывает, что отсутствие на месте работ объективных методов и приборов для определения твердости, абразивности и механической прочности затрудняет оценку новой техники и совершенствование технологии бурения разведочных скважин.

Буримость горных пород зависит от многих факторов, из которых основными являются физико-механические свойства пород, износоустойчивость породоразрушающих инструментов и совершенство технологии бурения. Два последних фактора учитываются на месте работ. Что же касается физико-механических свойств буримых пород, то о них имеются лишь самые общие представления. Исходя из этого, нами были разработаны следующие методы и аппаратура для определения:

- 1) твердости по методу царапания и затухающих колебаний на маятниковом приборе ТМЦ-1;
- 2) сопротивления нетвердых горных пород вдавливанию штампа на приборе штамп-динамометр ДМШ-1;
- 3) удельной ударной вязкости (энергоемкости) на образцах неправильной формы;
- 4) абразивности по методу буровой коронки;
- 5) абразивности горных пород в раздробленном состоянии на приборе шатунно-кривошипного типа ПОАП-2м.

Особенно результативным оказался метод определения абразивности горных пород на приборе ПОАП-2м, разработанный с использованием метода определения динамической прочности горных пород.

§ 1. Методы определения твердости горных пород

Понятие «твердость» определяется как местная механическая прочность. В отличие от понятия прочности, характеризующего сопротивление тела полному (объемному) разрушению, твердость представляет собой сопротивление поверхностных слоев тела местному воздействию усилий.

В различных областях науки и техники были предложены многие методы и приборы для определения твердости. Методы основаны на различных принципах, и размерность получаемых результатов определения твердости различна. Поэтому принято говорить о параметрах твердости со ссылкой на метод, по которому эти параметры получены.

Метод Л. А. Шрейнера. Для определения твердости породы в отшлифованную поверхность образца вдавливают стальной штамп с гладким торцом. Применяют штампы с площадью основания от 1 до 5 мм².

Штампы площадью 5 мм² применяют для измерения механических свойств нетвердых горных пород. По форме штампы бывают цилиндрические и в виде усеченного конуса с углом при вершине 60°.

Цилиндрические штампы применяют для измерения пород твердостью до 300 кгс/мм². Штампы изготавливаются из быстрорежущей стали марки РФ. Для твердых пород следует применять штампы из твердого сплава в виде усеченного конуса с площадью при вершине 1—2 мм².

Твердость горной породы $\rho_{ш}$ (в кгс/мм²) вычисляется по формуле

$$\rho_{ш} = P/S, \quad (1)$$

где P — нагрузка, соответствующая пределу прочности на вдавливание, в кгс; S — площадь штампа в мм².

Предельная текучесть горной породы ρ_0 (в кгс/мм²) определяется выражением:

$$\rho_0 = P_1/S, \quad (2)$$

где P_1 — нагрузка, соответствующая пределу текучести породы, в кгс.

Твердость по методу Шрейнера в настоящее время измеряют на гидравлическом прессе и на приборе УМПГ-3, позволяющем получить графики деформации непосредственно в процессе испытаний [51].

Этот метод находит применение при изучении механизма разрушения горных пород, совершенствовании конструкции долот и выработки режимов бурения. Он дает достаточно верные результаты при определении твердости и вязкости сравнительно однородных мелкозернистых пород, поэтому широко используется в практике бурения на нефть и газ. При определении твердости полиминеральных пород, различных по составу и структуре, имеется большой разброс данных.

Метод ВИМС предложен Н. И. Любимовым для определения твердости (механической прочности) мягких пород в условиях геологоразведочных партий и экспедиций [22]. Метод заключается в том, что в образец породы диаметром около 80 мм, запрессованный в стальной башмак-обойму, при помощи рукоятки вдавливается штамп. Мерой твердости является сопротивление породы вдавливанию штампа, регистрирующееся динамометром и рассчитываемое по формуле

$$\rho_d = P/S, \quad (3)$$

где ρ_d — твердость по динамометру в кгс/мм²; P — нагрузка в момент проникновения штампа до упора в кгс; S — площадь штампа в мм².

Метод определения твердости горных пород резанием H_p . Определение твердости по методу ВИТР основано на принципе резания абразивным (карборундовым) кругом образца горной породы в форме керна при помощи прибора «ОТ» (определитель твердости), разработанного сотрудниками ВИТР М. В. Виторфом и Н. В. Быковой [10].

При использовании абразивного круга марки К46СТ,Б размером 150×3 мм, постоянных значениях времени резания (60 с), скорости вращения карборундового круга (2850 об/мин) и нагрузки на испытуемый образец (4,1 кгс) на различных горных породах получается разная глубина вреза абразивного круга в керн. На приборе установлен индикатор, позволяющий замерять глубину вреза с точностью до 0,01 мм.

Метод определения твердости по истиранию. Прибор и метод разработан М. И. Койфманом (ВИМС) и заключается в следующем. К цилиндру, покрытому карборундовой шкуркой, прижимается с постоянной нагрузкой образец (призматической формы) испытуемой породы площадью 1 см². При вращении

цилиндра с постоянной окружной скоростью образец истирается [38].

Показатель твердости $H_{\text{ист}}$ (в 1/см) определяется выражением:

$$H_{\text{ист}} = \frac{100S\gamma}{P_1 - P_2}, \quad (4)$$

где S — площадь истирания в см²; γ — средняя плотность в г/см³; P_1 и P_2 — соответственно масса образца породы до истирания и после него в г.

Метод царапания и затухающих колебаний. Метод разработан в ВИМС (Н. П. Любимов и др.) и заключается в том, что по отшлифованной пластинке образца породы движется острей стальной или корундовой иглы в интервале 15 мм. Движущей силой является кинетическая энергия маятника конструкции проф. В. Д. Кузнецова.

О твердости породы судят по числу колебаний маятника. Чем тверже испытуемый образец породы, тем число колебаний маятника больше. Например, твердость мрамора определяется восемью колебаниями, а твердость шокшинского кварцита — 78 колебаниями [22].

В табл. I приведены сведения о твердости некоторых разновидностей горных пород, установленной описанными методами.

Исследованные породы расположены по возрастанию их твердости. Характерно, что твердость пород по методу истирания изменяется от 4 до 1749 ед., что создает определенные трудности при их разрушении с точки зрения разработки и рационального применения буровой техники.

Кварцсодержащие породы, вызывающие притупление режущих кромок истирающих материалов при вращательном бурении, имеют твердость:

по методу истирания	>600 ед.
по методу вдавливания штампа	>400 кгс/мм ²
по методу резания	<3,0 мм
по методу отскока	>70
по методу царапания и затухающих колебаний	>50 колебаний маятника

§ 2. Методы определения механической прочности горных пород

Механическая прочность горных пород характеризуется временным сопротивлением при статических и

Таблица 1

Метод определения твердости пород	Твердость пород	Горная порода
Истирание, 1/см	200	Аргиллит, алевролит, известняк, доломит, песчаник аркозовый, сиенито-диорит значительно выветрелый, туфы изверженных пород, змеевик, серпентинит, мрамор, сланцы глинистые, песчаные кристаллические
	200—400	Известняк окремненный, песчаник полимиктовый, трихлипарит, андезит, диорит-порфир, сиенит, диорит, липарит, горнблендит, спилит, пироксенит, базальт, диабаз, сиенит-порфир, сланцы амфибол-биотитовые, роговик магнетито-амфиболовый
	400—600	Туф окремненный, граносиенит, габбро, лабрадорит, кератофир, гранодиорит
	600—800 700—1700	Пегматит, гранит, скарн гранатовый Яшма, роговик эгириновый, кварцит, джеспилит, кварцит сливной
Вдавливание штампа, кгс/мм ²	<100	Суглинок, глина, мергель, аргиллит, алевролит, гипс, известняк, доломиты, затронутые выветриванием, сланцы песчаные, глинистые, песчано-глинистые
	100—200	Известняк углистый, доломит, душит, андезит, базальт
	200—400	Песчаник, окремненные разности аргиллита, алевролита, перидотит, пироксенит, оливинит, сиенит-порфир, порфирит андезитовый и диабазовый, лабрадорит, диабаз, базальт, скарн гранатовый, серицито-кварцевая порода
	400—600 600—800	Известняк окремненный, диорит кварцевый, альбитит, сиенит, гранит Песчаник кремнистый, гранит аплитовидный, кварцит, роговик гематитовый, роговик эгириновый, джеспилит
Резание на приборе «ОТ» ВИТР, мм	5,0 и более	Аргиллит, алевролит глинистый, алевролит с углистым веществом, сланец кристаллический слабый
	5,0—3,0	Известняк, песчаник полимиктовый, туф андезитового порфирита, сланцы глинистые, известковистый алевролит, скарн хлорит-эпидотовый
	3,0—2,0	Диабаз, сиенит-порфир, порфирит, горнблендит, пироксенит, перидотит, песчаник среднезернистый, известняк окремненный, песчаник кварцевый, диорит кварцевый, гранодиорит, гранит
	2,0—1,0	Известняк кремнистый, кварцит, джеспилит, сланец кремнистый

Метод определения твердости пород	Твердость пород	Горная порода
Отскок (метод Шора)	До 50	Мергель, алевролит, известняк, доломит, андезит, серпентинит, сланец кристаллический, туф изверженных пород
	50—70	Песчаник полимиктовый, известняк окремненный, трахипарит, диорит-порфир, сиенит, пироксенит, диабаз, спилит, порфирит
	70—90	Габбро, лабрадорит, липарит, диорит, кератофир, сиенит-порфир, порфирит ороговикованный, граносиенит, гранодиорит, гранит, скарн рудный, амфиболит, роговик гематитовый, альбитит, яшма, кварцит, джеспилит, кварцит сливной
Царапанье и затухающие колебания	До 20	Мергель, алевролит, известняк, туф изверженных пород
	20—30	Песчаник полимиктовый, песчаник аркозовый, магнезит, андезит, апатит, сланцы глинистые, кристаллические, руда магнетитовая
	30—40	Известняк окремненный, диорит-порфир, сиенит, пироксенит, диабаз
	40—50	Липарит, диорит, порфирит, ороговикованный, туф окремненный, граносиенит, габбро, лабрадорит, альбитит, гранодиорит, пегматит, гранит, роговик гематитовый, скарн рудный, руда гематитовая
	50—70	Яшма, роговик эгириновый, джеспилит, кварцит, кварцит сливной

динамических нагрузках. При статической нагрузке механическая прочность пород определялась по методу сжатия, скалывания и растяжения. При динамических нагрузках определялись динамическая прочность ударом на изгиб и по методу толчения, удельная ударная вязкость по методу ЦНИГРИ, дробимость по методу Барона (ИГД им. А. А. Скочинского). Принято определять механическую прочность при одноосном сжатии, скалывании, растяжении, сдвиге, изгибе. Наиболее распространены методы определения временного сопротивления горной породы раздавливанию, скалыванию и растяжению.

Сопротивление раздавливанию при одноосном сжатии определяется на образцах правильной и неправильной формы.

Предел прочности образцов правильной формы (в кгс/см²) вычисляют по формуле

$$\sigma_{сж} = p/S, \quad (5)$$

где p — разрушающее усилие в кгс; S — площадь поперечного сечения образца в см².

Сопrotивление разрушению образцов горных пород неправильной формы (в кгс/см²) определяется следующим выражением [35]:

$$\sigma_{сж} = p/F, \quad (6)$$

где p — разрушающее усилие в кгс; F — среднее сечение образца (в см²), вычисляемое по формуле $F = (\sqrt[3]{V})^2$ с учетом среднего объема V .

Сопrotивление скалыванию определяют различными методами. Нами это сопротивление определялось методом одностороннего среза с использованием прибора ВИМС. Прибор состоит из корпуса и двух ножей — горизонтального и вертикального. Оба ножа заточены под углом 85°. Образцы породы изготовляют в виде прямоугольной пластины с размерами поперечного сечения 30×15 мм и длиной 120—150 мм. При такой длине можно получить пять—семь срезов, необходимых для определения средней величины прочности породы на скалывание. При испытании образец помещают на нижний нож. Верхний вертикальный нож скалывает образец под действием небольшого гидравлического пресса [38].

Сопrotивление определяют по формуле (5).

Сопrotивление породы разрыву определяют на гидравлическом прессе, имеющем специальное приспособление. Образец породы для испытания по методу ВИМС [38] имеет форму прямоугольной призмы длиной 80 мм, шириной 20 мм и толщиной 10 мм, у которой с двух боковых сторон сделаны полукруглые выемки (для захвата), чтобы поперечное сечение средней части образца составило 10×10 мм (предполагаемое сечение разрыва образца).

Механическая прочность на разрыв вычисляется по формуле (5).

Недостатком метода является трудность изготовления образцов и большой процент брака результатов испытаний вследствие разрыва породы не в середине образца.

Имеется новый метод испытания породы на разрыв

путем сдавливания образца между двумя соосными клиньями [46].

Сущность метода заключается в следующем: образец прямоугольного сечения сдавливается между двумя стальными закаленными клиньями. Лезвия клиньев должны находиться строго в одной вертикальной плоскости. При испытании фиксируются нагрузка, вызывающая разрушение образца от разрыва в этой плоскости, и площадь сечения разрыва. Сопротивление разрыву также вычисляется по формуле (5).

*Таблица 2

Порода	Месторождение	Предел прочности, кгс/см ²		
		на скальвание $\sigma_{ск}$	на сжатие $\sigma_{сж}$	на растяжение $\sigma_{рас}$
Мрамор	Газганское	91	1650	—
Известняк	Тарусское	95	1030	—
Андезит	Бакуринское	96	986	58
Гранатовый скарн	Агаракское	96	1015	—
Туф	Уральское	110	1156	67
Доломит	Протополовское	118	1620	69
Гранодиорит метаморфизованный	Агаракское	130	1412	—
Известняк	Гавардовское	145	1380	91
»	Еленовское	192	1640	—
Гранит мелкозернистый	Янцевское	198	1660	120
Гранодиорит	»	211	2659	—
Гранит среднезернистый	»	220	2592	143
Сиенит	Гороблагодатское	221	2152	143
Гранодиорит	Агарское	222	2336	—
Диорит	»	240	2390	—
Габбро	Турчинское	244	2300	135
Скарн рудный	Теченское	255	2098	—
Кератофир	Блявинское	268	2285	138
Альбитофир	»	282	1728	119
Сиенит-порфир	Гороблагодатское	296	2250	143
Диорит-порфир	Магнитогорское	302	3240	—
Скарн эпидото-гранатовый	»	305	2762	—
Кварцит	Шокшинское	316	3050	144
Базальт	Берестовское	322	3245	—
Диабаз	Сибавское	347	3430	134
Кератофир	Риддерское	373	3740	—
Габбро	Турчинское	375	3406	—

В табл. 2 приведены результаты определения временного сопротивления некоторых разностей горных пород по методам сжатия, скалывания и растяжения (по методу ВИМС). Данные таблицы показывают, что предел прочности пород при скалывании в 6—12 раз меньше прочности при сжатии, а предел прочности при растяжении в 1,5—2 раза меньше сопротивления на скалывание.

Методы исследования механической прочности горных пород при динамических нагрузках применимы для нетвердых и твердых пород.

Механическую прочность нетвердых пород определяют с помощью прибора ударного действия Уманского завода литейного оборудования (рис. 1).

Прибор ударного действия (ПУД-1) состоит из станины 1, груза 2, направляющего стержня 3, механизма подачи, состоящего из наковальни 4, скрепленной со штоком 5 и ударным наконечником 6, рукоятки 7 с дугообразной рамкой для установки ударного наконечника на опорную площадь объекта исследования, рукоятки 8 с подъемным колесообразным приспособлением 9.

Объект исследования — горная порода 10, помещенная в обойму 11, ставится на станину 1, покрывается обоймой 12 с центрированным отверстием 13 для штампа 14. Штамп имеет выступ 15 высотой 10 мм. Диаметр выступа 2, 5, 10 и 20 мм.

В процессе испытания механической прочности породы при динамической нагрузке определяют число ударов по штампу, при котором его наконечник не врежется в породу до упора 16. Момент упора фиксируется световой сигнализацией от ручной батареи, присоединенной к контактам 17. Для этого поверхность породы покрывается фольгой.

Диаметр наконечника штампа подбирается в зависимости от плотности породы. Например, для определения механической прочности песка диаметр наконечника должен быть больше 15 мм, для глин — меньше 10 мм, для пород типа мергелей, мела — меньше 5, а для нетвердых известняков — не более 2 мм.

Динамическая прочность породы определяется работой, отнесенной к опорной площади наконечника штампа, в кгс·м/мм².

Методика определения динамической прочности разработана Н. И. Любимовым при участии А. П. Угарова.

Механическая прочность твердых пород при динамических нагрузках исследуется при ударах на изгиб, при толчении и дроблении с использованием копров соответствующих конструкций.

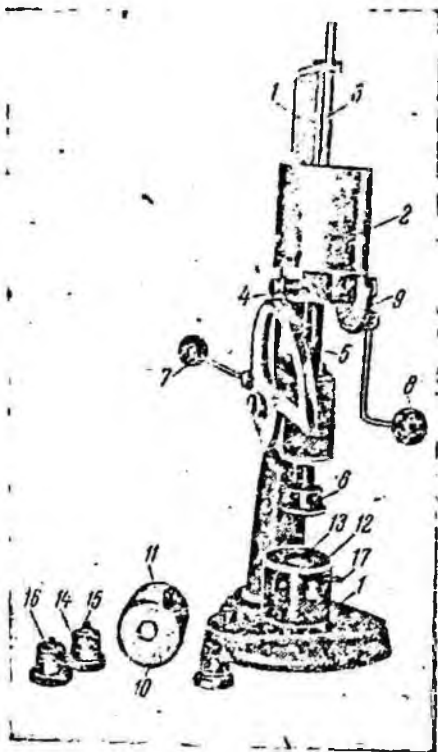


Рис. 1. Прибор ударного действия (ПУД-1) для определения механической прочности нетвердых пород

Испытание ударом на изгиб. Испытания проводятся на маятниковом копре МК-30 и характеризуют удельную ударную вязкость. Метод определения этого свойства утвержден ГОСТ 9454—60 и ГОСТ 9455—60. Для испытаний применялся керн горных пород после бурения алмазными коронками диаметром 46 мм. Полученный керн имеет диаметр 30—32 мм; длина образца должна быть около 100 мм.

Скорость приложения нагрузки при разрушении горных пород играет существенную роль, поэтому рекомендуется определять величины удельной ударной вязкости при скорости, дающей наименьший разброс данных. В остальном метод испытания соответствовал ГОСТ 9454—60.

Затраты энергии (в кгс/см²) на разрушение образца определялись по формуле

$$Q_k = A_k / F, \quad (7)$$

где A_k — сила удара, затрачиваемая на излом образца, в кгс; F — площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытания в см².

При исследованиях нами также был использован копер Шоппера с потенциальной энергией 10 и 40 кгс·см.

Удельная ударная вязкость (в кгс·см/см²) при ударе на изгиб ω_k определяется по формуле:

$$\omega_k = W/S, \quad (8)$$

где W — работа маятника на разрыв образца в кгс·см (определяется с помощью таблиц); S — поперечное сечение образца в см².

Более подробно метод описан в работе [25].

В табл. 3 приведены показатели ударной вязкости по описанному методу для ряда типичных разностей горных пород в сопоставлении с их твердостью по методу истирания.

Из табл. 3 видно, что ударная вязкость исследованных пород изменяется всего лишь в 2—2,5 раза, тогда как твердость их по указанному методу изменяется в сотни раз.

Сопоставление группы пород по ударной вязкости с их твердостью по истиранию также показывает, что породы, обладающие высокой твердостью, например, кварцит, имеют сравнительно невысокую ударную вязкость. Этот факт может иметь большое значение при определении рациональной области применения различных способов бурения.

Испытание толчением. Метод был разработан К. И. Сысковым для оценки механической прочности металлургического кокса. В дальнейшем он был применен в измененном виде М. М. Протодяконовым для определения крепости углей. Устройство прибора для определения крепости пород (ПОК) по методу толчения известно [33]. Показатель динамической прочности (в 1/мм) определяется по формуле:

$$F_n = 20n/l, \quad (9)$$

где n — число сбрасывания груза; l — высота столбика раздробленной породы в мм.

Данный метод прост. Результаты, полученные этим методом, отличаются большой стабильностью для одних и тех же пород.

Метод определения удельной ударной вязкости (прибор ПОУВ-1) горных пород на образцах неправильной формы. Метод разработан Н. И. Любимовым, Ю. А. Пешаловым, А. П. Угаровым и заключается в следующем:

1. Отбирают образцы породы объемом от 8 до 12 см³. Размеры максимального сечения образца не должны

Твердость пород по истиранию, 1/см

	<250	250—500	500—750	750—1000	>1000—2000
4—6	Песчаник, скарн	Сиенит, спилит	Габбро окварцованное, порфирит ороговевший	—	—
6—8	Песчаник, мрамор, туф, конгломерат, скарн, известняк	Руда магнетитовая, липарит каолинизированный, песчаник аркозовый, скарн, пироксенит, порфирит	Туф окремненный, гранит, скарн гранатовый, альбитофир, песчаник кварцевый	Гранит мелкозернистый	Кварцит
8—10	Руда магнетитовая плотная, магнетит, пироксенит мелкозернистый, доломит, порфирит, кварцит железистый, горнолелендит, андезит, долерит	Альбитофир, скарн плотный, пироксенит плотный, кератофир, аморбоболит плотный, сиенит-порфир, граносиенит, диабаз, порфирит окварцованный	Скарн пренлушественно гранатовый плотный, лабрадорит окварцованный, кератофир, роговик	Кварцит мелкозернистый, песчаник кварцевый плотный, гранит мелкозернистый плотный, кератофир окварцованный	Кварцит плотный, джемпилит, кремний
10—12	Магнетит мелкозернистый плотный, доломит мелкозернистый плотный, руда магнетитовая мелкозернистая плотная, опока, биотит-альбитовая порода	Песчаник тонкозернистый, диоритовый порфирит, скарн ороговевший, базаальт, липарит, кварцит железистый плотный	Граносиенит плотный, порфирит ороговевший плотный, роговик, скарн ороговевший	Скарн рудный ороговевший	Джемпилит плотный, кварцит сливной диоритовый, порфирит ороговевший

Ударная вязкость пород, кгс·см/см²

отличаться более чем вдвое от размеров минимального его сечения. Количество кусочков, необходимых для получения достоверных данных, колеблется от 3 до 5.

2. Удельную ударную вязкость определяют на копре (рис. 2) с ударником массой 2 кг при высоте падения 25 см.

3. Образец горной породы помещают в металлический стакан и ударяют по нему, пока он не расколется на две—три части для определения усталостных свойств породы. Затем весь материал высыпают в сито с отверстием 7 мм и отсеивают. Оставшийся материал помещают в стакан, по нему наносят от двух до пяти ударов, а затем снова отсеивают.

Порядок опыта повторяется до полного раздробления породы до фракции меньше 7 мм. При нанесении повторных ударов необходимо учитывать, что переизмельчение фракции меньше 7 мм недопустимо. Поэтому число ударов по нарушенному образцу не превышает пяти. Для более слабых пород необходимо ограничиваться двумя, тремя ударами. Мемой произведенных затрат энергии служит количество ударов, а удельная ударная вязкость (удельная энергоемкость) определяется по формуле

$$a = \frac{Phn\gamma}{Q}, \quad (10)$$

где a — удельная ударная вязкость в кгс·м/см³; P — масса ударника, равная 2 кг; h — высота сбрасывания груза, равная 0,25 м; n — число ударов; γ — плотность горной породы в г/см³; Q — масса раздробленной породы (фракции < 7 мм) в г.

Из полученных данных подсчитывается по каждой горной породе среднее значение a , которое и исполь-

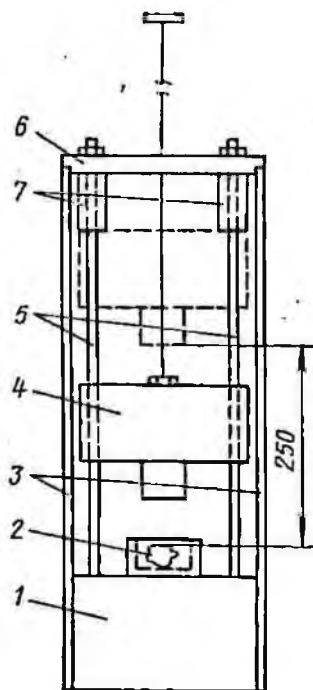


Рис. 2. Схема копра со свободным падением груза:

1 — паковальня; 2 — стакан с образцом; 3 — опорные стойки; 4 — груз; 5 — направляющие; 6 — планка; 7 — упор

Таблица 4

№ образца	Порода	Место отбора	Динамическая прочность пород		
			F _d , т/мм	σ, кг-м/см ²	V, см ³
1045ц	Гранит	Представлено СКБ	3,45	0,667	3,28
1049ц	Габбро	То же	4,65	0,671	1,94
1032	Кварцевый альбитофир	Ленинградская ГРЭ	6,89	1,175	2,91
1022	Туф кислого состава, переслаивающийся алевролитами	То же	8,00	1,489	1,79
1043	Кварцевый альбитофир	»	8,00	1,458	1,12
1010	Песчаник серый мелкозернистый	Джезказганское месторождение	8,69	1,957	0,90
1011	Песчаник среднезернистый	То же	9,09	1,077	1,07
1088	Кварцевый альбитофир	Ленинградская ГРЭ	9,09	2,008	0,71
1036	То же	То же	9,52	1,288	1,09
1039	»	»	9,52	1,404	1,87
960	Туф андезитового порфирита альбитизированный	Соколовская ГРЭ	9,90	1,266	1,53
966	Туф андезитового порфирита агломератовый	То же	10,00	1,198	—
1008	Песчаник красновато-серый мелкозернистый	Джезказганское месторождение	10,00	1,202	1,24
1041	Кварцевый альбитофир	Ленинградская ГРЭ	10,00	1,782	1,41
1007	Песчаник красный мелкозернистый	Джезказганское месторождение	10,52	1,474	1,65
1006	Песчаник красный тонкозернистый	То же	11,11	1,258	1,64
1042	Кварцевый альбитофир	Ленинградская ГРЭ	11,76	1,452	—
1009	Песчаник серовато-красный мелкозернистый	Джезказганское месторождение	12,50	1,817	0,87
957	Порфирит андезитовый крепкий	Соколовская ГРЭ	13,33	1,244	1,04
954	Пироксеновый скарн слабо альбитизированный	То же	13,81	2,035	0,89
958	Туф андезитового порфирита альбитизированный	»	14,29	1,317	—
1018	Серпичито-кварцевая порода	Ленинградская ГРЭ	14,29	1,755	0,71
972	Гранатовый скарн среднекристаллический	Соколовская ГРЭ	16,67	1,434	0,74
1004	Диабазовый порфирит	ЦКБ	16,67	1,447	—
1024	Алевролит окремненный	Ленинградская ГРЭ	16,67	2,281	0,66

№ образца	Порода	Место отбора	Динамическая прочность пород		
			$F_D, \text{ т/мм}$	$\sigma, \text{ кг·м/см}^2$	$V, \text{ см}^3$
974	Порфирит скарнированный с гранатом	Соколовская ГРЭ	20,00	2,287	0,74
970	Диоритовый порфирит, скарнированный с гранатом	То же	22,22	2,126	1,11
968	Диоритовый порфирит крупнокристаллический	»	26,78	1,819	0,90

зуется как средний показатель удельной ударной вязкости горной породы.

Испытание на дробимость. Метод испытания горных пород на дробимость разработан Л. И. Бароном, Ю. Г. Коняшиным и В. М. Курбановым [2]. Он заключается в определении дробимости горной породы по объему фракции (V_{max} в см^3) размером менее 7 мм.

В табл. 4 приведены данные о динамической прочности некоторых разновидностей горных пород, установленной по методам толчения, удельной ударной вязкости и дробимости.

§ 3. Методы определения абразивности горных пород

Абразивность — свойство горных пород изнашивать (истирать) породоразрушающий инструмент. Абразивность пород в значительной степени зависит от ее твердости. Повышенной абразивностью обладают породы, состоящие из более твердых минералов — кварца, граната, полевых шпатов и т. п.

Метод буровой коронки, разработанный в ВНИМС, заключается в учете износа (по массе) тонкопластинчатой коронки типа СА1 при бурении. До опыта и после него коронка взвешивается. Коэффициент абразивности определяется выражением:

$$A_k = \frac{P_1 - P_2}{l}, \quad (11)$$

где P_1 и P_2 — масса коронки соответственно до бурения и после него в г; l — проходка, равная 1 м.

В табл. 5 приведены коэффициенты абразивности по этому методу для некоторых разновидностей горных пород.

Таблица 5

Порода	Износ коронки, г/м		Порода	Износ коронки, г/м	
	Коэффициент абразивности A_k	Коэффициент абразивности A_c		Коэффициент абразивности A_k	Коэффициент абразивности A_c
Известняк	0,2	0,02	Песчаник	12,4	1,24
Доломит	0,4	0,04	Альбитофир	14,1	1,41
Алевролит	4,2	0,42	Гранодиорит	28,6	2,86
Лабрадорит	4,4	0,44	Гранит мелкозернистый	52,7	5,27
Пироксенит	4,9	0,49	Джеспилит	75,0	7,50
Габбро	6,0	0,60	Роговик	75,3	7,53
Снегит	7,7	0,77			
Скарн	11,6	1,16			

Метод определения абразивности пород по износу свинцовых шариков заключается в определении потери массы эталонного материала (охотничьей дроби) в среде раздробленной породы (фракции 0,5 мм и менее) при встряхивании на приборе ПОАП-2м. Коэффициент абразивности определяется по формуле

$$K_{абр} = Q/100, \quad (12)$$

где Q — потеря массы дроби в мг.

Фракция раздробленной породы для определения ее абразивности получается при установлении динамической прочности по методу толчения. В результате в одном образце породы определяются два параметра: динамическая прочность и абразивные свойства. Метод определения абразивности пород по износу свинцовых шариков в сочетании с методом определения их динамической прочности положен в основу ОСТ 41—89—74 и рассмотрен ниже более подробно [30].

Прибор для определения абразивности горных пород (ПОАП-2м) является улучшенной конструкцией прибора ПОАП-2 (рис. 3). Модернизация прибора произведена с учетом результатов приемочных испытаний и опытной эксплуатации.

Прибор смонтирован на основании 1. Привод прибора осуществляется электродвигателем 2 марки АОЛБ22-4

через муфту 3 и вал 4 с насаженным на него маховиком. Вал опирается на два кронштейна 5. От вала движение передается на два рабочих органа 6, опирающихся на четыре шатуна 7 и четыре опоры 8. Крышки 9 удерживают загрузочные цилиндры в камерах рабочих органов. Кожух 10 крепится к основанию 1 защелками. От муфты через ременную передачу движение передается на шкив пульта управления 11.

Метод определения абразивности пород по Л. И. Барону и А. В. Кузнецову заключается в определении потери массы стержня из стали-серебрянки (в мг) при трении о породу вследствие его вращения под нагрузкой при помощи специально приспособленного для этого сверлильного станка [3].

Метод определения абразивности пород по износу стальной пластинки (ВИТР) заключа-

ется в том, что порция раздробленной породы выбрасывается из сопла на стальную пластинку как эталонный материал, изнашивает ее и тем самым определяет степень абразивности породы по потере массы эталонного материала (в г).

Для сопоставления абразивности раздробленных пород по износу свинцовых шариков с их абразивностью в монолите по износу стержня из стали-серебрянки был проведен ряд опытов. Установлено, что при увеличении абразивности раздробленной породы, как правило, увеличивается и абразивность этой породы в монолите. На основании этих данных был построен график, по кото-

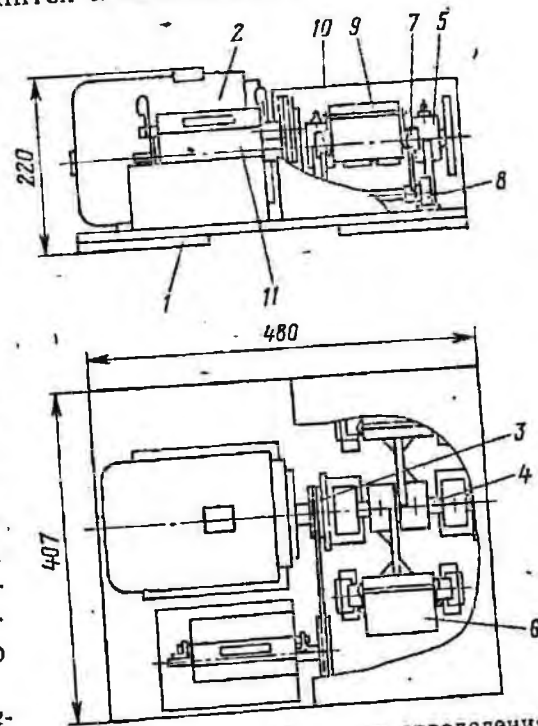


Рис. 3. Схема прибора для определения абразивности горных пород в раздробленном состоянии (ПОАП-2м)

№ группы	Коэффициент абразивности $K_{абр}$	Степень абразивности пород	Породы, определенные по методу		
			износа свинцовых шариков (ЦИНГРИ)	износа стального стержня (Л. И. Барон)	износа стальной пластины (ВИТР)
I	<0,5	Малоабразивные	Мрамор, известняки органические, мел, алевролиты известковистые, сланцы углистые, туф. карбонатизированный, сланцы хлорит-карбонатные, ангидрит, сланцы глинистые	Известняки, доломиты, мрамор, сланцы глинистые, руды магнетитового и галенит-сфалеритового состава, алевролиты, хлорито-карбонатная порода, апатиты	Сланцы песчано-глинистые
II	0,5—1,0	Умеренно абразивные	Сланцы хлорито-кварцевые, алевролиты кварцево-карбонатные, скарны пироксен-карбонатные, сланцы песчаные, известняки углистые окремненные, руда марганцевая, туфобрекчия, туф андезитового порфирита, порфириты диабазовые, песчаники полимиктовые, доломиты, руда сульфидно-магнетитовая	Песчаники туфогенные, порфириты андезитовые, руда колчеданная, диориты карбонатно-хлоритовые, сланцы карбонатно-хлоритовые, доломиты, роговики биотитовые	Мрамор частично окварцованный, песчаники красные слабые
III	1,0—1,5	Среднеабразивные	Дибазы, туфопесчаники, туф кислото эффузива, диориты скарнированные, алевролиты	Песчаники аркозовые, филлиты, дибазы, сланцы амфиболовые, кератофиры, известняки	Песчаники серые, дибазы

№ группы	Коэффициент абразивности $K_{абр}$	Степень абразивности пород	Породы, определенные по методу		
			износа свинцовых шариков (ЦИНГРИ)	износа стального стержня (Л. И. Барон)	износа стальной пластины (ВИТР)
IV	1,5—2,0	Абразивные	окремненные, габбро, скарны эпидотовые ороговикованные Сиениты, гранодиориты, диабазовые порфириты, диориты кварцевые, кварцевые порфиры, роговики пироксеновые, скарны гранат-пироксеновые, песчаники ороговикованные, руда гематитовая, кварциты железистые, гравелиты, песчаники кварцевые	окремненные, кварц-турмалиновая порода, туф кварцевых порфиров Песчаники кварцевые, плагиограниты, граносиениты, диориты кварцевые, скарны пироксеновые, песчаники ороговикованные	Габбро, песчаники аркозовые, дибазы, сиениты
V	2,0—2,5	Сильно абразивные	Кварц жильный, граниты, адамелиты, скарны гранатовые, роговики силикатно-магнетитовые, кварциты, песчаники кремнистые	Лампрофиры, кварцевые порфиры, граниты среднезернистые, гнейсы, скарны пироксен-гранатокварцевые, сиениты мелкозернистые	Гранит - порфиры, граниты розовые крупнозернистые, диориты
VI	2,5—3,0	Весьма абразивные	Яшмовидная порода, кварциты, граниты мелкозернистые, сиениты окремненные, роговики мартино-гематитовые, джеспилиты		Роговики кварцево-магнетитовые, пироксениты окварцованные

рому, зная абразивность раздробленной породы, можно определить, с известной степенью приближения, и абразивность этой породы в монолите.

Аналогичным образом данные абразивности пород, полученные по методу ЦНИГРИ, были в небольшом объеме сопоставлены с данными абразивности пород, определяемой по износу стальной пластины раздробленной породой. В табл. 6 приведены значения абразивности пород по рассмотренным методам. Данные таблицы показывают, что все три метода дают сходные результаты.

Определение упругих характеристик

Упругие параметры горных пород определялись на установке ИПА-5 с использованием методик продольного профилирования и прозвучивания. В последнем случае определялась только одна продольная волна.

При продольном профилировании все точки излучения и приема располагаются на одной прямой — прямой профиля наблюдения. Излучатель устанавливается неподвижно, а приемник постоянно передвигается. Применение принципа фазовой корреляции позволяет выделить индивидуальные волны, определить их скорости, а по ним, применяя известные формулы, рассчитать динамический модуль упругости E ($E \cdot 10^5$ кгс/см²), коэффициент Пуассона ν (безразмерная величина) и модуль сдвига G ($G \cdot 10^5$ кгс/см²).

Экспресс-метод определения коэффициента трещиноватости пород

Методика определения трещиноватости пород разработана сотрудниками лаборатории физико-механических свойств пород ЦНИГРИ (Н. И. Любимов, Б. И. Тузов).

Коэффициент трещиноватости пород K_T определяется с учетом наружного диаметра коронки D_K в мм и преимущественного размера кусков керна l в мм:

$$K_T = \frac{D_K - 18}{l}$$

Значение K_T для пород со слабой трещиноватостью	0,2
То же	и менее
»	0,2—0,5
»	0,5
»	и более
»	с средней
»	с интенсивной

При бурении 59-мм коронкой породы со слабой трещиноватостью имеют размер кусков более 20 см, поро-

ды со средней трещиноватостью — от 8 до 20 см и интенсивной — 8 см и менее.

Коэффициент трещиноватости породы устанавливается непосредственно на буровых после подъема керна из скважины.

Эти параметры определялись в основном методом гидростатического взвешивания. Форма образца может быть неправильная. Образцы размером около 5 см³ в количестве 25—30 и более помещают в сушильный шкаф для высушивания до постоянного веса при температуре 105°С в течение 15 ч. Высушенные образцы охлаждают в эксикаторе в течение 50 мин. После выдержки образцы взвешивают на аналитических (технических) весах для определения массы породы в сухом состоянии P_1 , а затем партию образцов помещают в плоский сосуд (стеклянная или жестяная ванночка) для насыщения дистиллированной водой в течение 48 ч. Вода поступает со скоростью 30—40 капель в 1 мин, и постепенно воздух вытесняется водой. Поступление воды в сосуд с образцами прекращается после того, как все образцы будут покрыты водой.

По истечении срока насыщения образцов породы водой последние взвешиваются в воздухе P_2 . Перед взвешиванием каждый образец обтирается влажной фильтровальной бумагой. Насыщенные водой образцы также взвешиваются в воде для определения значения P_3 .

Плотность γ (в г/см³), среднюю плотность σ (в г/см³) и эффективную пористость $P_{эф}$ (в %) образцов вычисляют по следующим формулам:

$$\gamma = \frac{P_1}{P_1 - P_3}; \quad (13)$$

$$\sigma = \frac{P_1}{P_2 - P_3}; \quad (14)$$

$$P_{эф} = \frac{\gamma - \sigma}{\gamma}. \quad (15)$$

Определение газопроницаемости

Газопроницаемость пород измерялась прибором конструкции Е. Л. Закса. Прибор усовершенствован Н. И. Любимовым, предложившим использовать прокладки из вакуумной резины взамен заливки пространства между образцом и обоймой стального стака-

на сплавом Вуда, что ускоряет процесс определения и делает его более безопасным. Кроме того, экономится дефицитный материал; точность измерения не снижается.

Образцами для измерения служат цилиндры, диаметр и высота которых равны 30 мм. О газопроницаемости пород судят по количеству газа, который прошел через образец и вытеснил из газометра тот или другой объем жидкости (воды). Коэффициент газопроницаемости (в мД) определяется по формуле

$$K = \frac{2\mu V l p_{\text{бар}}}{S(p_1^2 - p_2^2)t} 1000, \quad (16)$$

где μ — вязкость азота в сПз (0,017); V — объем газа (количество вытесненной воды) в см³; l — высота образца в см; $p_{\text{бар}}$ — барометрическое давление в кгс/см²; S — площадь поперечного сечения образца в см²; p_1, p_2 — давления газа соответственно перед образцом и после него в кгс/см² (+1 с учетом атмосферного давления); t — время опыта в с.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БУРИМОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

§ 1. Влияние структуры и минерального состава горных пород на их физико-механические свойства и буримость

Материалы многочисленных исследований, а также практические данные колонкового бурения подтверждают теснейшую зависимость физико-механических свойств горных пород от их структуры, состава и размера порообразующих минералов, количества и качества минерального состава цемента.

Влияние
структуры пород

Механические свойства горной породы как твердого тела непосредственно связаны с ее строением (структурой), с молекулярными силами сцепления [39].

Под структурой твердой породы подразумевается строение вещества породы, представляющего собой сросток отдельных кристаллов и их обломков различных размеров. Структура породы характеризуется распределением кристаллов зерен и цемента по размерам; условиям их срастания и взаимного расположения. Структура породы характеризуется также пористостью. Различают открытую пористость (сетка сообщающихся между собой каналов различных размеров и форм) и замкнутую пористость (ячейки и микрополости не сообщаются друг с другом).

В понятие «структура породы» следует включать распределение в ней дефектов в виде трещин, которые непрерывно развиваются при деформировании породы под влиянием внешних сил.

В отдельных кристаллах, составляющих горную породу, могут быть ярко выражены плоскости спайности — у графита, слюды, гипса, каменной соли, кальцита. В направлении, параллельном плоскости спайности, кристалл имеет наименьшую прочность на разрыв, так как расстояние между этими плоскостями в решетке значительно больше, чем между любыми другими плоскостями.

Существенная особенность прочности реальных твердых тел состоит в том, что она зависит от продолжительности действия нагрузки.

Еще большее практическое значение имеют явления так называемой усталости твердых тел, т. е. понижения их обычной (статической) прочности под влиянием периодических нагрузок с довольно большой частотой. Такие периодические воздействия приводят к образованию микротрещин, расшатыванию структуры по наиболее слабым местам и преждевременному хрупкому разрушению.

Для прочности реальных твердых тел, в частности горных пород, характерна зависимость ее от размеров зерен, составляющих породу минералов. Этим объясняется увеличение трудности измельчения при переходе к более мелким крупинкам (тонким фракциям). Очевидно, процесс грубого измельчения можно представить себе как развитие имеющихся дефектов структуры. При переходе же к более мелким фракциям дефекты в них встречаются реже, а крупинки становятся прочнее.

Исследованиями установлено, что минеральные зерна малых размеров обладают значительно большей относительной механической прочностью, чем крупные частицы. Это закономерно и для горных пород. Мелкозернистые породы имеют более высокую механическую прочность и более низкую буримость, чем крупнозернистые [25]. В этой же работе приведены примеры влияния структуры на физико-механические свойства и буримость горных пород.

Влияние
минералогического
состава пород

Для установления влияния вещественного состава на физико-механические свойства и буримость было исследован ряд петрографически различных горных пород осадочного, изверженного и метаморфического происхождения.

Характеризуя зависимость физико-механических свойств и буримости горных пород от их вещественного состава, следует рассмотреть твердость породообразующих минералов и пород осадочных, изверженных и метаморфических.

Твердость породообразующих минералов. Твердость породообразующих минералов имеет большое значение для физико-механических свойств горных пород.

Наименьшей твердостью обладают минералы типа

биотита, кальцита, халькопирита и т. п. (твердость по Моосу 2,5—4,0). Более твердыми являются минералы типа магнетита, пироксенов, плагиоклазов, роговой обманки и т. п. (твердость по Моосу 5,5—6,0). Еще большую твердость имеют минералы типа ортоклаза, пирита, эпидота, граната, гематита и т. п. (твердость по Моосу 6,0—6,5). Наконец, самыми твердыми из исследованных нами минералов являются кварц, топаз, корунд (твердость по Моосу 7—9).

Естественно, что породы, состоящие из минералов первой группы, имеют невысокую твердость и соответственно высокую буримость. Породы, состоящие из минералов второй, третьей и четвертой группы, обладают высокими твердостью и абразивностью и меньшей буримостью.

§ 2. Состав, физико-механические свойства и буримость горных пород осадочного, изверженного и метаморфического происхождения

В табл. 7 приведены характеристика горных пород различного происхождения, их физико-механические свойства и буримость. Среди осадочных горных пород широко распространены известняки, доломиты, конгломераты, песчаники, алевролиты.

Из табл. 7 видно, что известняки органического состава характеризуются близкими и сравнительно невысокими значениями физико-механических свойств. Этим и определяется высокая буримость пород, особенно мелкорезцовыми коронками; применение тонкопластинчатых коронок типа СА1 при бурении известняков нецелесообразно.

Твердость доломитов и доломитизированных известняков выше. Это можно объяснить различными значениями твердости (по шкале Мооса) основных породообразующих минералов (кальцит 3, доломит 3,5—4). Кроме того, эти породы отличаются большой механической прочностью и более высокой абразивностью, чем известняки. Все это увеличило сопротивление породы разрушению, а буримость уменьшилась.

Известняки кремнеистощенные отличаются содержанием кварца. Это значительно повысило их твердость, прочность и абразивность и, как следствие, уменьшило буримость.

Конгломераты, состоящие из обломков твердых и

Горная порода	Минералогический состав, структура	Физико-механические свойства			Скорость бурения, мм/мин	
		механическая прочность на скальвание, кгс/см ²	твердость по истиранию, л/см	коэффициент абразивности по износу твердосплавной коронки типа СА I	твердосплавной коронкой типа СА I	твердосплавной коронкой типа СМ I

Осадочные породы

Известняки органогенные. Исследовано 10 разновидностей	Органические остатки, сцементированные тонкозернистым карбонатом, единичные зерна кварца	70—120	6—30	0,01—0,02	17—53	125—270
Доломиты и доломитизированные известняки, преимущественно мелкозернистые. Исследовано 14 разновидностей	Доломит, кальцит, гипс, кварц, рудный материал, мусковит, альбит, хлорит	85—229	20—120	0,02—0,16	<33	55—125
Известняки окремненные. Исследовано 10 разновидностей	Мелкие зерна карбоната и кварца. Распределение кварца среди карбоната довольно равномерное. Пористость породы не превышает 0,8%	213—373	80—43	0,72	3—12	3—37
Конгломераты. Исследовано шесть разновидностей	Обломки кварцитов, порфиритов, кристаллических сланцев, известняков, алевролитов и др. В меньшем количестве	<177	93—423	—	6—22	7—10

лов — кварца, полевого шпата, халцедона. Размер обломков от 0,1 до 10 мм. Цемент — мелкий перетертый материал, минералогически сходный с обломками сцементированных пород
Пористость породы 7%

Изверженные породы

Горнблендиты, пироксениты Габбро	Роговая обманка, пироксен Плагноклаз, пироксен, редко кварц	97—254 273—375	83—482 400—576	— 0,06—1,84	20 1,8—27,1	— —
Базальты	Черные плотные и однородные породы, состоящие из аморфной сфанитовой массы. Пористость 0,3—0,5%	≈300	250—350	≈0,2	15—25	—
Андезит	Афитовая основная масса, состоящая из известково-натрового плагноклаза и пироксена	161—410	160—770	0,2—1,2	14—33	—
Гранит	Полевой шпат (40—60%), кварц (30—35%), слюда, амфибол, пироксен (5—15%). Структура равномерно-зернистая	195—265	459—784	≥2,0	≈2,0	—

Горная порода	Минералогический состав, структура	Физико-механические свойства			Скорость бурения, мм/мин	
		механическая прочность на скалывание, кгс/см ²	твёрдость по лестиранно, 1/см	коэффициент абразивности по износу твёрдосплавной коронки типа СА1	твёрдосплавной коронкой типа СА1	твёрдосплавной коронкой типа СМ4
Кварцевый порфир	В основной массе порфировой структуры содержится кварц	69—350	361—785		≈5,0	—
Кварцевые кератофиры	В плотной основной массе имеются порфировые выделения щелочного полевого шпата и кварца	240	≈600	<4,9	≈8,0	—
Кварцевые альбитофиры	Порфировидные породы, в которых кристаллы полевых шпатов представлены альбитом	160—360	215—600		2—12	—
Снегит-трахиты	Породы состоят из щелочного полевого шпата и цветных минералов в подчиненном количестве	222—290	244—348	0,3—1,1	5—9	

Метаморфические породы

Кварциты	Кварц	313	1350	>3,0	—	Практически не бурится
Мраморы и мраморизованные известняки	Изометрические зерна кальцита. Встречается мусковит, биотит, хлорит, единичные зерна кварца, амфибола, гидрокислов железа. Структура от мелкозернистой до крупнозернистой. Пористость ≈0,5%	<250	2—58	0,01—0,04	<69	≈150
Скарны: хлоритовый	Хлорит, карбонат	90	5	0,06	57	
скаполитовый гранатовый Гнейсы	Скаполит, эпидот, хлорит Преимущественно гранат Кислый плагиоклаз (48,4%), кварц (38,9%), биотит (10,5%). Пористость 0,8—1,0%	225 272	273 394 450	0,08 1,6 2,0—2,5	13 2—3 Ничтожно мала	
Кристаллические сланцы Амфиболиты	Альбит-слюдисто-кварцевые Амфибол, роговая обманка, плагиоклаз, кварц в подчиненном количестве	— 323—404	≈10 346—631	—	—	50—150
Джеспилиты	Кварц и железистые минералы	433	≈1500	—	То же	

прочных пород, цементированные перетертым материалом, оказались такими же твердыми породами, как и окремненные известняки, но вследствие неоднородности среды менее прочными. Буримость этих пород твердосплавными коронками еще более низкая. Подобные породы необходимо бурить шарошечными долотами и алмазными коронками.

Песчаники (исследованы 32 разновидности) представляют собой кластические осадочные породы, состоящие из частиц различных пород осадочного, изверженного и метаморфического происхождения размером от 0,1 до 1 мм.

Цемент в песчаниках разнообразен по составу (глинистый, известковый, слюдистый, кремнистый, железистый и др.), количество его колеблется в широких пределах — от единицы до десятков процентов. Механические свойства и буримость песчаников зависят от их минералогического состава, качества и количества цемента и структурно-текстурных особенностей.

Влияние кварца на свойства пород и буримость можно проследить на песчаниках со слабым цементом, состоящим из хлорита, серицита, карбоната и глинистого вещества, но с различным содержанием кварца.

Было изучено 15 разновидностей песчаников, в которых содержание кварца колеблется от 6 до 37%.

Оказалось, что песчаники с содержанием кварца около 6% имеют твердость по истиранию 75, механическую прочность на скалывание 119 кгс/см², абразивность 0,3—5, буримость коронками СА1 22 мм/мин, а коронками СМ4 152 мм/мин. Песчаники с содержанием кварца 35% имеют твердость по истиранию 282, механическую прочность по скалыванию 246 кгс/см², буримость коронками СА1 18,2 мм/мин, а коронками МР 67,5 мм/мин.

Следовательно, песчаники, содержащие до 30—35% кварца, цементированного серицитовым, хлоритовым и глинистым цементом, должны эффективно буриться твердосплавными мелкорезцовыми коронками. Это объясняется тем, что они могут разрушаться при бурении вследствие выкалывания целых зерен кварца без предварительного их истирания.

Кварцевые песчаники, хорошо цементированные карбонатным и еще более твердым цементом, трудно бурятся твердосплавными коронками; они требуют применения алмазного бурения.

Структурные особенности и вещественный состав цемента разнообразны и в каждом конкретном случае по-разному влияют на буримость породы. Чем больше цемента содержится в породе, тем она плотнее и тем ниже ее буримость.

Исследование пяти образцов алевролитов показало, что они обладают малой твердостью (от 5 до 87 ед.), значительной механической прочностью (61—162 кгс/см²), и сравнительно невысокой абразивностью (коэффициент абразивности 0,05—0,28). Буримость пород коронками СА1 низкая (5—19 мм/мин). Эти породы целесообразнее бурить коронками типа СМ и другими, армированными резцами клиновидной формы.

Исследованные изверженные горные породы относятся к основным (габбро, пироксениты, горнблендиты) и кислым (граниты, гранодиориты) интрузивным породам. Кроме того, изучались излившиеся аналоги основных (диабазы, базальты, андезиты) и кислых (кварцевые порфиры, кератофиры, альбитофиры) пород.

Глубинные изверженные породы основной магмы (пироксениты, габбро, горнблендиты) и их излившиеся аналоги (базальты, андезиты) являются практически бескварцевыми породами. Однако их твердость по методу истирания колеблется от 83 до 576, а абразивность — от 0,06 до 1,84. Это объясняется различной степенью сохранности пород и содержанием кварца в таких породах, как габбро. Характерно, что механическая прочность этой группы пород сравнительно высокая. Тем не менее буримость их твердосплавными коронками значительная. Поэтому подобные породы, характеризующиеся указанными параметрами физико-механических свойств, могут составлять наряду с алмазным область рационального применения твердосплавного бурения.

Выше было замечено, что значительные пределы изменения твердости пород в известной степени зависят от изменения порообразующих минералов и породы в целом. Это будет понятно, если учесть данные микротвердости отдельных минералов [25]. Оказалось, что твердость видоизмененных плагноклазов, роговой обманки, ортоклаза (серицитизированных, хлоритизированных, пилитизированных) значительно меньше по сравнению с неизменными. Отсюда и возможны значительные колебания твердости пород и их буримости.

Только этим можно объяснить характеристику габбро, которое в неизменном виде (шведское габбро) с включением до 10% кварца имеет высокую твердость (576), абразивность (1,84) и низкую буримость (1,8), а турецкое габбро (неплотное, лишенное кварца) имеет меньшую твердость (406), абразивность (0,06) и высокую буримость (27,1).

Не менее показательным является базальт. Плотные разновидности неизменного берестовецкого базальта имеют более высокую твердость (350) по сравнению с кутанским (250), который значительно изменен вторичными процессами.

Глубинные породы кислой магмы (граниты) и их излившиеся аналоги (кварцевые порфиры, кератофиры и альбитофиры) являются кварцсодержащими породами с высокой твердостью и абразивностью и низкой буримостью твердосплавными коронками. Для эффективного разрушения таких пород требуется алмазное и ударно-вращательное бурение.

Метаморфические породы по своему генетическому признаку делятся на контактово-метаморфизованные (кварциты, роговики, скарны, мраморы) и регионально-метаморфизованные (гнейсы, кристаллические сланцы, джеспилиты, амфиболиты).

Из табл. 7 видно, что наибольшую твердость имеют кварциты, гнейсы, джеспилиты, амфиболиты и скарны преимущественно гранатового состава. Эти породы могут эффективно буриться лишь алмазными коронками импрегнированного типа при форсированных режимах. Рационально применять пневмоударники с достаточно высокой энергией единичных ударов.

Остальные породы имеют невысокую твердость и представляют рациональную область применения твердосплавных и алмазных коронок.

Данные о влиянии вещественного состава и структуры горных пород на их твердость (по истиранию), механическую прочность (по скалыванию) и буримость, полученные автором, могут быть дополнены результатами исследований Л. А. Шрейнера и других, выполненных на примере сопоставления твердости (по штампу) и пластичности горных пород с их составом и структурой [25]. По этим данным установлено следу-

1. Гранитоиды, состоящие преимущественно из твердых, но хрупких минералов (кварца и полевого шпата), характеризуются высокой твердостью по штампу ($410-650$ кгс/мм²) и сравнительно невысоким коэффициентом пластичности ($1,0-1,4$). Породы основной магмы (диабаз, базальт, перидотит, пироксенит), практически лишенные кварца, имеют меньшую твердость по штампу ($120-390$ кгс/мм²) и сравнительно высокий коэффициент пластичности ($1,6-4,2$).

2. Твердость и пластичность метаморфических пород различны, например твердость пород, состоящих преимущественно из кварца (кварциты и джеспилиты), весьма высока ($580-810$ кгс/мм²) при малой пластичности (коэффициент пластичности около 1). Высокий коэффициент пластичности кристаллических сланцев, скарнов и альбититов объясняется их минералогическим составом и структурой.

На физико-механические свойства и буримость горных пород влияет общее содержание в них кремнезема (SiO_2). Эта зависимость представлена в табл. 8.

Из табл. 8 видно, что содержание SiO_2 в породе в значительной степени влияет на твердость, абразивность и буримость. Как правило, породы, не содержащие кристаллического кварца, содержат до 50% SiO_2 . При таком содержании кремнезема буримость пород твердосплавными коронками достаточно высока. Однако при содержании SiO_2 более 50% буримость уменьшается, так как твердость и абразивность повышаются.

Приведенная характеристика горных пород по составу и механическим свойствам показывает, что структура и вещественный состав горных пород оказывают влияние на их механические свойства и буримость. С увеличением плотности, уменьшением величины зерен и пористости механическая прочность пород увеличивается, а буримость уменьшается.

Чем тверже основные породоразрушающие минералы, тем выше в большинстве случаев твердость самой породы и тем ниже их буримость вращательным способом. Однако, если минеральные зерна слабо связаны между собой, их твердость не определяет твердость породы в целом. При бурении таких пород минеральные зерна могут вырываться из массива без предварительного разрушения, что будет увеличивать скорость бурения при условии своевременного удаления отдельных зерен с

Таблица 8

Порода	Месторождение	Содержание SiO ₂	Твердость по истрапано, 1/см	Коэффициент абразивности по износу бумажной коронки	Механическая прочность на скалывание $\sigma_{ск}$, кгс/см ²	Пористость по гидростати- ческому методу, %	Скорость бурения коронкой типа СА1, м/мин
Серпентинит	Северо-Онежское	20,62	89	0,15	59	12,9	65
Диабаз	Сибавское	37,48	90	0,01	387	0,7	11,6
Горнблендит	Первоуральское	39,92	193	0,07	193	0,9	26,0
Габбро	Кемперсайское	43,36	261	0,60	261	0,4	15,0
Сиенито-диорит скарнированный	Соколовское	44,74	296	0,12	—	4,6	10,9
Сиенит	Гороблагадатское	45,0	331	0,20	331	0,4	9,9
Диорит	Магнитогорское	48,0	269	0,14	209	0,9	17,0
Базальт	Солтопаевское	48,84	227	0,09	322	1,1	16,1
Диоритовый порфирит	Магнитогорское	50,9	333	0,50	410	2,0	14,5
Альбитофир	Шерегешское	53,20	215	0,93	282	0,4	0,80
Габбро	Турчинское	53,62	557	1,84	334	0,4	0,20
Сиенит	Гороблагадатское	55,32	267	1,12	181	0,7	2,28
Сиенит-порфир	»	56,7	375	1,06	286	0,4	0,30
Гранодиорит	Янцевское	67,32	600	2,16	184	0,7	0,50
Сиенит ороговикованный	Шерегешское	74,24	697	4,40	205	0,04	0,05

забоя скважины промывочной жидкостью или воздухом. С увеличением размера зерен, слагающих породу, уменьшением прочности связи между минералами, повышением пористости и трещиноватости механическая прочность породы уменьшается, а буримость увеличивается. Увеличение содержания SiO_2 в породе повышает ее твердость и абразивность, но уменьшает буримость вращательным способом.

В табл. 7 и 8 приведена буримость исследованных горных пород при одинаковых и невысоких режимных параметрах с целью относительного сопоставления буримости пород, разных по составу и механическим свойствам. Результаты исследований закономерностей бурения [25] позволили установить следующие основные положения.

1. С повышением удельной насыщенности коронки твердосплавными вставками или алмазами износостойкость породоразрушающего инструмента повышается.

Для твердосплавных коронок типа СМ коэффициент насыщения должен составлять около 0,7 площади торца коронки, удельная насыщенность импрегнированных коронок алмазами должна быть в пределах 40—50% по отношению к объему матрицы.

2. Буровые коронки разных диаметров должны армироваться из расчета одинаковой удельной насыщенности твердосплавными вставками или алмазами. В этом случае условия разрушения породы коронками разных диаметров будут одинаковы. Коронка большего диаметра обеспечивает более высокую скорость бурения вследствие увеличения окружной скорости. В этой связи бурение скважины малого диаметра должно сопровождаться увеличением скорости вращения снаряда.

3. Относительная износостойкость истирающих материалов в зависимости от твердости и механической прочности буримых пород изменяется в обратной зависимости, т. е. с увеличением значений механических свойств относительная износостойкость истирающих материалов уменьшается, а при бурении менее твердых и прочных пород — увеличивается. Таким образом, необходимо постоянно повышать качество истирающих материалов для дальнейшего расширения области их эффективного применения.

Из сказанного также следует, что буровая коронка, затупленная на одних (твердых) породах, может быть

производительно использована при бурении других (менее твердых) пород.

Эти выводы находят широкое практическое применение. Например, создание синтетических поликристаллических алмазов типа СВСП, АСС, сверхтвердых материалов — славутич и других позволило разработать буровые коронки БСС, КСАВ, КСК, показавшие значительное превышение показателей бурения по сравнению с коронками с твердосплавными вставками.

В настоящее время создаются коронки, армированные алмазами СВСП вместо естественных алмазов, для бурения трещиноватых пород, где требуется более высокая износостойкость истирающих материалов.

4. Методы приложения нагрузки на породоразрушающий инструмент при бурении твердосплавными и алмазными коронками должны быть разными.

а) При бурении коронками, армированными заостренными резцами твердых сплавов, необходимо создавать высокие (допустимые) нагрузки с самого начала процесса разрушения пород. Это позволяет достигнуть более высокой скорости бурения и проходки до затупления при меньшей затрате времени чистого бурения.

б) Исследования метода приложения нагрузки на алмазный породоразрушающий инструмент показали следующее:

— при бурении однослойными коронками целесообразно применять ступенчато-нарастающие нагрузки, обеспечивающие повышение износостойкости коронок в 2 раза и более по сравнению с тем, если бы высокие нагрузки были приложены с самого начала бурения.

— импрегнированными коронками более рационально бурить при переменных нагрузках, так как число и опорная площадь алмазов не остаются постоянными, а изменяются в процессе бурения в зависимости от насыщенности и равномерности распределения их в матрице. Для получения высокой скорости бурения необходимо в сравнительно короткое время установить максимум приращения скорости бурения от повышения нагрузки, и поддерживать эту скорость в процессе бурения, регулируя нагрузку на забой. Чтобы предотвратить сильный износ коронки, следует бурить, создавая нагрузку несколько меньшую той, при которой был получен максимум приращения скорости.

5. Скорости (при соответствующих нагрузках) и на-

грузки на забой повышают скорость бурения в прямо пропорциональной зависимости:

— для твердосплавного бурения пород средней твердости и абразивности (базальт) увеличение скорости бурения наблюдается при скорости вращения снаряда около 400 об/мин;

— для алмазного бурения пород типа базальта максимум приращения скорости бурения не достигнут, хотя бурили однослойными коронками при 3000 об/мин (окружная скорость 4,1 м/с);

— повышение удельной нагрузки на забой также вызывает рост скорости бурения, однако зависимость менее строгая;

— экспериментальные исследования, проведенные в производственных условиях, и опубликованные данные о механических скоростях бурения на форсированных режимах служат доказательством правомерности наших выводов.

Получение высоких скоростей бурения во многом зависит от технических характеристик буровых станков и рационального типа буровой коронки. Буровые станки новой конструкции со скоростью вращения около 1000 об/мин, обеспечивающие нагрузку до 2000 кгс, позволяют даже при бурении кварцсодержащих пород типа гранита с использованием импрегнированных алмазных коронок достигнуть механическую скорость 2 м/ч и более, а производительность повысить до 700 м/ст.-мес.

Данные практики показывают, что даже такие породы, как железистые кварциты и роговики, сильно притупляющие алмазы, могут эффективно разрушаться рациональными типами импрегнированных коронок при форсированных режимах бурения, при этом производительность превышает 400 м/ст.-мес.

6. Линейные зависимости между механической скоростью бурения и параметрами режима — скоростью вращения снаряда и нагрузкой на забой — могут быть учтены при определении прогнозных значений буримости.

Глава III

ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Основная трудность разработки классификации горных пород по физико-механическим свойствам заключается в неоднородности пород по составу, структуре, текстуре, а следовательно, и в различном поведении пород при воздействии на них режущих и истирающих, а также взрывчатых материалов. Указанная трудность усугубляется тем, что физические и механические свойства горных пород недостаточно изучены.

Большинство существующих классификаций по буримости, взрываемости и разрыхляемости пород основывается на статистических и технических показателях без определенных и объективных критериев оценки категорий и групп пород по их физическим свойствам.

Необходимо углубленное и систематическое исследование физико-механических свойств горных пород различных месторождений полезных ископаемых и районов СССР.

Свойства горных пород определяются для выяснения оптимальных режимов эксплуатации производственных механизмов, режущих и истирающих материалов, выбора типов буровых станков и машин, применяющихся в горном и буровом деле. Следовательно, эффективная работа буровых станков, режущих и истирающих материалов, помимо технических условий разрушения горных пород, зависит от их физико-механических свойств.

Доказательством сказанного являются результаты исследования ВИМС, ВИТР, ЦНИГРИ, СКБ Министерства геологии СССР и других организаций по конструированию, испытанию и внедрению буровых станков, твердосплавных и мелкоалмазных коронок, гидроударных машин, пневмоударников и т. д.

Зная твердость и износоустойчивость истирающих материалов, физико-механические свойства горных пород, можно определить рациональные области применения различных породоразрушающих инструментов вращательного и ударно-вращательного способов разведочного бурения, установить нормальный ряд буровых стан-

ков, наиболее ясно определить задачи дальнейшего технического прогресса при разведке месторождений полезных ископаемых.

Недостатком существующей классификации горных пород по буримости для колонкового бурения является отсутствие в ней характеристики физико-механических свойств пород, включенных в ту или другую категорию. Отсутствует в ней и метод объективной оценки категорий буримости в поле. Он заменен ссылкой на возможность определения категорий буримости по затрате времени бурения 1 м скважины при соблюдении определенных режимов бурения, что на практике приводит к случайной и субъективной оценке. Поэтому такой способ оценки не применяется и фактически основой ее служат или общая петрографическая характеристика породы, или фактическая ее буримость, что приводит к большим ошибкам.

При классификации горных пород основная трудность заключается в установлении решающего показателя, по которому надлежит разделить горные породы на категории. Легче всего это сделать по какому-либо одному механическому свойству горной породы, например по их твердости или механической прочности. По этому признаку построена классификация горных пород проф. Протодьяконова, основанная на результатах испытания механической прочности пород методом сжатия. Эта классификация существует и в настоящее время, она широко применяется при горно-проходческих работах. При горных работах приходится сталкиваться с сопротивлением породы ее полному разрушению при отрыве от забоя выработки, где основное значение имеют механическая прочность и вязкость породы.

По этой причине в категорию в высшей степени крепких пород попали кварциты, базальты и другие породы с высоким временным сопротивлением их разрушению. В дальнейшем по аналогии с классификацией проф. Протодьяконова такие породы, как базальт, стали попадать в высокие категории по буримости колонковыми снарядами. Так, в СУСН 1942 г. базальты значатся в XII категории, т. е. в самой высокой категории, наряду с дже-спилитами и роговиками.

По классификации проф. Протодьяконова базальты тяготеют к кварцитам и подобным им породам. Их временное сопротивление сжатию доходит до 3200—

3300 кгс/см² и является близким к механической прочности гранитов (2850 кгс/см²), кварцитов (3000 кгс/см²), джеспилитов (4200 кгс/см²). Однако по показателям бурения указанные породы несопоставимы. Базальты как практически бескварцевые породы имеют достаточно высокую буримость даже твердосплавными коронками, тогда как граниты, кварциты и джеспилиты, содержащие в своем составе кварц, практически не бурятся твердыми сплавами. Это достаточно убедительно было доказано исследованиями ВИМС в связи с созданием и испытанием мелкоалмазных и твердосплавных коронок.

Отсюда ясно, что для характеристики буримости нельзя пользоваться только данными о механической прочности горных пород на сжатие, скалывание. Необходимо учитывать и такие важные свойства их, как твердость и абразивность.

Предшествующие классификации горных пород, как было сказано выше, можно разделить на две группы.

В основе классификации первой группы лежат технические производственные показатели (буримость, взрываемость и т. п.). Сторонники этих классификаций считают, что показатели производственных процессов служат вполне достаточной характеристикой породы.

В основу второй группы классификации положена зависимость буримости, взрываемости и прочих производственных показателей от физико-механических свойств породы.

§ 1. Классификация пород по техническим показателям производственных процессов

По техническим показателям может быть создан ряд классификаций горных пород: по буримости, по взрываемости и т. д. Каждая из этих классификаций разрабатывается при определенных условиях и приемах. Например, буримость рекомендуется устанавливать контрольным бурением при соблюдении определенных стандартных условий [4, 47]. Этот способ позволяет определить показатели, которые могут быть непосредственно использованы. Однако такие классификации применимы для решения вопросов нормирования только в ограниченных условиях.

Нередко одинаковые по петрографическому составу породы оказываются в разных категориях. Это услож-

няет сопоставление показателей производственных процессов различных предприятий и затрудняет планирование.

Строить классификацию пород по их наименованию также не следует. Так, М. М. Протодяксов [37] отмечает, что породы одного и того же наименования в зависимости от их зернистости, неоднородности, выветренности, трещиноватости и т. п. могут иметь различные механические свойства.

Тем не менее на этом принципе составлена и с 1963 г. действует классификация типичных представителей горных пород по буримости для вращательного бурения в системе Министерства геологии СССР. Ее основой служит общая петрографическая характеристика. Однако известно, что породы одного и того же названия могут иметь различные механические свойства и различную буримость. Поэтому отнесение породы к категории на основании только одного названия является грубой ошибкой. При определении категории породы геологи также учитывают фактическую буримость. В этом случае ошибка еще больше усугубляется, так как буримость является величиной переменной, зависящей от многих факторов, в том числе от режимных параметров бурения.

§ 2. Классификация пород по физико-механическим свойствам

Классификация горных пород по физико-механическим свойствам основана на следующих показателях: механическая прочность на сжатие, сопротивление пород удару, угол естественного откоса, твердость по методу вдавливания штампа, конуса и др. Большая часть классификаций построена на показателях механической прочности. Так, проф. М. М. Протодяконовым была разработана классификация пород по относительному коэффициенту крепости f , равному в первом приближении $1/100$ временного сопротивления ее сжатию.

Другие классификации по механической прочности пород на раздавливание и прочим физическим свойствам имеют второстепенное значение. К ним относятся:

1) шкала Гидроэлектропроекта, составленная на основании твердости и крепости пород; таблицы крепости

пород, принятые Союзвзрывпромом [47], Гиредметом, Министерством электростанций, Шахтстроем и другими организациями;

2) классификационные таблицы Вернера (по крепости пород), Юнга (по структурным факторам), Мима (по углу естественного откоса), Лоресса (по сопротивлению на удар и раздавливанию); шкала Мооса;

3) таблица пород Раймонда, составленная на основании чисел твердости составляющих породу минералов по шкале Мооса;

4) таблица пород по твердости, принятая Бюро дорожного строительства Департамента земледелия США;

5) шкалы пород по данным испытаний методом Шора и на копке Педжа;

6) классификация пород Л. А. Шрейнера по твердости, пластичности и удельной контактной работе [51].

В последнее время появились классификации горных пород, основанные на динамической прочности по толчению, твердости и абразивности [33, 37], абразивности [3], твердости и механической прочности [45].

В зарубежной практике известны исследования горных пород на твердость — по вдавливанию конуса [53], на абразивность — по износу стальной пластинки [54] и бронзового стержня [55, 56].

Совершенно ясно, что прогресс в развитии горных и буровых работ в значительной степени зависит от систематического исследования физических свойств горных пород. Изучение их необходимо для установления оптимальных режимов эксплуатации производственных механизмов, для выбора режущих и истирающих материалов, а также типов буровых станков и машин, применяющихся в горном деле.

На основании исследований твердости и износоустойчивости истирающих материалов и физико-механических свойств горных пород наметились рациональные области применения различных истирающих материалов, оптимальные и рациональные режимы твердосплавного и алмазного бурения; определены задачи дальнейшего изыскания новых, более износоустойчивых истирающих материалов для бурения пород высоких категорий. Этому способствовали результаты исследований, проведенных в Институте нефти АН СССР (Л. А. Шрейнер и др.), в ИГД им. Скочинского (М. М. Протодьяконов, М. И. Койфман и др.), в ВИМС (М. И. Койфман, Н. И.

Любимов и др.), в ВИТР (М. В. Виторф, Н. В. Быкова), в ЦНИГРИ (Н. И. Любимов и др.).

Исследования Л. А. Шрейнера весьма многогранны. Однако нас в настоящее время интересует классификация горных пород по твердости и пластичности, разработанная им и его учениками. В табл. 9 приведены классификационные шкалы по твердости и пластичности пород.

В I группу по твердости входят преимущественно породы нехрупкие, во II — пластично-хрупкие, в III — хрупкие.

Однако среди пород и I и III групп могут встретиться пластично-хрупкие, а среди пород II группы — хрупкие и т. д. Осадочные породы входят в I и II группы; III группу составляют изверженные и метаморфические породы.

Недостатком указанной шкалы является то, что она не увязана с показателями производственных процессов, в частности с буримостью горных пород, лежащей в основе нормирования работ в настоящее время.

М. М. Протодьяконов и Б. М. Логунцов [34] установили зависимость буримости пород, указанной в ряде классификаций, от коэффициента f .

Почти все существующие шкалы буримости пород практически имеют вид геометрических прогрессий:

$$t_n \approx t_1 p^{n-1}, \text{ мин/м}, \quad (17)$$

где t_n — буримость породы n -го класса в мин/м; t_1 — буримость наиболее слабой породы в мин/м; n — класс буримости породы (для самой мягкой $n=1$); p — знаменатель геометрической прогрессии.

Число классов в существующих шкалах от 6 до 20, а знаменатель прогрессии изменяется от 1,2 до 2,5.

По мнению Эпштейна, буримость горных пород зависит не от механической прочности пород, выраженной коэффициентом f , а от агрегатной твердости по методу вдавливания резца в породу.

Л. А. Шрейнер [51] считает, что буримость в большей степени связана с твердостью и пластичностью пород.

Результаты исследований ВИТР нашли отражение в разработанной шкале буримости горных пород (табл. 10) на основе их твердости по методу резания на приборе «ОТ» [10].

I группа

Категория	1	2	3	4
Твердость, кгс/мм ²	10	10—25	25—50	50—100

II группа

Категория	5	6	7	8
Твердость, кгс/мм ²	100—150	150—200	200—300	300—400

III группа

Категория	9	10	11	12
Твердость, кгс/мм ²	400—500	500—600	600—700	700

Классификационная шкала пластичности

Категория	1	2	3	4	5	6
Коэффициент пластичности K	1	1—2	2—3	3—4	4—6	>6

Исследования, проведенные в ВИСМ [23, 25], показывают, что механическая скорость вращательного бурения зависит от твердости и механической прочности горных пород.

Для сопоставления абразивности, твердости и механической прочности пород с буримостью рекомендуется расчетная величина W , равная произведению твердости $H_{ист}$ на 1/100 предела прочности пород на скалывание $\sigma_{ск}$:

$$V = f(W); \quad W = 0,01\sigma_{ск}H_{ист} \quad (18)$$

Если учесть, что с твердостью пород связаны и их абразивные свойства, то содержание W приобретает комплексное значение механических свойств.

Категория пород по буримости	Глубина вреза в мм при нагрузке, кгс	
	4,1	1,0
XII	1,15	—
XI	1,16—1,75	—
X	1,76—2,40	—
IX	2,41—3,10	—
VIII	3,11—4,00	—
VII	4,10—5,30	0,76—1,03
VI	—	1,04—1,62
V	—	1,63—2,28
IV	—	>2,28

Числовые значения W для типичных разностей горных пород приведены в табл. 11.

В табл. 12 приведены данные испытания буримости горных пород с различной твердостью и прочностью при проходке разведочных скважин мелкорезцовыми коронками типа СМ4*.

Анализ приведенных в табл. 12 величин убеждает в том, что изменение буримости пород действительно обуславливается изменением значения W .

На рис. 4 эта зависимость выражена кривой, отвечающей приведенной выше формуле (18). В табл. 12 и на рис. 4 показаны результаты исследования девяти разностей горных пород осадочного изверженного и метаморфического происхождения. Скорость бурения этих пород выведена как средняя в результате проходки разведочных скважин мелкорезцовыми коронками типа СМ4, широко использующимися сейчас в практике бурения.

Как видно из рис. 4, в области больших значений W (900 и выше) скорости бурения невелики. Это вполне согласуется с применяемым типом коронок и режимом проходки скважин. Мелкорезцовые коронки обычно притупляются при бурении пород с повышенными значениями физических свойств. Применение более высоких осевых нагрузок на коронку несомненно может улучшить показатели бурения. Однако важно установить зависимость скорости бурения (при постоянных условиях) от

* Бурение производилось при окружных скоростях 0,6—0,7 м/с и нагрузке на коронку 500—600 кгс, т. е. при режиме, применяющемся при проходке разведочных скважин.

Таблица

Порода	$W_{ср}$	Порода	
Мергеля	2	Сланцы магнетито-амфиболовые	
Мраморы	17	Диориты	
Алевролиты	18	Лабрадориты	
Серпентиниты	29	Граносиениты	
Змеевики	32	Порфириты	
Туфобрекчия	46	Сиенит-порфиры	
Магнезиты	47	Гранодиориты	
Сланцы глинистые	54	Габбро	
Доломиты	61	Туфы окремненные	
Апатиты	116	Кератофиры	
Доломиты окремненные	135	Диорит-порфиры	
Туфы	183	Граниты	
Сланцы кристаллические	192	Альбитофиры	
Песчаники	219	Пегматиты	
Руда колчедановая	223	Амфиболиты	
Известняки кремнистые	303	Альбититы	
Андезиты	309	Сланцы амфиболовые окварцованные и ороговикованные	
Руда магнетитовая	415	Руда гематитовая	
Трахилпариты	488	Порфириты ороговикованные и окварцованные	
Горнблендиты	515	Скарны рудные	
Сиениты	534	Кварц	
Песчаники аркозовые	628	Яшмы	
Пироксениты	751	Роговики железистые	
Липариты	770	Песчаники кварцитовидные	
Спилиты	814	Кварциты	
Скарны	880	Джеспилиты	
Базальты	960	Роговики эгириновые	
Диабазы	1069	Кремень	
Роговики магнетито-амфиболовые	1087		

Таблица 12

Порода	№ блока	Твердость по истиранию $H_{ист}$, 1/см	Механическая прочность		Объединенный показатель W	Скорость бурения, м/ч
			$K_{ск}$, кгс/см ²	коэффициент прочности, К		
Туф алуинитизированный	23	551	294	2,94	1599	0,23
Скарн скаполитизированный	95	271	322	3,22	873	0,40
Туф псефитовый	20	255	224	2,24	571	0,63
Песчаник	482	427	119	1,19	520	0,50
Сиенито-диорит (скарнированный)	64	114	206	2,06	235	0,9
Известняк	428	49	106	1,06	52	1,59
Мергелистый известняк	427	44	97	0,97	42	2,32
Известняк (слабый)	456	9	66	0,66	6	4,08
Туф псефитовый (слабый)	15	9	15	0,15	1	6,14

значения W . По характеру кривой можно установить следующее:

а) с увеличением значения W скорость бурения уменьшается и, наоборот, с уменьшением W — увеличивается;

б) зависимость буримости от суммарного значения W не является линейной: чем меньше значение W , тем интенсивнее проявляется эффект буримости.

Установленная зависимость изменения скорости твердосплавного бурения от произведения твердости (по истиранию) на коэффициент механической прочности породы (по скалыванию) подтверждается и на примере дробового способа бурения.

Полученные результаты послужили основанием для перехода к более широким обобщениям фактического материала по исследованиям физико-механических свойств горных пород и их буримости с целью определения рациональных областей применения различных истирающих материалов и выработки шкалы объективной оценки буримости пород по физико-механическим свойствам.

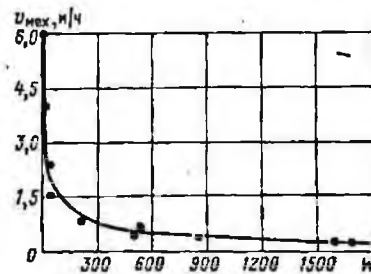


Рис. 4. Зависимость скорости бурения мелкорезцовыми коронками от W

Таблица 13

Категория пород по буримости	Скорость бурения, м/ч	Величина W при бурении чугунной дробью и мелкозцевыми коронками
II	2,3—4,5	1—50
III	1,6—2,3	50—100
IV	1,1—1,6	100—180
V	0,75—1,1	180—310
VI	0,55—0,75	310—540
VII	0,35—0,55	540—900
VIII	0,23—0,35	900—1300
IX	0,15—0,23	1300—2800
X	0,10—0,15	2800—4600
XI	0,04—0,10	4600—7500
XII	0,00—0,04	7500—12000

В табл. 13 приведены данные, характеризующие связь между шкалой буримости и механическими свойствами горных пород по значению W .

Проведенными исследованиями было показано, что вид зависимости v_m от W при бурении твердосплавными коронками и стальной дробью-сечкой носит гиперболический характер

$$v_m = aW^{-n}, \quad (19)$$

где a — коэффициент пропорциональности; W — коэффициент буримости; n — показатель степени, зависящий от вида бурения.

Применительно к бурению стальной дробью-сечкой была выведена эмпирическая формула с учетом режимных параметров

$$v_m = 4,7q\omega W^{-n}, \quad (20)$$

где v_m — скорость бурения в м/ч; q — удельное давление торца коронки в кгс/см²; W — коэффициент буримости; n — показатель степени для бурения стальной дробью-сечкой.

Таким образом, была доказана возможность разделения горных пород на категории по твердости и механической прочности пород в объединенном выражении и практического использования этих параметров для определения категорий пород и ожидаемой буримости.

Однако ввиду того, что в основе определения W лежат параметры, устанавливаемые в лабораторных усло-

виях, были исследованы полевые методы определения физико-механических свойств пород.

Для определения твердости пород был предложен метод царапания и затухающих колебаний, описанный в главе 1. В работе [21] отмечено, что разрушение породы при царапании связано с поверхностной энергией σ , которая прямо пропорциональна квадрату прочности тела z , атомному расстоянию a и обратно пропорциональна удвоенному числу-модуля упругости E :

$$\sigma = \frac{z^2 a}{2E} \quad (21)$$

Чем меньше σ породы, т. е. чем глубже проникает острое иглы в породу, тем меньше число или время t колебаний маятника. Исследования автора показали, что определение твердости пород по методу царапания и затухающих колебаний позволяет характеризовать буримость и фактически может служить коэффициентом буримости, подобно коэффициенту W .

Для доказательства были сопоставлены значения W и t для ряда пород с лабораторными данными [38]. При этом в большинстве случаев была установлена последовательность изменения буримости с изменением W и t . Сопоставляли данные буримости алмазными и твердосплавными коронками и стальной дробью-сечкой при разных режимах бурения. Данные бурения алмазными коронками отражены на рис. 5.

Длительные исследования по сопоставлению буримости при разведочном колонковом бурении с твердостью пород по методу царапания и затухающих колебаний на маятниковом приборе ТМЦ-1 и с прочностью нетвердых пород по методу вдавливания штампа на приборе ДМШ-1, позволили выработать шкалу, характеризующую категории буримости по параметрам твердости и прочности пород (табл. 14).

Дальнейшее развитие этих работ нашло отражение в разработанных автором новых принципах классификации горных пород по физико-механическим свойствам и буримости [23], в которых доказывается следующее.

1. Горные породы необходимо разделять на категории по физико-механическим свойствам.

2. Принадлежность породы к той или другой категории должна устанавливаться в полевых условиях по их физико-механическим свойствам.

3. Каждой категории должна соответствовать буримость как функция физико-механических свойств породы.

4. По категории, в которую входит данная порода, можно установить рациональную область применения

		Горная порода				
И-Ишт К		Габбро (97)	Базальт (51-98)	Гранит (094)	Кварцит (076)	Джеспилит (46-232)
8000						8217
7000					4188	
6000				2164		
5000		817	1189			
4000						
3000						
2000						
1000						
t, c				23,5	26	30
30						
25		17	19			
20						
15						
Нагрузка						
кд. кгс						
Скорость бурения, м/мин при $n = 210$ об/мин						
180	⊕ 12,0	⊕ 8,0	⊕ 5,0	⊕ 4,5	⊕ 3,0	
500	⊕ 21,0	⊕ 14,0	⊕ 8,0	⊕ 7,0	⊕ 4,0	
820	⊕ 28,0	⊕ 20,0	⊕ 11,0	⊕ 8,0	⊕ 5,5	
$n = 370$ об/мин						
180	⊕ 14,0	⊕ 13,0	⊕ 9,0	⊕ 7,0	⊕ 5,3	
500	⊕ 50,0	⊕ 24,0	⊕ 13,0	⊕ 10,0	⊕ 7,5	
820	⊕ 69,0	⊕ 35,0	⊕ 16,0	⊕ 12,0	⊕ 9,5	
$n = 630$ об/мин						
180	⊕ 21,0	⊕ 20,0	⊕ 13,5	⊕ 10,5		
500	⊕ 75,0	⊕ 36,0	⊕ 18,0	⊕ 13,5		
820	⊕ 95,0	⊕ 50,0				

Рис. 5. Зависимость скорости бурения многослойными алмазными коронками при разных режимных параметрах от механических свойств пород (крестик в кружочке — признак последовательности изменения)

истирающих материалов и оптимальных режимов бурения.

5. По показателям физико-механических свойств пород и параметрам режима бурения можно определить ожидаемую буримость.

В работе [23] также была приведена разработанная проектная шкала горных пород по твердости и буримости для различных истирающих материалов (табл. 15).

При обсуждении указанной шкалы в геологоразведочных организациях, наряду с одобрением, было высказано сомнение в отношении стабильности измерения твердости пород по методу царапания и затухающих колебаний с применением стальных игл ввиду трудности

Таблица 14

Категория пород (ЕНВ 1952 г.)	Шкала скорости бурения, м/ч			Среднее значение механических свойств горных пород	
	от	до	средняя	по методу штампа P , кгс/мм ²	по методу царапания и затухающих колебаний N
I	6,2	10,8	8,5	$\leq 0,24$	—
II	2,8	6,2	4,5	0,24—1,25	≤ 6
III	1,8	2,8	2,3	1,25—6,25	6—16
IV	1,4	1,8	1,6	—	16—20
V	0,8	1,4	1,1	—	20—24
VI	0,7	0,8	0,75	—	24—26
VII	0,4	0,7	0,55	—	26—31
VIII	0,3	0,4	0,35	—	31—40
IX	0,16	0,3	0,23	—	40—48
X	0,11	0,16	0,15	—	48—51
XI	0,06	0,14	0,10	—	51—62
XII	0,02	0,06	0,04	—	> 62

Таблица 15

Категория пород по буримости	Шкала твердости		Скорость бурения (в среднем), м/ч				
	по методу штампа P , кгс/мм ²	по методу царапания и затухающих колебаний N	ребристые мн коронками	коронками типов СМ4 в СА1	чугунной дробью	стальной дробью-сечкой	мелкоалмазными коронками типа 02113
I	0,15	—	10,50	—	—	—	—
II	0,74	—	5,30	—	—	—	—
III	—	6	3,25	3,90	—	—	—
IV	—	12	1,25	3,25	—	—	—
V	—	18	0,52	2,55	—	—	—
VI	—	24	—	1,85	1,10	—	—
VII	—	30	—	1,05	0,75	—	—
VIII	—	36	—	0,45	0,47	—	—
IX	—	42	—	—	0,27	0,44	1,20
X	—	48	—	—	0,17	0,31	0,85
XI	—	54	—	—	0,12	0,24	0,55
XII	—	60	—	—	0,08	0,19	0,31
XIII	—	66	—	—	0,05	0,14	0,18

подготовки стандартной поверхности образца. Однако эта трудность была устранена применением корундовых игл вместо стальных. Дальнейшие исследования были выполнены с использованием других, более рациональных методов определения физико-механических свойств горных пород в производственных условиях.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ

§ 1. Влияние абразивности и динамической прочности горных пород на их буримость

Доказав возможность характеристики категорий буримости по механическим свойствам горных пород, автор разработал полевые методы определения их механических свойств.

Анализ характера износа алмазных и твердосплавных буровых коронок показывает, что они изнашиваются в основном в результате действия бурового шлама. Шлам, поднимаемый с забоя промывочной жидкостью или при продувке скважины, вызывает износ породоразрушающего инструмента и бурового снаряда. Чем абразивней продукты разрушения пород, тем интенсивнее изнашивается буровой снаряд.

Автор предложил метод, позволяющий определять абразивность пород в раздробленном виде в полевых условиях по износу свинцовых шариков (охотничьей дроби) при помощи прибора шатунно-кривошипного типа (см. главу I).

В качестве исходного материала пробы для определения абразивности используется фракция 0,5 мм и менее раздробленной горной породы, получаемая при определении динамической прочности по методу толчения. При этом в одном образце породы можно определить два параметра — динамическую прочность и абразивность, что позволяет получить более полное представление об исследуемых породах и их влиянии на износ породоразрушающего инструмента и на показатели бурения.

В табл. 16 породы сгруппированы по абразивности. Из этой таблицы видно, что в первые две группы вошли практически бескварцевые породы, а в V и VI — кварцсодержащие. Породы III и IV групп представлены в основном зеленокаменными породами и породами с умеренным содержанием кварца.

В табл. 17 отражены результаты определения динамической прочности практически тех же петрографичес-

№ группы	Показатель абразивности $K_{абр}$	Абразивность пород	Горная порода
I	$< 0,5$	Малоабразивные	Мрамор, известняк, эпидозит, ангидрит, алевролит
II	$0,5-1,0$	Умеренно абразивные	Руда марганцевая, туфобрекчия, доломит, хлорито-кремнисто-магнетитовая порода, скари преимущественно карбонато-пироксенового состава, сланец серицито-хлорито-карбонатного состава, полевошпатизированный известняк, частично окремненный
III	$1,0-1,5$	Среднеабразивные	Скари карбонатный, окремненный, диабаз, туфопесчаник, скари эпидото-хлорито-пироксеновый, туф кислого эффузива, пироксен-альбитовая порода, туф кварцевых порфиров, адамелит-порфир, диорит скарнированный
IV	$1,5-2,0$	Абразивные	Диорит эпидотизированный с сульфидами, скари рудный, сениит, туф ороговикованный, гранодиорит, диабазовый порфирит, габбро-диабаз, диорит кварцевый, альбитофир ороговикованный, кварцевый порфир, туф кварцевого альбитофира, роговик пироксеновый, скари гранато-пироксеновый, песчаник ороговикованный
V	$2,0-2,5$	Сильно абразивные	Кварц жильный, гранит, граносениит-порфир, песчаник кварцевый, кварц-турмалиновая порода, адамелит, роговик, силикато-магнетитовый, скари гранатовый
VI	$2,5-3,0$ и более	Весьма абразивные	Яшмовидная порода, кварцит, роговик калишпатизированный, гранит мелкозернистый

ких разностей горных пород (см. табл. 16), объединенных в группы с интервалом между ними 8 ед. Из табл. 17 видно, что в I группу пород малой прочности, наряду с мрамором и доломитом, вошли породы типа гранита, имеющие высокую твердость. В то же время в IV—VI группах нет кварцсодержащих пород. Это показывает, что динамическая прочность отражает очень важное свойство пород, дополняющее их твердость и абразивность.

По данным табл. 16 и 17 была составлена диаграмма положения исследованных горных пород в разных груп-

Горная порода	Группа горных пород по абразивности, динамической прочности										
	Кабр						F _d				
	≤ 0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	≤ 8	8-16	16-24	24-32	32-40
Мрамор											
Известняк											
Эпидоцит											
Гуфобрекция											
Хлорито-кремнисто-магнетитовая порода											
Слабце серицита-хлорито-карбонатного состава											
Доломит											
Известняк, частично окремненный											
Карбонато-хлорито-эпидото-палеодиплоидовая порода											
Скарн карбонато-пироксенового состава											
Гуфолесчаник											
Диабаз мелкозернистый, измененный											
Скарн эпидото-хлорито-пироксеновый											
Гуф кислого эффузива											
Гуф кварцевых порфиритов											
Скарн карбонатный, окварцованный											
Адамелит-порфир											
Диорит скварцованный											
Диабаз											
Диорит эпидотизированный с сульфидами											
Гранодиорит											
Альбитофир ороговикованный											
Диабазовый порфирит											
Скарн гранато-пироксеновый											
Роговик пироксеновый											
Гуф кварцевого альбитофира											
Песчаник ороговикованный											
Скарн рудный											
Гуф ороговикованный											
Диорит кварцевый											
Габбро-диабаз											
Кварцевый порфир											
Аргиллит ороговикованный											
Кварц жила мый											
Гранит											
Кварц-турмалиновая порода											
Песчаник кварцевый											
Роговик силикатно-магнетитовый											
Скарн гранатовый											
Граносиенит-порфир											
Адамелит											
Кварцит											
Роговик калишлатовый											
Ороговикованная калишлатовая порода											
Сиенит лейкократовый											
Гранит мелкозернистый											

Рис. 6. Диаграмма положения положения исследованных горных пород в разных группах по абразивности и динамической прочности. Степень абразивности: < 0,5 — малоабразивная; 0,5—1,0 — умеренно абразивная; 1,0—1,5 — среднеабразивная; 1,5—2,0 — абразивная; 2,0—2,5 — сильно абразивная; 2,5—3,0 — весьма абразивная. Степень динамической прочности: < 8 — малопрочные; 8—16 — умеренно прочные; 16—24 — среднепрочные; 24—32 — прочные; 32—40 — очень прочные; > 40 — весьма прочные.

Таблица 17

№ группы	Показатель прочности F_d	Динамическая прочность пород	Горная порода
I	8,0 и менее	Малопрочные	Мрамор, песчаник, медно-цинковый колчедан, диорит, кварцевый порфир, туфобрекчия, гранит, габбро, доломит, сланец хлорито-кремнистый
II	8—16	Умеренно прочные	Роговик калишпатизированный, сиенит скарнированный, кварцевый диорит, эпидозит, роговик силикатно-магнетитовый, кварцит магнетитовый, песчаник кварцево-биотитовый, туф кислого эффузива, амфиболит, руда сульфидно-магнетитовая, известняк и доломит окварцованные
III	16—24	Средне-прочные	Альбитофир ороговикованный, адаметит-порфир, туф альбитофира, диорит эпидотизированный, сиенито-диорит, роговики кварцево-биотитовый и силикатно-магнетитовый, песчаник маритовый сливной, джеспилит маритовый
IV	24—32	Прочные	Пироксено-плагноклазовая порода, диабазовый порфирит, адамеонт-порфир с актинолитом, порфирит кварц-плагноклазовый, скарны эпидото-гранато-хлорито-пироксенового состава, роговик маритовый
V	32—40	Очень прочные	Габбро-диорит, порфирит ороговикованный, роговик маритовый, очень прочный
VI	40 и более	Весьма прочные	Диабаз ороговикованный, порфирит эпидотизированный, джеспилит маритовый полосчатый весьма прочный

пах по абразивности и динамической прочности (рис. 6), из которой видно, что положение пород по динамической прочности не повторяет последовательности изменения пород по абразивности. Характерно также, что породы типа мрамора и известняка находятся в одной группе с кварцсодержащими породами типа гранита. Кроме того, породы типа диабаза и порфирита, имеющие среднюю абразивность, относятся к прочным и весьма прочным породам.

При сопоставлении показателей абразивности и динамической прочности одних и тех же пород необходимо

обратить внимание на корреляционные связи между абразивностью и твердостью.

В табл. 7 было установлено, что с увеличением или уменьшением твердости пород по методу истирания увеличивается или уменьшается абразивность их по износу буровой коронки. Такое последовательное изменение свойств пород вполне логично, так как эти свойства в основном зависят от твердости породообразующих минералов.

Аналогичная последовательность изменения абразивности пород в раздробленном состоянии с их твердостью по методу истирания была получена при исследовании метаморфических сланцев, песчаников и сиенитов [23]. В указанной работе также сопоставляются динамическая прочность указанных пород с их твердостью по истиранию. При этом не наблюдается существенной связи между этими свойствами пород (коэффициент корреляции 0,19).

Данные о зависимости абразивности пород в раздробленном состоянии от твердости их по истиранию отра-

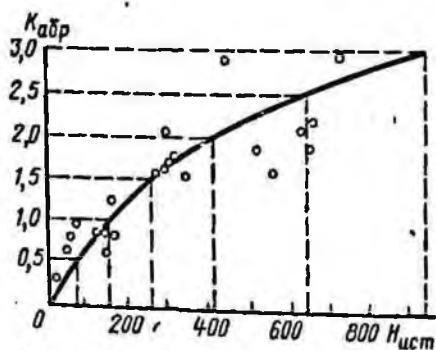


Рис. 7. Зависимость абразивности пород в раздробленном состоянии от твердости пород по методу истирания

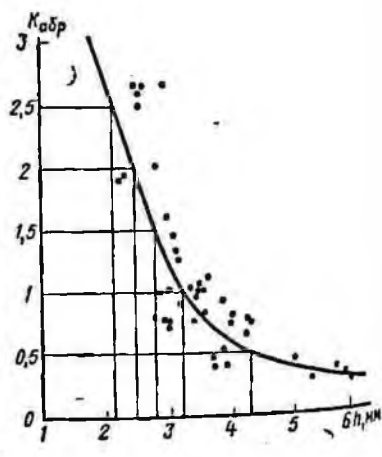


Рис. 8. Зависимость абразивности пород в раздробленном состоянии от твердости пород по методу резания на приборе «ОТ» конструкции ВИТР

жены на рис. 7. Полученной кривой можно воспользоваться как номограммой для ориентировочного суждения о твердости пород по величине их абразивности (табл. 18).

Горная порода	Коэффициент абразивности $K_{абр}$	Твердость по истрианию $H_{ист}$
Мергель, мрамор, серпентиниты, туфобрекчия, глинистые сланцы, известняки, доломиты, гипсы, магнезиты, сланцы кристаллические, змеевники	< 0,5	< 70
Конгломераты преимущественно карбонатного состава, апатиты, песчаники, руда магнетитовая	0,5—1,0	70—150
Песчаники аркозовые, известняки окремненные, песчаники, андезиты, сиениты, диорит-порфиры, трахиллариты, руда колчеданная, кварц-полево-шпато-магнетито-гематитовая порода, диабаз	1,0—1,5	150—260
Базальты, диабазы, порфириты, пироксениты, альбитофиры, сиениты, горнblendиты, спилиты, сиенит-порфиры, диориты, липариты, сланцы амфиболо-магнетитовые, скарны, роговики магнетито-амфиболовые, амфиболиты	1,5—2,0	260—420
Габбро, гранодиориты, кератофиры, порфириты ороговикованные, лабрадориты, альбититы, альбитофиры, граносиениты, туф окремненный, руда гематитовая, адемиты	2,0—2,5	420—650
Пегматиты, граниты, сланцы ороговикованные, скарны рудные	2,5—3,0	650—930
Роговики железистые, джеспилиты, кварциты, кремни и сливные джеспилиты, песчаники кварцитовые, кварц, роговики эгириновые, роговики железистые, яшмы	> 3,0	> 930

Примечание. В таблицу, кроме пород, использованных для построения графика, включены породы, исследованные ВИМС. 3

Установленную зависимость также можно проследить по результатам сопоставления абразивности пород в раздробленном состоянии с твердостью пород по методу резания на приборе «ОТ» (рис. 8). Из рис. 8 видно, что разброс точек относительно усредненной кривой сравнительно невелик и свидетельствует о большой степени корреляции этих свойств (коэффициент корреляции 0,78).

Для сопоставления абразивности раздробленных пород с абразивностью пород в монолите был проведен ряд опытов. Оказалось, что при увеличении абразивности раздробленной породы большей частью увеличивается и абразивность этой породы в монолите (коэффициент корреляции 0,76). Однако для ряда пород (порфи-

риты, сланцы актинолит-эпидотового состава) получают резкие расхождения, коэффициент корреляции составил до 0,35. Это объясняется тем, что для подобных пород, не содержащих кварц, стальной стержень, по которому судят об абразивности пород в монолите, теряет массу при испытании не вследствие его истирания о породу, а при наклепе и шелушении металла в результате его усталости при длительном вращении стержня под нагрузкой, что является недостатком этого метода. Исключив эти данные как аномальные, построили график, по которому, зная абразивность раздробленной породы, можно определить с известной степенью приближения абразивность этой породы в монолите [25].

Наличие корреляционной связи между твердостью пород и их абразивностью позволяет считать, что параметр абразивности пород для характеристики буримости учитывает и их твердость.

Абразивность (в раздробленном состоянии) и динамическая прочность (по толчению) горных пород, как уже отмечалось выше, отражают их физико-механические свойства и позволяют более полно характеризовать их буримость.

Последующие исследования позволили получить убедительные данные о зависимости механической скорости бурения и проходки на рейс при твердосплавном, алмазном, дробовом и гидроударном видах бурения от параметров абразивности и динамической прочности пород (табл. 19).

Увеличение абразивности для пород с динамической прочностью до 16 в 90% случаев вызывает уменьшение скорости бурения. Повышение динамической прочности ($F_d > 16$) для всех групп пород по абразивности в 94% случаев приводит к снижению скорости проходки. Необходимо отметить, что при бурении пород с умеренной динамической прочностью ($F_d < 16$) наивысшая скорость проходки наблюдается при гидроударном способе. Относительно меньшая скорость отмечается при твердосплавном (по породам с малой и умеренной абразивностью) и алмазном бурении. Исключение составляют показатели проходки пород с весьма высокой абразивностью, где скорость алмазного бурения более высокая. Наиболее низкие механические скорости наблюдаются при дробовом способе.

Коэффициент абразивности $K_{абр}$	Показатели бурения при динамической прочности					
	умеренная (<16)			высокая (>16)		
	число рейсов	механическая скорость, м/ч	проходка за рейс, м	число рейсов	механическая скорость, м/ч	проходка за рейс, м
1	2	3	4	5	6	7
Малая (0,5):						
твердосплавное бурение	30	1,59	2,33	2	1,26	2,17
алмазное	10	1,19	2,52	—	—	—
дробовое	10	0,64	3,44	6	0,54	2,11
гидроударное	24	2,49	3,56	1	0,71	3,20
Умеренная (0,5—1,0):						
твердосплавное бурение	92	1,07	2,84	1	0,40	0,40
алмазное	10	1,02	3,26	19	0,45	1,79
дробовое	27	0,55	2,25	16	0,37	2,27
гидроударное	54	1,66	2,85	4	1,89	2,65
Средняя (1,0—1,5):						
твердосплавное бурение	16	0,68	1,53	11	0,31	1,00
алмазное	22	1,53	2,75	43	1,32	1,86
дробовое	29	0,45	1,90	16	0,23	0,82
гидроударное	51	1,63	2,55	32	1,03	2,36
Высокая (1,5—2,0):						
твердосплавное бурение	—	—	—	—	—	—
алмазное	30	0,69	1,83	22	0,44	0,99
дробовое	16	0,30	1,45	19	0,25	1,67
гидроударное	26	1,17	2,20	27	0,27	0,85
Очень высокая (2,0—2,5):						
твердосплавное бурение	—	—	—	—	—	—
алмазное	25	0,63	1,96	25	0,63	1,81
дробовое	15	0,29	1,96	41	0,21	0,96
гидроударное	12	1,56	1,80	1	0,24	1,20
Весьма высокая (2,5 и более):						
твердосплавное бурение	—	—	—	—	—	—
алмазное	5	0,40	1,50	4	0,13	0,50
дробовое	7	0,20	1,56	6	0,17	1,25
гидроударное	1	0,29	1,00	—	—	—

При бурении пород с высокой динамической прочностью ($F_d > 16$) показатели изменяются. Самая высокая скорость при гидроударном способе проходки достигается лишь в породах с малой и умеренной абразивностью при алмазном бурении — с абразивностью, равной 1,0-2,5; стальной дробью-сечкой — более 2,5. При твердосплавном бурении высокая скорость получена лишь в малоабразивных породах.

При сравнении скоростей бурения пород с F_d до 16 и свыше 16 оказалось, что наибольшая разница в скорости бурения пород отмечается при гидроударном бурении пород высокой и очень высокой абразивности. Менее расхождение при бурении указанных пород наблюдается при алмазном и дробовом видах вращательного бурения, при этом наименьшая разница при дробовом бурении.

Установленные факторы, вероятно, объясняются различием в механизме разрушения пород при бурении указанными способами.

Гидроударники, оказывающие дробяще-скалывающее действие на породу при вращении колонкового снаряда, оказались более чувствительными к изменению динамической прочности пород высокой твердости и абразивности. Алмазное бурение менее чувствительно к изменению динамической прочности пород даже при их высокой абразивности.

Последние данные по буримости песчаников твердосплавными коронками в Центральном Донбассе показали, что наибольшие скорости бурения получены по песчаникам с малой динамической прочностью. В этом случае абразивность пород почти не влияет на изменение скорости бурения. С увеличением динамической прочности скорость уменьшается, а влияние абразивности проявляется более отчетливо (табл. 20).

Это объясняется тем, что в состав песчаников с малой динамической прочностью ($F_d < 4,0$) входит слабый (преимущественно слюдястый и глинисто-карбонатный) цемент и они легко разрушаются при бурении. Скорость проходки при бурении более прочных песчаников меньше вследствие лучшей цементации минеральных зерен (цемент преимущественно карбонатного состава). В этом случае разрушение породы затрудняется из-за ее прочности и абразивности.

Таким образом, зависимость скорости бурения сква-

Таблица 20

Динамическая прочность F_d	Показатели бурения	Абразивность $K_{абр}$			
		0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5
Малая (<4)	Число рейсов	3	5	6	11
	Механическая скорость, м/ч	0,94	2,84	3,43	1,90
Умеренная (4—8)	Проходка за рейс, м	3,60	2,36	2,41	1,58
	Число рейсов	29	16	10	6
Средняя (8—16)	Механическая скорость, м/ч	1,17	1,26	0,72	0,60
	Проходка за рейс, м	3,08	2,77	2,15	1,80
	Число рейсов	18	17	14	4
	Механическая скорость, м/ч	0,88	0,74	0,79	0,52
	Проходка за рейс, м	3,54	1,65	2,31	2,35

жии вращательным и ударно-вращательным способом от динамической прочности и абразивности пород подтверждается результатами лабораторных и производственных исследований твердосплавного, алмазного, дробового, гидроударного и пневмоударного видов бурения. Это позволяет разработать эмпирическую формулу зависимости буримости от объединенного показателя этих величин отдельно для вращательного и ударно-вращательного способов бурения.

§ 2. Разработка объединенного показателя динамической прочности и абразивности для характеристики буримости вращательным способом

Сопоставление механической скорости бурения с коэффициентами динамической прочности F_d и абразивности $K_{абр}$ позволило установить, что имеются тесные корреляционные связи для зависимостей:

$$v_{мех} = f(F_d) \text{ и } v_{мех} = f(K_{абр}).$$

Для примера рассмотрим зависимость механической скорости от динамической прочности при бурении однослойными алмазными коронками, стальной дробью и гидроударником (рис. 9—11). Эта зависимость выражается формулой

$$\lg v_{мех} = \lg n - \alpha' \lg F_d \text{ или } v_{мех} = nF_d^{-\alpha'},$$

где n — коэффициент пропорциональности, равный механической скорости бурения по породам с $F_d=1$ (с увеличением абразивности пород он уменьшается); α' —

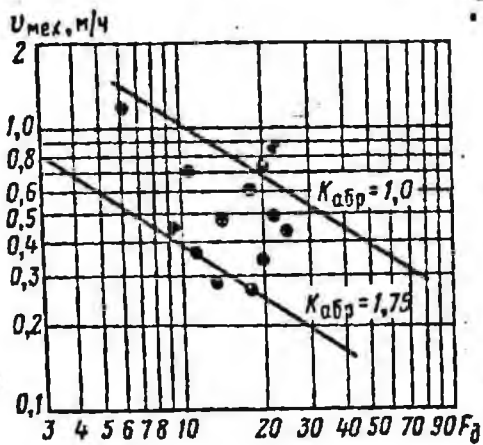


Рис. 9. Зависимость механической скорости бурения однослойными мелкоалмазными коронками от динамической прочности пород при средних значениях $K_{абр} = 1,0$ и $1,75$. Режим бурения: скорость вращения 150—270 об/мин, осевая нагрузка 400—600 кгс.

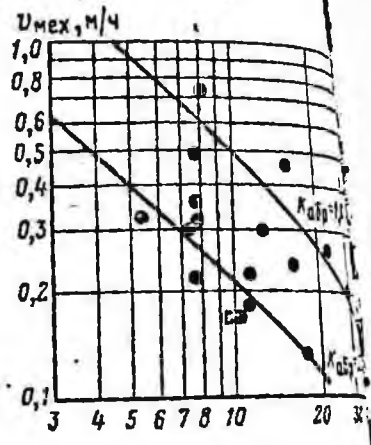


Рис. 10. Зависимость механической скорости бурения стальной дробью-сечкой от динамической прочности пород при средних значениях $K_{абр} = 1,0$ и $2,7$. Режим бурения: скорость вращения 150—270 об/мин, осевая нагрузка 600—800 кгс.

тангенс угла наклона прямых ($\lg v = \lg n - \alpha' \lg F_d$), выражающий степень изменения механической скорости при изменении динамической прочности (его величина не одинакова для разных видов бурения и остается постоянной при бурении пород различной абразивности одним типом наконечников).

Зависимость механической скорости от абразивности при бурении указанными способами (рис. 12—14) выражается формулой

$$\lg v = \lg m - \beta' \lg K_{абр} \text{ или } v_{мех} = m K_{абр}^{-\beta}$$

где m — коэффициент пропорциональности, равный механической скорости бурения по породам с $K_{абр} = 1$ (его величина уменьшается с увеличением динамической прочности буримых пород); β — тангенс угла наклона прямых ($\lg v = \lg m - \beta \lg K_{абр}$), выражающий степень изменения механической скорости от изменения абразивности пород. Величина β остается постоянной для каждого типа наконечников.

Анализ корреляционных связей $v_{мех} = n F_d^{-\alpha}$ и $v_{мех} = m K_{абр}^{-\beta}$ показывает, что их можно представить в общем виде

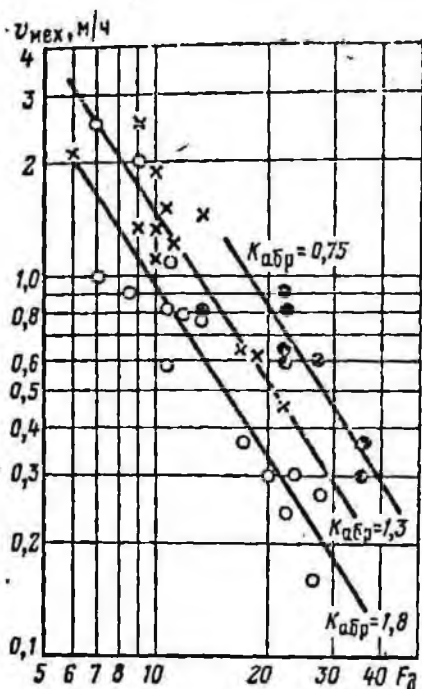


Рис. 11. Зависимость механической скорости бурения гидроударником от динамической прочности пород при средних значениях $K_{абр}=0,75; 1,3$ и $1,8$. Режим бурения: скорость вращения 50—128 об/мин; осевая нагрузка 300—500 кгс; количество промывочной жидкости 300 л/мин

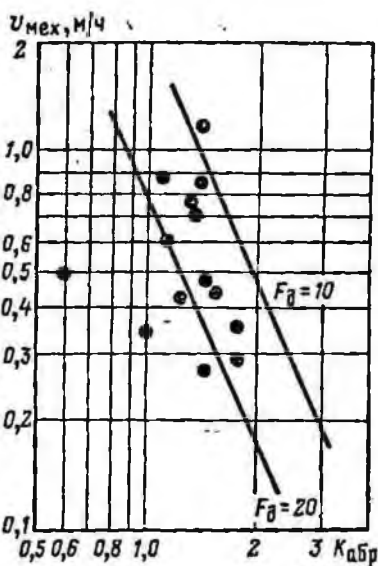


Рис. 12. Зависимость механической скорости бурения однослойными мелкоалмазными коронками от абразивности пород при средних значениях $F_д=10$ и 20 .

Режим бурения — скорость вращения 150—270 об/мин; осевая нагрузка 400—600 кгс

$$v_{мех} = l F_d^{-\alpha} K_{абр}^{-\beta}$$

где l — коэффициент пропорциональности, соответствующий величине механической скорости бурения при $F_d=1$ и $K_{абр}=1$; α и β тангенсы углов наклона, показывающих изменение механической скорости от соответствующих коэффициентов.

Для простоты пользования указанной формулой необходимо перейти от функции двух переменных к одной переменной величине следующим образом:

$$v_{мех} = l F_d^{-\alpha} K_{абр}^{-\beta} = l (F_d^{\alpha/\beta} K_{абр}^{+1})^{-\beta} = k (l' F_d^{\alpha/\beta} K_{абр})^{-\beta}$$

Заменив произведение $l' F_d^{\alpha/\beta} K_{абр}$ через ρ_M , получим упрощенную формулу $v_{мех} = k \rho_M^{-\beta}$.

Коэффициенты l , α и β рассчитаны по фактическим данным методом наименьших квадратов. Для простоты расчетов логарифмируем зависимость $v = l F_d^\alpha K_{абр}^\beta$ получаем:

$$\ln v_{мех} = \ln l - \alpha \ln F_d = [\beta \ln K_{абр} - \alpha \ln F_d - \ln v]$$

Отклонения каждого измерения и его квадрата соответственно равны:

$$\Delta = \ln l - \alpha \ln F_d - \beta \ln K_{абр} - \ln v,$$

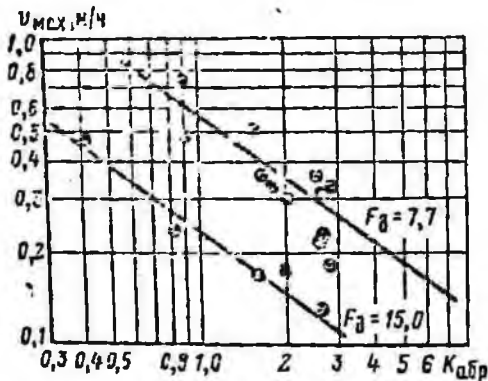


Рис. 13. Зависимость механической скорости бурения стальной дорбьюсечкой от абразивности пород при средних значениях $F_d = 7,7$ и $15,0$.

Режим бурения: скорость вращения 150—270 об/мин; осевая нагрузка 600—800 кгс

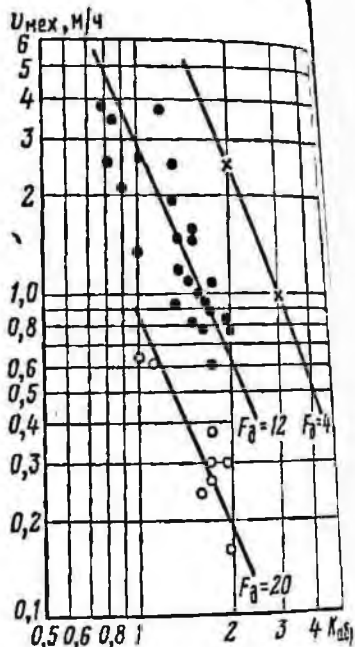


Рис. 14. Зависимость механической скорости бурения гидроударником от абразивности при средних значениях $F_d = 4; 12$ и 20 .

Режим бурения: скорость вращения 50—128 об/мин; осевая нагрузка 300—500 кгс; количество промывочной жидкости 300 л/мин

$$\Delta^2 = [\ln l - \alpha \ln F_d - \beta \ln K_{абр} - \ln v]^2.$$

Частные производные по неизвестным дают нам уравнения для определения коэффициентов методом наименьших квадратов:

1. $\frac{\partial \Delta}{\partial \ln l} [\ln l - \alpha \ln F_d - \beta \ln K_{абр} - \ln v]^2 = 2 [\ln l - \alpha \ln F_d - \beta \ln K_{абр} - \ln v] l = 0;$
2. $\frac{\partial \Delta}{\partial \alpha} [\ln l - \alpha \ln F_d - \beta \ln K_{абр} - \ln v]^2 = 2 [\ln l - \alpha \ln F_d - \beta \ln K_{абр} - \ln v] (-\ln F_d) = 0;$

$$3. \frac{\partial}{\partial \beta} [\ln l - \alpha \ln F_d - \beta \ln K_{абр} - \ln v]^2 = \\ = 2 [\ln l - \alpha \ln F_d - \beta \ln K_{абр} - \ln v] (-\ln K_{абр}) = 0.$$

В окончательном виде получаем:

$$\begin{aligned} \Sigma \ln l - \alpha' \Sigma \ln F_d - \beta' \Sigma \ln K_{абр} - \Sigma \ln v &= 0; \\ -\ln l \Sigma \ln F_d + \alpha' \Sigma \ln^2 F_d + \beta' \Sigma (\ln K_{абр} \ln F_d) + \\ &+ \Sigma (\ln v \ln F_d) = 0; \\ -\ln l \Sigma \ln K_{абр} + \alpha \Sigma (\ln F_d \ln K_{абр}) + \beta \Sigma (\ln^2 K_{абр}) + \\ &+ \Sigma (\ln v \ln K_{абр}) = 0. \end{aligned}$$

Учитывая, что отношения коэффициентов α/β для перечисленных видов бурения являются близкими (табл. 21), заменяя их через среднюю величину $\alpha/\beta_{ср}$, можно

Таблица 21

Вид бурения (тип бурового наконечника)	Коэффициент			
	l	$-\alpha$	$-\beta$	α/β
Стальная дробь	6,471	1,0662	1,2971	0,82
Однослойные мелкоалмазные коронки	5,899	0,3578	0,5040	0,71
Многослойные и импрегнированные мелкоалмазные коронки	0,1346	0,2042	0,1983	1,03
Мелкорезцовые твердосплавные ко- ронки	0,2331	2,6222	4,1622	0,63
Гидроударное бурение	51,2200	1,3780	1,5872	0,87
Средние значения	—	—	—	0,81

получить объединенный показатель ρ_m удовлетворяющий указанным видам вращательного и ударно-вращательного бурения:

$$\rho_m = 3F_d^{0,8} K_{абр}. \quad (22)$$

Таким образом, мы получаем зависимость

$$v_{мех} = k \rho_m^{-\frac{1}{2}}, \quad (23)$$

где ρ_m — объединенный коэффициент, учитывающий влияние динамической прочности и абразивности горных пород на механическую скорость вращательного колонкового бурения. Его величину можно определить по формуле $\rho_m = 3F_d^{0,8} k_{абр}$ или по номограмме (рис. 15); k — коэффициент пропорциональности, соответствующий ве-

Линии механической скорости при $R_m = 1$, зависят от вида бурения и его режимов; ξ — тангенс угла наклона прямых ($\lg v = \lg k - \xi \lg R_m$), выражающий степень изменения механической скорости, зависит только от вида истражающих материалов. При расчете указанных коэффициентов и построении графиков буримости (см. ниже) использованы фактические данные [25].

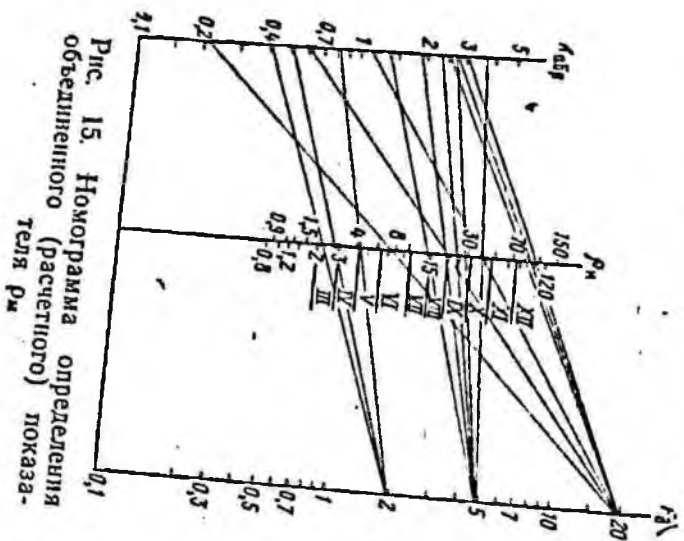


Рис. 15. Номограмма определения объединенного (расчетного) показателя

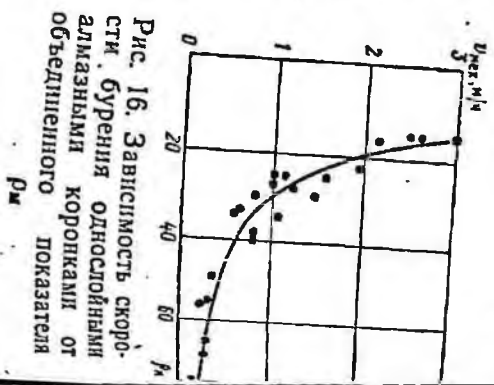


Рис. 16. Зависимость скорости бурения однослойными алмазными коронками от объединенного показателя

Установленная зависимость буримости пород от объемного показателя R_m подтверждается многими данными, полученными в последнее время. Примером могут служить результаты бурения однослойными алмазными пионной связи между подтвердившие наличие корреляции и объединенным показателем R_m (коэффициенты вариации и корреляции 34 и 0,84 соответственно). Показатели также результаты сопоставления коронку, удельный расход алмазов, удельная стоимость накоронки на 1 м бурения) в зависимости от количества удельный расход алмазов и удельная стоимость коронки. Общий характер этой зависимости отражен на рис. 17.

Таблица 22

Порода	число образцов	Механические свойства (средние данные)			Рациональные типы коронок	Проходка, м	Технико-экономические показатели		
		динамическая прочность R_d	образцовность $K_{обр}$	объемный показатель R_m			проходка на коронку, м	удельный расход алмазов, м/куб. м	удельная стоимость коронки, руб/м
Известняки	6	10,65	0,53	10,9	01АЗД30К20 01АЗД40К30 01АЗД40К40	503,6	20,9	0,48	1—78
Песчаники	2	13,8	0,90	22,0	01АЗД60К30 01АЗД50К30 01ИЗД150К60 02ИЗК150К60	240,1	14,1	0,60	2—20
Порфириды, диабазы	11	17,5	1,10	32,0	01АЗД40К30 01АЗД30К20 02ИЗД150К30	242,0	13,3	0,63	2—30
Граниты, гранодiorиты	11	7,9	2,2	38,1	01АЗД75К30 01А4К40К40 01А4Д50К30 02ИЗД150К60 02ИЗТ150К50	662,0	12,7	0,64	2—40
Кварциты	6	17,8	1,68	54,0	02ИЗТ300К60 02ИЗД300К60	40,8	10,2	1,2	3—35

Наибольшая проходка на коронку, наименьшие значения удельного расхода алмазов и удельная стоимость коронки относятся к известнякам и песчаникам с ρ_m от 10 до 21. В промежутке значений ρ_m от 21 до 31 (порфириды и диабазы) отмечается незначительное увеличение расхода алмазов и стоимости коронки на 1 м бурения. Од-

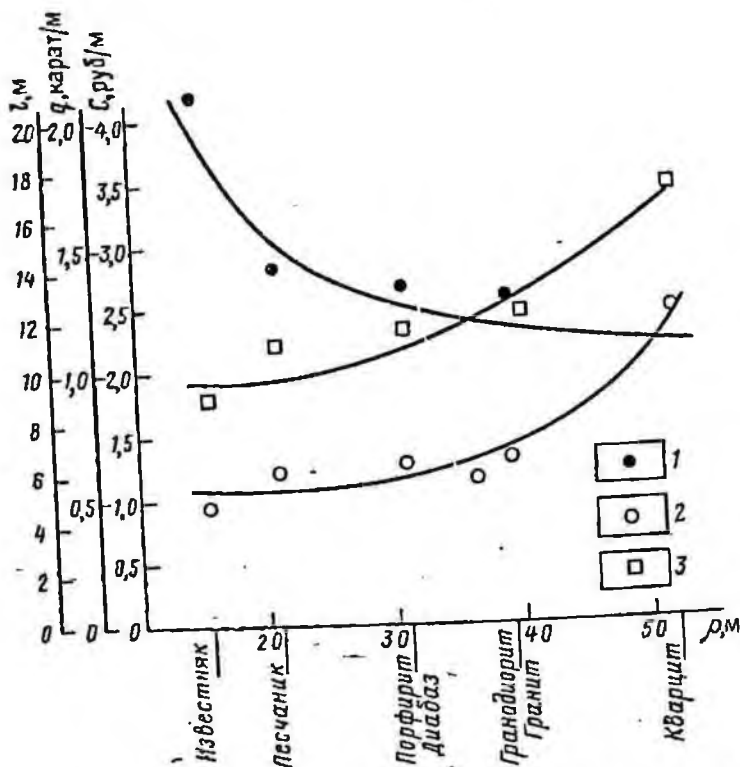


Рис. 17. Зависимость технико-экономических показателей бурения горных пород рациональными типами алмазных коронки в зависимости от объединенного показателя ρ_m :

1 — проходка на коронку; 2 — удельный расход алмазов; 3 — удельная стоимость коронки

нако проходка на коронку снизилась значительно, что до некоторой степени можно объяснить сравнительно высокой динамической прочностью указанных пород.

Наименьшая проходка на коронку и значительное возрастание удельного расхода алмазов и удельной стоимости коронки относятся к значениям ρ_m от 31 до 54 (гранодиориты, граниты и кварциты, отличающиеся высокими значениями абразивности).

Таблица 23

Горная порода	Механические свойства			Категория бурности по значению R_m	Тип коронки	Режим бурения			Показатели бурения		
	R_m	$K_{об}$	R_m			осевая нагрузка, кгс	скорость вращения, об/мин	количество промывочной жидкости, л/мин	проходка, см	время бурения, мин	механическая скорость бурения, см/мин
Кварцит	8,0	2,80	39	X	O1A3	1200	620	~50	250	67	3,7
Гранит	5,0	2,60	28	IX	O1A3	1200	620	~50	250	47	5,3
Габбро	4,5	2,47	24	IX	O1A3	1200	620	~50	250	39	6,4
Песчаник	5,4	0,93	12	VII	O1A3	1200	620	~50	250	27	9,2
Кварцит	8,0	2,80	39	X	O2И3	1200	620	~50	250	78	3,2
Гранит	5,0	2,60	28	IX	O2И3	1200	620	~50	250	55	4,5
Габбро	4,5	2,47	24	IX	O2И3	1200	620	~50	250	49	5,1
Песчаник	5,4	0,93	12	VII	O2И3	1200	620	~50	250	36	6,9

Примечание. Показатели бурения приведены по данным А. Т. Киселева, И. Н. Круссара и др.

Показательным также является хорошее совпадение последовательности изменения скорости гидроударно-алмазного бурения типичных разностей пород (кварциты, граниты, габбро, песчаники) с их числовыми значениями F_d , $K_{абр}$ и ρ_m (табл. 23).

Из таблицы видно, что последовательность изменения скорости бурения с изменением значений механических свойств пород нарушается лишь для песчаника, который, обладая большей динамической прочностью, чем граниты и габбро, имеет наибольшую скорость бурения. Но если учесть сравнительно низкую абразивность и категорию буримости по значению ρ_m , то эта последовательность восстанавливается, т. е. при гидроударно-алмазном бурении имеют значение как динамическая прочность, так и абразивность пород и объединенный показатель ρ_m . Из таблицы также видно, что скорость бурения однослойными алмазными коронками выше по сравнению с импрегнированными, хотя бурение проводилось в сочетании с гидроударником одинакового типа (ГВ-5).

По данным А. Т. Киселева [17] и других исследователей, наложение на алмазную коронку ударных импульсов позволяет увеличить механическую скорость бурения более чем на 40% и проходку на коронку более чем на 30%.

Т а б л и ц а 24

Порода	Сопротивление пород сдавливанию штампа, кгс/мм ² (метод ВИМС)	Механическая скорость бурения, м/ч
Суглинок	0,04	26,50
Песок с глауконитом	0,07	28,50
Песок	0,10	28,00
Суглинок	0,10	23,00
Песок кварцевый	0,10	26,90
То же	0,10	19,00
Песок	0,10	12,90
Суглинок	0,12	15,20
Глина красно-бурая	0,12	15,00
Мергель слабый	0,16	9,41
Мергель рыхлый	0,25	6,91
Глина песчаная	0,80	6,00
То же	0,84	4,23
	1,20	3,50

Результаты лабораторных исследований были подтверждены производственными данными на большом объеме разведочного бурения по породам V—XII категорий.

Принимая объединенную величину ρ_m для характеристики буримости твердых пород, необходимо определить объективный критерий для классификации нетвердых пород типа песков, глин, суглинков, неплотных мергелей, относящихся по действующей классификации к первым двум категориям. Результаты исследований показывают, что для этого может быть использована твердость по штампу определяемая с помощью штампа-динамометра конструкции ВИМС и на приборе УМПГ-3.

В качестве исходных данных могут быть использованы результаты исследования автора по сопоставлению буримости ребристыми коронками с сопротивлением пород вдавливанию штампа (табл. 24).

§ 3. Разделение горных пород на категории по механическим свойствам

Основываясь на принципах классификации горных пород для разведочного бурения, изложенных выше, автор разработал шкалу по значениям ρ (в кгс/см²) для нетвердых и ρ_m для твердых горных пород (табл. 25). При ее разработке использованы многочис-

Таблица 25

Категория пород по буримости	ρ , кгс/мм ²	ρ_m
I	0,05—0,25	—
II	0,25—1,25	—
III	1,25—6,25	2,0—3,00
IV	—	3,00—4,50
V	—	4,50—6,75
VI	—	6,75—10,10
VII	—	10,10—15,20
VIII	—	15,20—22,80
IX	—	22,80—34,15
X	—	34,15—51,20
XI	—	51,20—76,85
XII	—	76,85 > 115

ленные данные по сопоставлению фактической буримости горных пород с их физико-механическими свойствами.

Подобно существующей шкале по буримости колонковыми снарядами новая шкала имеет вид геометрической прогрессии. Число категорий 12.

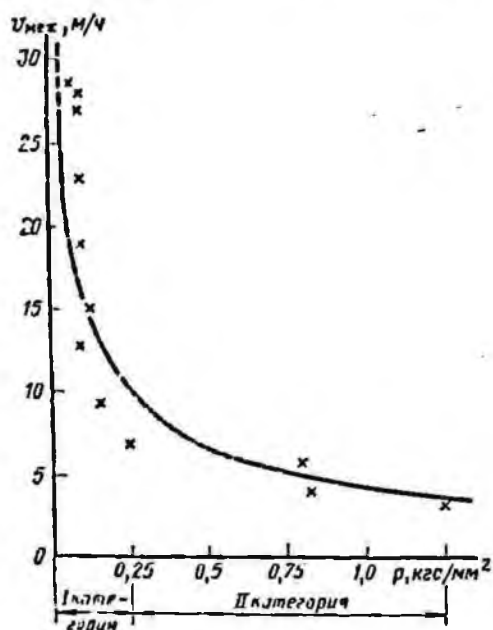


Рис. 18. Зависимость механической скорости бурения от прочности (твердости) мягких пород по методу штампа ρ

Из табл. 25 видно, что породы по значению ρ разбиваются на три категории: первая категория характеризуется значениями ρ от 0,05 до 0,25 кгс/мм², вторая — от 0,25 до 1,25 кгс/мм² и третья — от 1,25 до 6,25 кгс/мм². Показатель прогрессий $q = 5$.

Твердые породы относятся к III—XII категориям с $\rho_m = 2 \div 3$ для III категории и $\rho_m = 76,85 \div 115$ и более для XII категории. Показатель прогрессии $q = 1,5$. Породы III категории могут определяться как по значению ρ (в кгс/мм²), так и по значению ρ_m .

В табл. 26 приведена буримость горных пород различными истирающими материалами, установленная с помощью графиков (рис. 18 и 19), удовлетворяющих формулам:

$$v_{\text{мех}} = k\rho_m^{-\xi}, \quad (24)$$

$$v_{\text{мех}} = k\rho^{-\xi}. \quad (25)$$

Из табл. 26 и рис. 18 и 19 необходимо сделать следующие выводы:

- с увеличением значения ρ (в кгс/мм²) и ρ_m буримость уменьшается;
- относительное превышение скорости бурения различными способами и истирающими материалами может служить основанием для определения рациональных областей их применения;

Категория породы по бурности	Физико-механические свойства		Механическая скорость бурения, м/ч, для разных типов породоразрушающих инструментов						Бурность, м/ч			
	P, кгс/см ²	R _m	твердосплавные коронки			чугунная и стальная дробь-сечка	мелкоалмазные коронки		гидроударники	твердосплавными коронками и стальную дробью (условная)	средняя для скважин глубиной до 1200 м (по БВН 1963 г.)	
			ребристые	мелкорезцовые	самозатачивающиеся		однослойные	многослойные				
I	0,05—0,25	—	19,0—10,0	—	—	—	—	—	—	—	14,50	13,68
II	0,25—1,25	—	10,0—4,0	—	—	—	—	—	—	—	7,00	6,52
III	—	2,0—3,0	—	4,3—3,0	—	—	—	—	—	—	3,65	3,43
IV	—	3,0—4,5	—	3,0—2,4	—	—	—	—	—	—	2,70	2,17
V	—	4,5—6,75	—	2,4—1,8	2,4—1,3	—	—	—	—	—	1,80	1,45
VI	—	6,75—10,12	—	1,8—1,3	1,3—1,0	—	—	—	—	—	1,40	0,97
VII	—	10,12—15,18	—	1,3—0,8	1,0—0,72	0,75—0,55	—	—	—	—	1,00	0,77
VIII	—	15,18—22,77	—	0,8—0,5	0,72—0,53	0,55—0,42	0,9—0,68	0,48—0,45	3,2—1,60	—	0,66	0,51
IX	—	22,77—34,15	—	0,5—0,3	0,53—0,46	0,42—0,30	0,68—0,50	0,45—0,42	1,6—0,84	—	0,40	0,33
X	—	34,15—51,22	—	—	—	0,30—0,23	0,50—0,38	0,42—0,40	0,84—0,43	—	0,26	0,19
XI	—	51,22—76,83	—	—	—	0,23—0,17	0,38—0,30	0,40—0,37	0,43—0,23	—	0,20	0,14
XII	—	76,83—115 и более	—	—	—	0,17—0,12	0,30—0,25	0,37—0,35	—	—	0,14	0,05

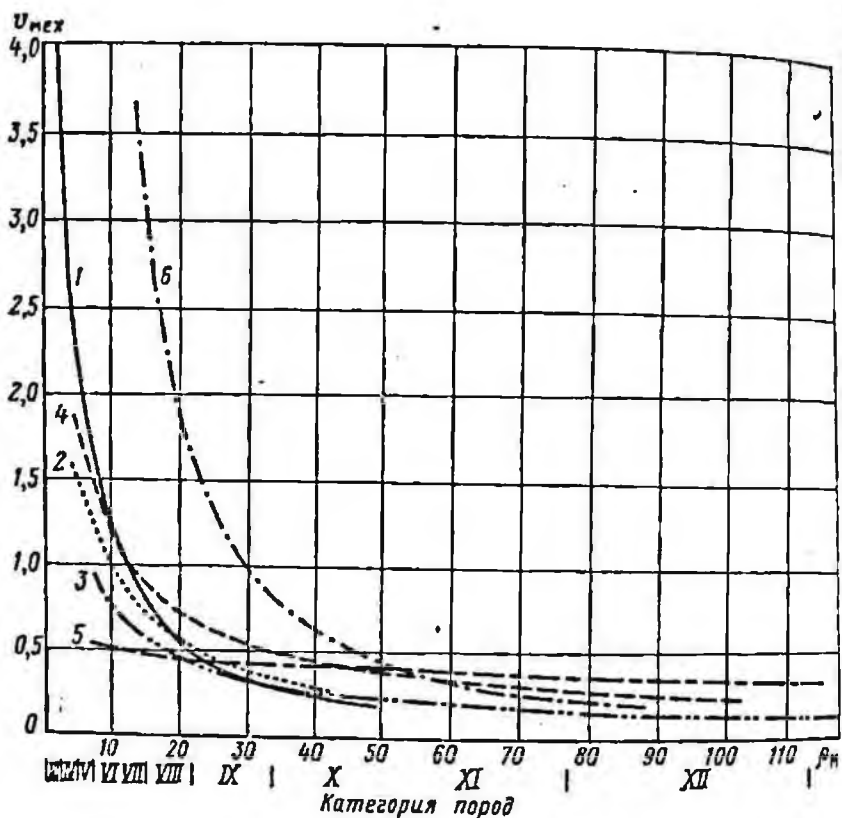


Рис. 19. Зависимость механической скорости бурения от объединенного показателя R_n :

Скорости бурения: 1 — мелкорезцовыми коронками; 2 — самозатачивающимися твердосплавными коронками; 3 — чугунной и стальной дробью-сеткой; 4 — однослойными коронками; 5 — многослойными и импрегнированными коронками; 6 — гидроударниками

в) высокая буримость пород гидроударниками может служить основанием для разработки отдельной шкалы для нормирования этого способа бурения;

г) если для характеристики буримости горных пород отдельных категорий принять данные по механической скорости при бурении дробью, ребристыми, мелкорезцовыми и самозатачивающимися коронками, армированными резцами твердого сплава, то показатели алмазного и гидроударного способов бурения могут служить доказательством наличия большого резерва для повышения производительности труда даже при обычных (практических) режимах бурения.

В табл. 26 приведена средняя буримость (ЕНВ 1963 г.) для глубин скважины до 1200 м с учетом фактических данных. Однако это сравнение условное и дается для самого общего представления, из которого видно, что наибольшее расхождение относится лишь к XI—XII категориям. Повышенная буримость пород этих категорий по шкале физико-механических свойств объясняется тем, что при составлении графиков использована буримость стальной дробью-сечкой, а не буримость чугуновой дробью, отраженная в шкале ЕНВ. Принимая во внимание, что в настоящее время породы XI—XII категорий, как правило, проходятся алмазными коронками, указанным расхождением можно пренебречь.

В дальнейшем с улучшением техники и технологии бурения шкала буримости может изменяться, но шкала классификации по физико-механическим свойствам должна быть постоянной. Это позволит объективно оценивать уровень технического прогресса и совершенствовать производственные процессы.

Применительно к действующей классификации пород по буримости и петрографическому составу предлагаемый метод рекомендуется в качестве объективного способа определения категорий пород.

Предел использования классификации может определяться задачами:

- 1) контрольного определения категорий пород в геологоразведочных партиях и экспедициях;
- 2) оперативного определения категорий пород в партиях и экспедициях, производящих колонковое вращательное бурение.

Задача контрольного определения категорий выполняется в связи с возникновением спорных вопросов выборочного определения категорий пород при большом объеме буровых работ и при составлении обоснованной эталонной коллекции.

Необходимость оперативного определения категорий пород по буримости может возникнуть в связи с проведением в малоизвестном районе работ, где важно будет установить категории всех типичных пород, встречающихся на месторождении. Использование этого метода также целесообразно при малом объеме буровых работ или при проходке скважин в сложном геологическом разрезе при наличии неоднородных пород по составу и механическим свойствам.

§ 4. Определение категорий горных пород в геологоразведочных партиях и экспедициях по физико-механическим свойствам

Механическая прочность нетвердых пород определяется при помощи штамп-динамометра ДМШ-1 конструкции ВИМС и прибора УМПГ-3, динамическая прочность и абразивность твердых пород — на приборах ПОК и ПОАП-2м. Эти величины, как было показано, определяются в полевых условиях геологоразведочных партий в экспедициях.

Таким образом, в основе новой классификации пород будут лежать показатели физико-механических свойств пород, и критерием отнесения их к той или другой категории являются не петрографический признак и буримость, как в действующей классификации, а физико-механические свойства, выраженные ρ (в кгс/мм²) для мягких и ρ_m для твердых горных пород. В этой связи исключается необходимость составления групп пород по петрографическому признаку и использования этого признака для определения их категории, поскольку одна и та же порода по названию может иметь различные показатели физико-механических свойств, а следовательно, и различную буримость. Поэтому во избежание грубых и субъективных ошибок при определении категорий горных пород для разведочного колонкового бурения по петрографическому наименованию пород и буримости предлагается пользоваться для этого показателями физико-механических свойств пород.

В данном случае определение категорий горных пород сведется к установлению значений ρ и ρ_m и категорий пород, отвечающих шкале новой классификации.

Точность метода определения категорий горных пород по буримости на основе параметров абразивности $K_{абр}$ и динамической прочности F_d в объединенном выражении $\rho_m = 3F_d^{0.8} K_{абр}$ зависит от стабильности измерения указанных величин.

Лабораторные исследования показали, что точность определения достаточно высокая. Коэффициент вариации показателей динамической прочности и абразивности не превышает 10,3%. Минимальные и максимальные значения ρ_m для исследованных трех пород (известняк, базальт, гранит) колеблются от среднего значения на 6—8%.

Основные положения метода отражены в литературе [27].

В настоящее время разработан стандарт на метод контрольного определения категорий пород по буримости для вращательного бурения (ОСТ 41—89—74).

Ниже описывается метод контрольного определения категорий пород по буримости для вращательного бурения в соответствии с основными положениями стандарта.

Метод распространяется на горные породы V—XII категорий буримости для вращательного бурения, применительно к общепринятой классификации*.

Результатами опытной эксплуатации установлено, что такие породы, как мел, мергель, каолин, аргиллит, слабый алевролит, боксит, талько-магнезит, бурый уголь, нетвердые железные руды, при определении их динамической прочности обнаруживают большую остаточную деформацию. На указанные породы метод не должен распространяться. По этой причине метод не распространяется и на первые четыре категории, представленные нетвердыми породами. Метод также не рекомендуется распространять на каменные угли, отличающиеся высокой степенью дробимости, которая определяется по ГОСТ 15490—70.

Отбор образцов Образцы отбираются из керна горных пород, полученного при бурении вращательным способом: их длина 20—25 см при бурении коронками диаметром 46—59 мм и 15—18 см при бурении коронками диаметром 76—92 мм.

Подготовка проб из образцов осуществляется в следующем порядке: 1) испытуемый образец породы разбивается на куски изометрической формы без острых углов размером 1,5—2,0 см в поперечнике; 2) набираются две пробы, каждая из которых состоит из 25 кусков и разделяется на пять частей по пять кусков.

Аппаратура При определении категорий пород применяются: прибор определения динамической прочности (крепости) горных пород ПОК; прибор определения абразивности горных пород ПОАП-2м; весы типа ВР-5.

1. *Прибор ПОК* для определения динамической прочности пород состоит из трубного копра (рис. 20) и объемомера (рис. 21). Составными частями трубного копра

* Единые нормы времени. М. Гостехиздат, 1963. 19 с.

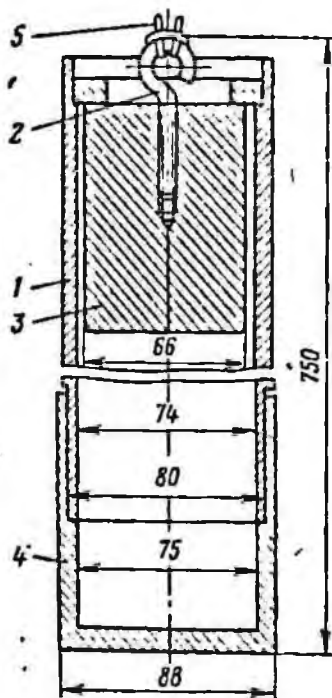


Рис. 20. Схема прибора ПOK для определения динамической прочности (крепости) горных пород

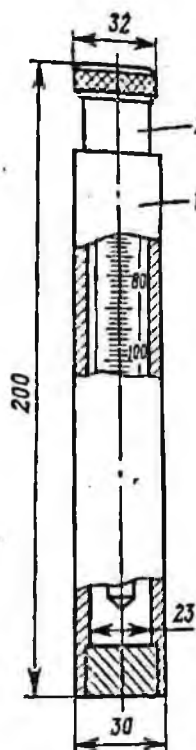


Рис. 21. Схема объемомера

являются труба 1, крюк 2, гиря 3, стакан 4 и трос 5. Объемомер состоит из трубы 1 и цилиндра 2.

Прибор определения абразивности горных пород ПОАП-2м описан в главе I. Общий вид приведен на рис. 22.

2. Весы типа ВР-5, предназначенные для определения потери веса эталонного материала при установлении абразивности пород с требуемой точностью.

3. Дробь № 4 ОТ-I диаметром 3,25 мм по ГОСТ 7837-55. При отсутствии дроби № 4 можно применять дробь № 5 диаметром 3,0 мм марки ОТ-I или дробь № 3 диаметром 3,5 мм марки ОТ-II. Однако количество дробинок в опыте будет различным. Правила подбора их описаны ниже.

4. Порошок электрокорундовый № 12 по ГОСТ 3647-71.

5. Загрузочные цилиндры (рис. 23) из стекла органического СОЛ по ГОСТ 15809-70 — 18 шт. (6 — для

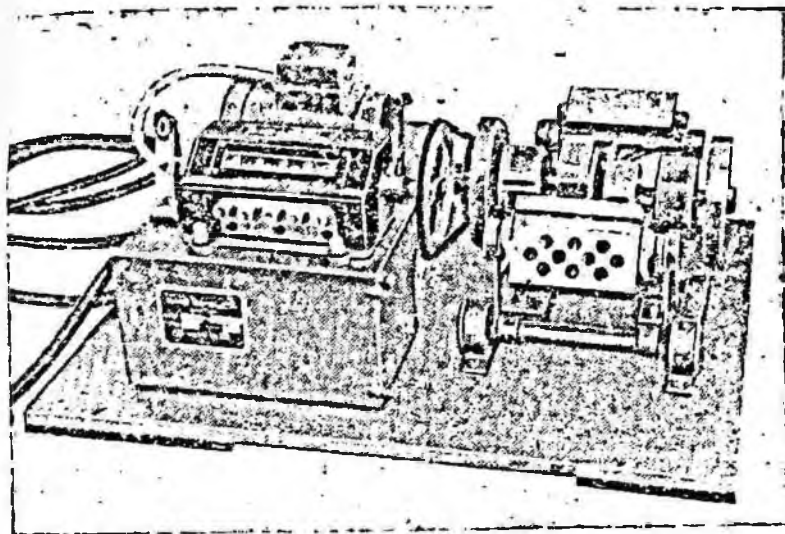


Рис. 22. Общий вид прибора ПОАП-2м

проведения опыта, 6 — для промывки дроби после опыта, 6 — запасные).

6. Сито из сетки № 5 по ГОСТ 3826—66.

7. Мерка емкостью 1 см³.

Кроме перечисленных принадлежностей, необходимо на месте работ приобрести или изготовить: молоток, совок, лоток с шестью ячейками для дроби, ерш для очистки загрузочных цилиндров, чашку для промывки дроби, подставку для загрузочных цилиндров, пластинку, лопаточку, штангенциркуль ГОСТ 166—73.

Подготовка к испытанию

Дробь протирают сухим хлопчатобумажным материалом. Дробинки неправильной формы (сплюснутые, вытянутые и т. п.) отбраковываются. Для подбора дробинки в навеске заготавливают шесть навесок по 21 дробинке диаметром 3,25 мм или 26 дробинки диаметром 3,0 мм, или 14 дробинки диаметром 3,5 мм. Повторное использование дроби запрещается. Каждую навеску дроби взвешивают. Массу дроби при каждом взвешивании следует определять с точностью до 10 мг.

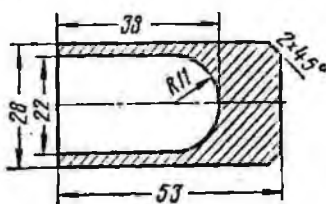


Рис. 23. Загрузочный цилиндр

В каждый загрузочный цилиндр загружают навеску дробь и 1 см^3 электрокорундового порошка.

Загрузочные цилиндры с дробью и электрокорундовым порошком помещают в прибор ПОАП-2м и включают его на 20 мин, при этом электродвигатель должен совершить 28 000 оборотов, которые контролируются счетчиком прибора.

Каждую навеску дробь после указанного опыта помещают в сосуд с водой и после перемешивания (сплоаскивания) извлекают и вытирают насухо чистым хлопчатобумажным материалом.

Промытую дробь взвешивают. Потеря массы дробь каждой пробирке должна быть 200 ± 10 мг. В случае отклонения потери массы дробь от указанного, необходимо изменить количество дробинки в навеске и повторить работы вновь.

Проведение испытаний

Каждую часть пробы, состоящую из пяти кусков, помещают в стакан прибора ПОК и проводят 10 сбрасываний гири массой 2,4 кг с высоты 600 мм (груз поднимается до упора). Продукт разрушения всех пяти частей каждой пробы породы просеивается через сито с размером стороны ячейки в свету 0,5 мм. Прошедшую через сито фракцию 0,5 мм и менее ссыпают в трубу объеммера (см. рис. 21). В трубу свободно вставляют до упора цилиндр и снимают отсчет h по шкале цилиндра в мм.

Раздробленную горную породу фракции 0,5 мм и менее высыпают из объеммера на лист чистой бумаги и перемешивают по методу кольца и конуса. Процесс перемешивания повторяют два—три раза для получения однородной среды. Из противоположных частей диска отбирают две пробы объемом 1 см^3 каждая.

Загрузочные цилиндры с дробью и пробами помещают в прибор ПОАП-2м и включают на 20 мин. Для промывания дробь каждую навеску помещают в чистые загрузочные цилиндры, заполненные на $\frac{2}{3}$ объема водой. Загрузочные цилиндры с дробью и водой помещают в прибор ПОАП-2м и включают его на 5 мин. Промытую дробь протирают сухим хлопчатобумажным материалом, взвешивают каждую навеску и определяют потерю массы дробь Q (мг).

Протокол испытаний составляется по форме, указанной в табл. 27.

Протокол испытаний № _____

1 Номер образца	2 Наименование породы в краткой литолого-петрографическая характеристика	3 Номер скважины	4 Интервал бурения, м			5 [Отсчет по шкале диаметра объема-мера h , мм			6 Коэффициент динамической прочности			7 Потеря массы Q , мг			8 Коэффициент абразивности K_{abr}					23 Объединенный показатель R_m	24 Категория пород по показателю R_m	25 Примечание																	
			от	до	всего	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8																				
						1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

Т а б л и ц а
(Справочная)

F_d	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1,	1,00	1,08	1,16	1,23	1,31	1,38	1,46	1,53	1,60
2,	1,74	1,81	1,88	1,95	2,02	2,08	2,15	2,21	2,28
3,	2,41	2,47	2,54	2,60	2,66	2,73	2,79	2,85	2,91
4,	3,03	3,09	3,15	3,21	3,27	3,33	3,39	3,45	3,51
5,	3,62	3,68	3,74	3,80	3,85	3,91	3,97	4,02	1,08
6,	4,19	4,25	4,30	4,36	4,42	4,47	4,53	4,58	4,63
7,	4,74	4,80	4,85	4,91	4,96	5,01	5,07	5,12	5,17
8,	5,28	5,33	5,38	5,44	5,49	5,54	5,59	5,64	5,70
9,	5,80	5,85	5,90	5,95	6,01	6,06	6,11	6,16	6,21
10,	6,31	6,36	4,41	6,46	6,51	6,56	6,61	6,66	6,71
11,	6,81	6,86	6,91	6,96	7,01	7,06	7,11	7,16	7,23
12,	7,30	7,35	7,40	7,45	7,49	7,54	7,59	7,64	7,69
13,	7,78	7,83	7,88	7,93	7,98	8,02	8,07	8,12	8,16
14,	8,26	8,31	8,35	8,40	8,45	8,49	8,54	8,59	8,63
15,	8,73	8,77	8,82	8,87	8,91	8,96	9,01	9,05	9,10
16,	9,19	9,23	9,28	9,33	9,37	9,42	9,46	9,51	9,55
17,	9,65	9,69	9,74	9,78	9,83	9,87	9,92	9,96	10,0
18,	10,1	10,1	10,2	10,2	10,3	10,3	10,4	10,4	10,5
19,	10,5	10,6	10,6	10,7	10,7	10,8	10,8	10,9	10,9
20,	11,0	11,0	11,1	11,1	11,2	11,2	11,3	11,3	11,3
21,	11,4	11,5	11,5	11,6	11,6	11,7	11,7	11,7	11,8
22,	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2
23,	12,3	12,3	12,4	12,4	12,5	12,5	12,5	12,6	12,6
24,	12,7	12,8	12,8	12,8	12,9	12,9	13,0	13,0	13,1
25,	13,1	13,2	13,2	13,3	13,3	13,3	13,4	13,4	13,5
26,	13,6	13,6	13,6	13,7	13,7	13,8	13,8	13,9	13,9
27,	14,0	14,0	14,1	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3
28,	14,4	14,4	14,5	14,5	14,5	14,6	14,6	14,7	14,7
29,	14,8	14,8	14,9	14,9	15,0	15,0	15,0	15,1	15,1
30,	15,2	15,2	15,3	15,3	15,4	15,4	15,4	15,5	15,5
31,	15,6	15,6	15,7	15,7	15,8	15,8	15,8	15,9	15,9
32,	16,0	16,0	16,1	16,1	16,2	16,2	16,2	16,3	16,3
33,	16,4	16,4	16,5	16,5	16,6	16,6	16,6	16,7	16,7
34,	16,8	16,8	16,9	16,9	17,0	17,0	17,0	17,1	17,1
35,	17,2	17,2	17,3	17,3	17,4	17,4	17,4	17,5	17,5
36,	17,6	17,6	17,7	17,7	17,8	17,8	17,8	17,9	17,9
37,	18,0	18,0	18,1	18,1	18,1	18,2	18,2	18,2	18,3
38,	18,4	18,4	18,4	18,5	18,5	18,6	18,6	18,6	18,7
39,	18,8	18,8	18,8	18,9	18,9	18,9	19,0	19,0	19,1
40,	19,1	19,2	19,2	19,2	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4

Определение
категорий пород

Коэффициент динамической проч-
ности пород F_d определяют по фор-
муле

$$F_d = \frac{20n}{h} = \frac{200}{h},$$

где $n=10$ — число сбрасываний гири на приборе ПОК;
 h — отсчет по шкале цилиндра объемомера в мм.
Коэффициент абразивности $K_{абр}$ исследуемой породы
определяют по формуле

$$K_{абр} = \frac{Q}{100},$$

где Q — потеря массы дроби в мг.

Коэффициенты динамической прочности и абразивно-
сти определяются по двум пробам. За средние значения
 F_d или $K_{абр}$ принимаются среднеарифметические двух
определений при условии:

$$z = \frac{x_1 - x_2}{(x_1 + x_2)/2} 100 \leq 25\%, \quad (26)$$

где x_1 и x_2 — значения двух определений F_d или $K_{абр}$.
При отклонении от приведенного условия проводятся
дополнительные определения. Из полученных значений
 F_d или $K_{абр}$ выбираются те два, для которых z отвечает
приведенному условию и меньше по величине.

Для расчета рекомендуется использовать справочную
таблицу значений $F_d^{0,8}$ (табл. 28). Объединенный пока-
затель определяется по формуле $\rho_m = 3F_d^{0,8}K_{абр}$ или по
номограмме (см. рис. 15).

Категорию пород по буримости определяют по значе-
нию из табл. 29.

Т а б л и ц а 29

Категория пород по буримости	ρ_m	Категория пород по буримости	ρ_m
V	4,5—6,8	IX	22,9—34,2
VI	6,9—10,1	X	34,3—51,2
VII	10,2—15,2	XI	51,3—76,8
VIII	15,3—22,8	XII	>76,8

Описанные методика и аппаратура были апробирова-
ны длительными испытаниями и опытной эксплуатацией

по приказу Министерства геологии СССР в 10 геол. разведочных экспедициях. В ходе этих работ были введены сравнения определений категорий пород по методу ЦНИГРИ и по данным геологов. В итоге было установлено завышение категорий геологами по сравнению с уточненными категориями и возможное снижение стоимости разведочного бурения на 1,233 млн. руб. в год. Если учесть завышения категорий геологами независимо от уточнений категорий, то возможная экономия составит выразится в сумме около 6,5 млн. руб. в год.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОСНОВЫ КЛАССИФИКАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ

§ 1. Количественная характеристика состояния горной породы в предразрушающую стадию при ударных нагрузках

Исследованиями ударно-вращательного способа бурения установлено, что эффективность разрушения горных пород повышается с увеличением энергии единичного удара. С повышением частоты приложения нагрузки эффективность их разрушения увеличивается вследствие развития усталостных явлений в породе, связанных с расшатыванием ее структуры по слабым местам — дефектам (плоскости спайности в породоразрушающих минералах, микротрещины, пустоты и т. п.).

При разработке существующих забойных машин ударно-вращательного действия используются оба фактора, повышающих скорость бурения, — увеличение энергии единичных ударов и частоты приложения нагрузки. Однако при бурении твердых и очень твердых пород повышение энергии ударов вызывает их сильное дробление и уменьшение выхода керна. Этому также препятствует недостаточная износостойкость твердосплавных резцов в коронке. Поэтому при создании буровых машин для ударно-вращательного бурения стремились к увеличению частоты при достаточно большой энергии единичных ударов [52]. При этом повышаются производительность и качество бурения. Этот принцип осуществлен в магнестрикторной буровой установке конструкции ВИТР и в гидроударных машинах ГВ-5 и ГВ-6 конструкции СКБ Министерства геологии СССР. Эти машины имеют сравнительно высокую частоту (20,0—3,0 тыс. ударов/мин) при энергии ударов 6,0—1,8 кгс·м соответственно.

Производительность указанных машин высокая вследствие высокочастотных ударов и усталостного разрушения породы..

В этой связи возник вопрос о методе определения усталостных свойств материала и количественного

определения состояния горной породы в предразрушающую стадию при критических и многократно повторяющихся ударах по ней.

П. В. Пономаревым было показано, что при длительном приложении знакопеременной нагрузки происходит изменение структуры материала, которое можно регистрировать по изменению коэффициента поглощения продольных ультразвуковых волн.

Опыты проводились на образцах кварцита, гранита, кварца, песчаника, стекла, стали, меди, алюминия.

В работе [48] отражены результаты исследования усталостных свойств известняков, песчанков, трахитов и цементного камня; при этом результаты исследования сводились в основном к математическим методам анализа и к визуальному наблюдению за появлением трещин в образце в результате деформации.

Более детально изучены усталостные свойства металлов, где выработаны и методы количественной оценки.

Наши исследования проводились на 11 образцах горных пород осадочного, изверженного и метаморфического происхождения. Образцами для исследования служили цилиндры размером 30—32 мм по диаметру высоте.

Образцы подвергались воздействию ударов бойка при помощи копра Педжа с энергией единичных ударов от 0,1 до 1,6 кгс·м. Состояние образца породы до опыта и после него определялось по изменению газопрооницаемости, скорости продольных ультразвуковых волн и динамическому модулю упругости*.

Газопрооницаемость определялась на приборе конструкции Закса. Прибор и метод измерения описаны в главе I. Скорость продольных ультразвуковых волн (в м/с) устанавливали при помощи импульсной аппаратуры (ИПА) и по формуле

$$v = l/t \cdot 10^{-6},$$

где l — длина образца породы.

Динамический модуль упругости (в кгс/см²) находят из выражения:

$$E = \frac{v^2}{\sigma \cdot 10^5},$$

* Экспериментальные работы выполнялись при участии сотрудников лаборатории А. С. Осипова, Е. В. Варфоломеевой, А. П. Угарова

где v — скорость продольных волн; σ — средняя пластичность.

Число образцов (цилиндров) для испытания колебалось в пределах 3—5 для каждой породы.

Образцы пород испытывались при энергии удара, близкой к критической (при 1—2 ударах), и при нагрузке, вызывающей усталостное напряжение в образце. Испытанию пород при нагрузке, близкой к критической, предшествовали предварительные опыты по ее установлению, а испытание пород в усталостном режиме проводилось при нагрузке 0,1—0,4 кгс.

После каждого удара бойка по образцу породы измеряли площадь отпечатка на его поверхности, образованного в результате сминания пород под ударной нагрузкой бойка. Это позволило определять удельную энергию удара при разрушении образца породы в кгс·м/мм². Результаты исследований пород при энергии удара, близкой к критической, приведены в табл. 30.

Из табл. 30 видно, что критическая энергия удара разрушения пород различна и колеблется от 0,3 для мрамора до 1,6 кгс·м для базальта и кварцита. Удельная энергия изменяется от 0,007 для доломита до 0,1 кгс·м/мм² для кварцита. Остальные занимают промежуточное положение. Типичные породы типа гранит, альбитофир, габбро, песчаник разрушаются при удельной энергии удара 0,02—0,04 кгс·м/мм².

Результаты испытания пород при многократно повторяющихся ударах в усталостном режиме приведены в табл. 31.

Рассмотрим группы пород, испытанных при одинаковой энергии единичных ударов: 0,2 кгс·м (песчаник крупнозернистый, альбитофир розовый); 0,3 кгс·м (песчаник мелкозернистый, габбро); 0,4 кгс·м (гранит, песчаник среднезернистый); 0,6 кгс·м (кварцит, базальт).

Из первой группы пород наиболее хрупким оказался песчаник крупнозернистый. В противоположность альбитофиру он разрушился при девяти ударах против 80. Породы второй группы близки породам первой по сопротивлению разрушению, однако песчаник разрушился при семи ударах, а габбро при 10.

В третьей группе пород более хрупким оказался гранит, разрушившийся при четырех ударах, а песчаник при восьми.

Таблица 31

№ образца	Порода	Энергия удара разрушения, кгс·м	Площадь отпечатка бойка, см²	Удельная энергия удара, кгс·м/мм²	Газопроницаемость, см³/мд	
					до опыта	после разрушения
1	Кварцит шокшинский	1,6	15,9	0,1	4,0	6,3
20	Альбитофир розовый	0,4	4,9	0,08	41,0	48
1	Базальт	1,6	10,7	0,07	17,0	21
6/4	Гранит	1,2	15,2	0,04	11,0	12
212	Альбитофир выветрелый	0,4	9,1	0,04	283	315
163	Песчаник среднезернистый	1,0	14,5	0,03	18,0	22
21	Габбро	1,2	31,1	0,02	32,0	42
174	Алевролит	0,6	32,5	0,01	4,0	6,0
166	Доломит	0,4	50,2	0,007	22,0	20,0
с.	Мрамор	0,3	15,2	0,006	35,0	55,0
165	Известняк	0,4	58,0	0,003	23,0	25,0
					0,0011	1,0,001

Породы четвертой группы также близки породам в других группах по результатам испытания. Тем не менее базальт оказался более прочным. Он разрушился при 10 ударах, а кварцит при шести.

Из всех рассмотренных примеров более типичным для усталостного разрушения является альбитофир розовый. Для его разрушения потребовалось 80 ударов при этом удельная энергия удара, при которой разрушился образец, оказалась равной 0,006 кгс·мм².

Таблица 31

№ образца	Порода	Энергия единичного удара, кгс·м	Число ударов до разрушения	Общая энергия ударов, кгс·м	Площадь отпечатка бойка, мм²	Удельная энергия ударов, кгс·м/мм²	Газопроницаемость, см³/мд	
							до опыта	после разрушения
163(2)	Песчаник крупнозернистый	0,2	9	1,8	36	0,055	390	375
I	Кварцит	0,6	6	3,6	20,4	0,03	0,1327	0,1276
III	Базальт	0,6	10	6,0	16,6	0,03	5,0	7,0
6/4	Гранит	0,4	4	1,6	14,5	0,02	0,00025	0,00035
150	Песчаник мелкозернистый	0,3	7	2,1	15,9	0,018	10,0	25,0
22	Песчаник среднезернистый	0,4	8	3,2	40	0,009	0,0005	0,001
20	Альбитофир розовый	0,2	80	16,0	29,2	0,006	10,0	10,0
21	Габбро	0,3	10	3,0	30,2	0,003	49	47
213	Альбитофир выветрелый	0,1	10	1,0	51,5	0,002	75	155
174	Алевролит	0,2	64	12,8	100	0,002	5,0	5,5
105	Известняк (слабый)	0,1	н	0,н	н	0,001	0,0001	0,0001

Для некоторых пород разрушение происходит через стадию уплотнения. Об этом свидетельствует количественная характеристика газопроницаемости до опыта и перед разрушением образца. Особенно показательными в этом отношении являются песчаники мелко- и среднезернистые.

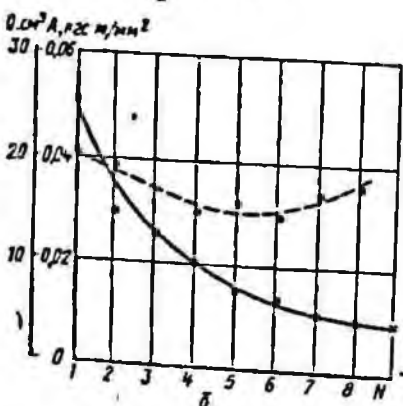
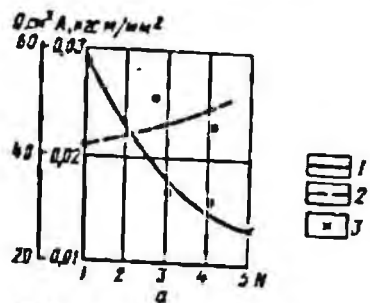


Рис. 24. Кривые результатов испытаний габбро (а) и среднезернистого песчаника (б) при динамической нагрузке 0,4 кгс·м:

1 — усталостная кривая разрушения породы при удельной нагрузке A ; 2 — газопроницаемость породы; 3 — момент разрушения породы

Первоначальная газопроницаемость мелкозернистого песчаника равнялась 6 см^3 . Затем после первых пяти ударов она уменьшалась до $4,5 \text{ см}^3$, а перед разрушением составила 6 см^3 .

В среднезернистом песчанике первоначальная газопроницаемость была $20,5 \text{ см}^3$. После четырех ударов она уменьшилась до 15 см^3 и перед разрушением составила $18,5 \text{ см}^3$ (рис. 24).

Разрушение песчаника вследствие уплотнения может быть объяснено сокращением порового пространства породы под влиянием ударных нагрузок. То же самое можно сказать о результатах испытания слабых известняков, когда после первых трех ударов газопроницаемость уменьшилась

с 18 до 16 см^3 , а затем повысилась и перед разрушением составила 23 см^3 (рис. 25). В изверженных породах кристаллической структуры стадия уплотнения не отмечается или выражена очень слабо. Что касается показателя газопроницаемости пород перед разрушением, то в 10 случаях из 11 (табл. 30) она повышалась. Это можно объяснить образованием трещин и расшатыванием структуры породы по плоскостям спайности породообразующих минералов.

Для характеристики механизма разрушения исследо-

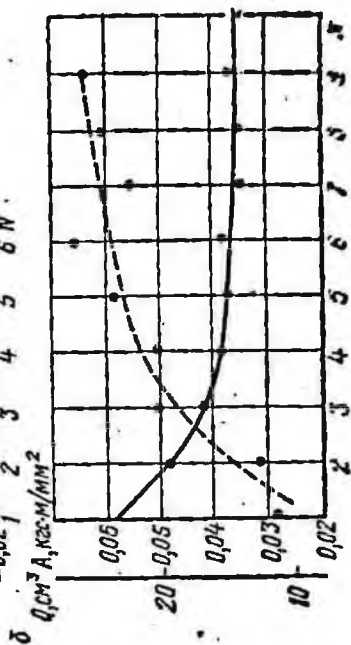
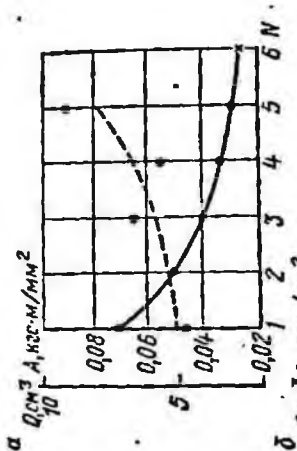


Рис. 20. Кривые регулятора испаряющей смеси (а) и балласта (б) при динамической нагрузке (16 кгс-м) (показание 14 мм. мм на рис. 21)

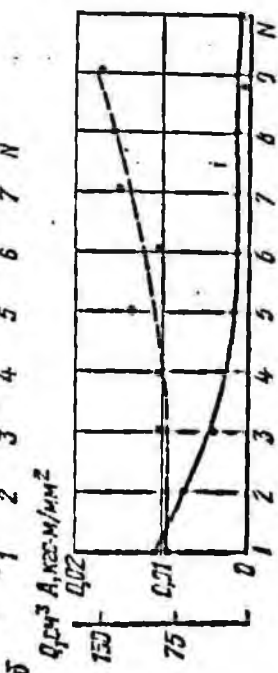
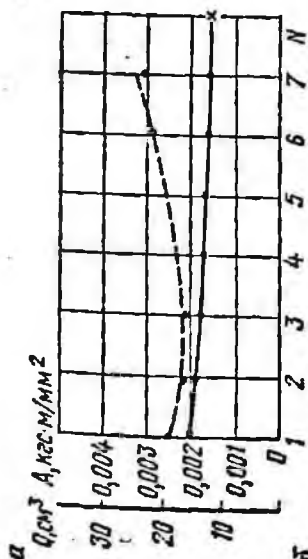


Рис. 21. Кривые регулятора испаряющей смеси (а) и балласта (б) при динамической нагрузке (16 кгс-м) (показание 14 мм. мм на рис. 21)

ванных пород на рис. 26 приведены результаты испытаний кварцита и базальта при энергии единичных ударов 0,6 кгс-м. Количество ударов до разрушения составило 6 для кварцита и 10 для базальта. При меньших значениях энергии ударов 0,4 кгс-м для кварцита и 0,5 кгс-м для базальта количество ударов при испытании возросло. Кварцит разрушился при 84 ударах, базальт при 21 ударе. Отсюда удельная энергия удара разрушения 0,005 и 0,025 кгс-м/мм² соответственно.

Для менее прочных пород — песчаника среднерезистого и габбро энергия удара 0,4 кгс-м — была достаточна для разрушения габбро при пяти ударах и песчаника при девяти (см. рис. 24).

Еще более слабые породы (неплотный известняк и известняк альбитофир) разрушились при 8—10 ударах с энергией удара 0,1 кгс-м (см. рис. 25).

Полученные данные о сопротивляемости пород при одно- и многократно повторяющихся ударах на копке Педж представляют интерес для сопоставления с условиями, при которых бурят пневмоударниками.

По данным Н. В. Куликова, удельная энергия единичных ударов на 1 см длины лезвия реза колеблется от 2 до 3 кгс-м или от 0,05 до 0,08 кгс-м/мм² с учетом числа резцов в коронке и их скоростной площади.

Сравнивая (условно) полученные данные о критической удельной энергии удара при разрушении пород (гранит, альбитофир, габбро, кварцит) при испытании на копке Педжа (0,02—0,1 кгс-м/мм²) с удельной энергией единичных ударов при пневмоударном бурении, необходимо предположить, что процесс разрушения большинства пород пневмоударником происходит при энергии удара, близкой к критической (табл. 30). Исключением, возможно, являются породы типа шок-шпильских кварцитов, разрушающиеся в усталостном режиме.

При пневмоударном бурении, как и при ударах бойка в породе, на забое образуется зона предразрушения с признаками нарушения ее сплошности вследствие образования микротрещин. Это, конечно, положительно сказывается на эффективности разрушения породы при бурении. Образование микротрещин в предзабойной части скважин было установлено исследованием керна из забоя скважины, пробуренной пневмоударником и магнитостриктером.

Результаты исследования гранита после бурения пневмударником приведены в табл. 32.

Таблица 32

№ образца	Высота образца (база измерения), мм	Расстояние от поверхности забоя скважины, мм	Скорость продольных волн вдоль керна, м/с	Газопроницаемость (количество вытесняемой жидкости), см ³	Энергия взрывчатых веществ, кгс·м
Эталон	15	—	3494	1,0	—
2/2	15	15	2640	—	13—14
2/2	30	45	3336	—	13—14
8/1	15	15	2628	—	13—14
8/1	30	45	3160	—	13—14
6	30	30	3170	—	23—25
6/1	30	60	2444	—	23—25
5	15	15	2683	10,0	25—30
5/1	30	45	3136	2,0	25—30

Из табл. 32 видно, что наибольшие нарушения приходятся на первые 15 мм глубины забоя скважины. Об этом можно судить по скорости продольных волн и по газопроницаемости. С удалением от забоя скважины на расстояние до 30—60 мм скорость продольных волн увеличивается и газопроницаемость уменьшается. Аналогичные исследования были выполнены на породах после бурения магнитостриктером. Здесь базой служили образцы гранита толщиной 50—57 мм, характеризующие призабойную часть скважины. Результаты измерения приведены в табл. 33.

Таблица 33

№ образца	База измерения, мм	Скорость продольных волн, м/с		Динамический модуль упругости $E \cdot 10^4$, кгс/см ²	
		в 100 мм от забоя скважины (база измерения 52 мм)	под забоем скважины	в 100 мм от забоя скважины (база измерения 52 мм)	под забоем скважины
I	57	3714	3415	5,28	4,45
II	50	3714	3125	5,28	4,02

Из табл. 33 видно, что скорость продольных волн для образцов гранита из призабойной части (под забоем скважины) меньше по сравнению со скоростью волн в

удалении от скважины. Таким образом, налицо влияние высокочастотных ударов магнитоотриктора на породы в пределах исследованных участков.

Сравнивая показатели замера скорости продольных волн в гранитах после бурения пневмоударником и после бурения магнитоотриктором для близких баз измерения (45—60 мм и 50—57 мм), можно отметить близость их значений (3136—3444 и 3125—3415 м/с соответственно). Надо полагать, что на меньшем удалении от поверхности забоя скважины (10—15 мм) нарушение породы после бурения магнитоотриктором будет больше, чем после бурения пневмоударником, в результате высокой частоты ударов (20 000 ударов против 2000 ударов в 1 мин соответственно).

В итоге исследований было установлено, что для количественной характеристики состояния горной породы при ударных нагрузках могут применяться методы определения газопроницаемости, скорости продольных волн и динамического модуля упругости. Однако наиболее чувствительным является метод определения газопроницаемости.

§ 2. Установление физико-механических свойств горных пород, существенно влияющих на буримость при ударно-вращательном способе разрушения пород

В ходе исследований определены многие механические свойства более чем 400 разновидностей горных пород с последующим сопоставлением их значений с показателями бурения гидроударниками и частично пневмоударниками.

На основе корреляционных диаграмм сопоставления физико-механических свойств пород с их буримостью установлено, что для некоторых пород получен большой разброс данных, не позволяющий даже провести усредняющие кривые. Такие результаты были получены при сопоставлении буримости гидроударником с твердостью пород по резанию на приборе «ОТ» конструкции ВИТР; дробимостью по методу проф. А. И. Барона; удельной ударной вязкости при дроблении (метод ЦНИГРИ) и при изгибе на удар; механической прочностью на одноосное сжатие; абразивностью пород в монолите; акустической жесткостью пород.

№ образца	Порода	Механические свойства				Скорость бурения гидроударником, м/ч	Петрографический состав пород, %
		F_{10}^* , л/мм	К _{абр}	Q, мг	$R_{ш}$, кгс/мм ²		
1052	Диоритовый порфирит	9,09	1,85	—	—	0,20	Плагиоклаз (75), пироксен (15), эпидот (1), хлорит и карбонат (2—3)
962	Туф андезитового порфирита	10,52	0,90	59,4	—	1,03	Плагиоклаз (68), кварц (4—5), хлорит (15—17), карбонат (1—2), эпидот (2—3), рудный (5)
960	Диоритовый порфирит скарнированный	9,09	1,12	50,5	383	1,27	Плагиоклаз (74), пироксен (15), эпидот (3—4), хлорит (2), рудный (1—2), карбонат (1—2)
964	Туф андезитового порфирита	10,00	1,00	—	274	1,34	Плагиоклаз серицитизированный (88), карбонат (3—5), хлорит (2), рудный (2—3)
1045	Плагиоклазовая порода, сильно измененная и оруденелая	9,0	0,52	40,3	235	1,66	Плагиоклаз серицитизированный (76), эпидот (5—6), рудный (10—12), хлорит (3—4), карбонат (1—2)

Меньший разброс данных имеется при сопоставлении буримости с динамической прочностью по методу толчения и с твердостью по методу вдавливания штампа

Анализ полученных данных показал, что при объяснении буримости гидроударником и другими видами ударно-вращательного бурения нельзя обойтись одним каким-либо механическим свойством — твердостью, механической прочностью или абразивностью.

В табл. 34 сопоставляются буримости пород № 1052, 962, 960, 964, 1045 с динамической прочностью около 10. Оказалось, что разброс данных по скорости бурения при близкой динамической прочности объясняется существенным отличием пород по абразивности. При этом породы, в которых изменение породообразующих минералов плагноклаза и пироксена было незначительным (№ 1052), проявляют более высокие абразивные свойства и более низкую буримость. Породы с сильной серицитизацией, хлоритизацией и карбонатизацией указанных минералов (№ 1045) имеют низкую абразивность и высокую буримость. Увеличение буримости в зависимости от уменьшения абразивности пород (по двум методам) подтверждается и данными о твердости пород по методу вдавливания штампа. Параллельно с увеличением буримости пород уменьшается их твердость.

Часто сравнивают показатели бурения с твердостью пород. Однако применительно к ударно-вращательному бурению этого свойства также недостаточно для объяснения буримости.

При сопоставлении скорости бурения гидроударником и твердости пород по методу резания был установлен значительный разброс данных (коэффициент корреляции 0,42). Это можно объяснить различием механизма разрушения пород при резании на приборе «ОТ» и при бурении гидроударником. В последнем случае преобладает процесс скалывания и дробления пород под влиянием динамических нагрузок (импульсов) гидроударника или пневмоударника.

Данные сопоставления твердости, динамической прочности и буримости пород, имеющих близкую твердость в образцах № 1045, 960, 1048, 963, 955а, 955б, 967 (2,79—3,30 мм), но различную буримость (0,16—1,66 м/ч), показали, что без учета динамической проч-

Петрографический состав, %

№ образца	Порода	Твердость породы, мм	Динамическая прочность, F_d , т/мм	Скорость бурения, м/ч		Петрографический состав, %
				гидроударником (средние скорости по производственным данным)	мелкоалмазными коронками импрегнированными начальными скоростями по лабораторным данным)	
1045	Плагиоклазовая порода, измененная и оруденелая	3,30	3,09	1,66	3,17	Плагиоклаз (76), эпидот (5), рудный (10-12), карбонат (1), хлорит (3-4)
960	Диоритовый порфирит, скарнированный	3,06	9,09	1,27	3,60	Плагиоклаз (74), рудный (1-2), пироксен (15), карбонат (1-2), эпидот (3-4), хлорит (2-3)
1048	Плагиоклазовый порфирит, сильно измененный	2,91	18,18	0,96	2,68	Плагиоклаз (81), хлорит (1-2), карбонат (8-10), рудный (1-2), серпичр (5-6)
963	Андезитовый порфирит, альбитизированный и эпидотизированный	3,15	14,29	0,90	0,71	Плагиоклаз (85), кварц (2-3), пироксен (1-2), рудный (5-8), эпидот (3), карбонат (1)
955-а	Диоритовый порфирит, скарнированный	2,84	21,11	0,62	2,32	Плагиоклаз (73), рудный (8-10), сосоритизированный пироксен (10), карбонат (1-2), докзит (2-3)
955-б	То же	2,96	20,00	0,30	3,18	Плагиоклаз (80), эпидот (6-7), сосоритизированный хлорит (2-3), пироксен (3-4), рудный (1-2)
967	Плагиоклазовый порфирит, скарнированный	2,79	26,79	0,16	2,68	Плагиоклаз (84), серпичит (3-4), пироксен (4-5), эпидот (7-8)

ности пород нельзя получить удовлетворительного объяснения буримости гидроударником (табл. 35).

При сопоставлении твердости пород с механической скоростью мелкоалмазными коронками импрегнированного типа (табл. 35) видно, что буримость алмазными коронками, работающими по принципу резания и истирания пород, близка для большинства пород, т. е. соответствует практически одинаковой твердости пород по указанному методу. Ввиду того, что скорости бурения гидроударником и алмазными коронками получены в разных условиях бурения, это сравнение имеет условный характер. Однако физический смысл приведенных данных вполне очевиден. Показатели бурения скважин при данных технических условиях зависят от механических свойств пород. При этом для каждого способа бурения эти свойства будут различны по значению и методу их определения. Например, результаты сопоставления скорости бурения гидроударником с твердостью по методу вдавливания штампа показали более тесную корреляционную связь (коэффициент корреляции 0,69), чем при сопоставлении скорости бурения гидроударником с твердостью по методу резания.

Последующие исследования по установлению зависимости буримости гидро- пневмоударниками от их физико-механических свойств проводились с использованием параметров их абразивности и динамической прочности, существенно влияющих на буримость ударно-вращательным способом.

Исследования проводились при бурении кварцитов, гранодиоритов, габбро, известняка, гранита, базальта. Физико-механические свойства перечисленных пород приведены в табл. 36.

Таблица 36

Порода	Динамическая прочность F_d	Коэффициент абразивности $K_{абр}$	Величина R_m
Кварцит	15,23	2,97	82,5
Габбро	10,36	2,55	60,2
Гранодиорит	10,35	2,72	52,0
Базальт	19,18	1,60	52,0
Гранит	8,0	2,75	45,0
Известняк	8,7	0,26	7,8

На рис. 27 приведены данные об изменении скорости бурения гранодиорита при вращательном бурении твердосплавными и алмазными коронками и при ударно-вращательном (пнеумоударном) бурении твердосплавными коронками в зависимости от времени бурения.

Все три кривые значений скорости бурения имеют почти одинаковый (гиперболический) характер.

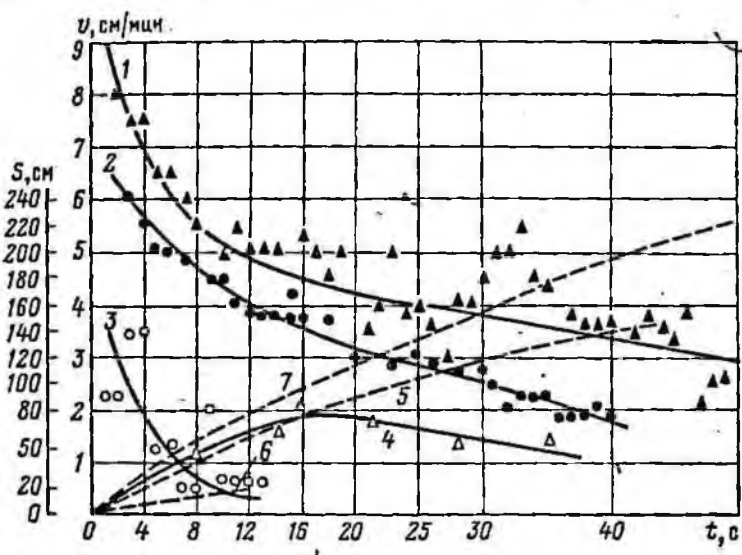


Рис. 27. Изменение механической скорости бурения гранодиорита пневмоударником РП-112, однослойной алмазной и твердосплавной коронками и стальной дробью-сечкой.

Механическая скорость бурения: 1 — пневмоударником, 2 — алмазной коронкой, 3 — твердосплавной коронкой, 4 — стальной дробью-сечкой; проходка: 5 — алмазной коронкой, 6 — твердосплавной коронкой, 7 — пневмоударником

При вращательном бурении гранодиорита, имеющего высокую абразивность ($K_{абр}=2,72$), время бурения до затупления мелкорезцовых коронок типа СМ-2 невелико (10—12 мин).

При бурении коронками, армированными алмазами, значительное уменьшение скорости наблюдается после 30—40 мин. бурения. Показатели бурения пневмоударником являются наиболее высокими.

Из сказанного можно заключить, что изменение механической скорости бурения во времени при вращательном и ударно-вращательном способах бурения может быть выражено известной [11] формулой

$$v = v_0 l^{\bar{a}t}, \quad (29)$$

где v — механическая скорость бурения в м/ч; v_0 — начальная механическая скорость бурения незатупленным породоразрушающим инструментом в м/ч; α — показатель уменьшения механической скорости бурения во времени при постоянном режиме и конструкции породоразрушающего инструмента; t — время бурения.

Эта формула позволила установить, что при бурении пневмоударником начальные скорости зависят от динамической прочности породы по толчению, а конечные скорости и время бурения до затупления — от абразивности пород.

О влиянии динамической прочности пород можно судить по начальной скорости бурения, когда абразивное действие пород бывает еще малым. Кварциты, как более прочные породы, бурятся с меньшими начальными скоростями, чем гранодиориты (табл. 37).

Таблица 37

Порода	Динамическая прочность F_d	Начальная скорость бурения, см/мин				
		при скорости вращения, об/мин			при энергии удара, кгс·м	
		20	40	60	14	10
Кварцит	15,23	3,7	3,7	4,2	5,0	2,2
Гранодиорит	10,35	5,0	6,0	8,5	6,7	4,4

О влиянии абразивности пород на скорость бурения пневмоударником свидетельствуют различные отношения начальных и конечных скоростей проходки по породам разной абразивности (табл. 38).

Из табл. 38 видно, что с уменьшением абразивности пород отношение начальных скоростей к конечным уменьшается. Для известняков, имеющих коэффициент абразивности 0,26, отношение начальной скорости бурения к конечной приближается к единице.

Влияние скорости вращения снаряда на скорость бурения пневмоударником различных пород показано на рис. 28.

Из рис. 28 видно, что наибольшая средняя скорость бурения приурочена для гранодиорита и кварцита к 20 об/мин, для габбро — к 40 об/мин, для известняка — к 200 об/мин. Относительная скорость бурения изменя-

Таблица 38

Порода	Коэффициент абразивности $K_{абр}$	Скорость бурения, см/мин					
		при скорости вращения, об/мин (энергия удара $A=14$, кгс·м)		при энергии удара, кгс·м ($n=40$ об/мин)		отношение скорости	отношение скорости
		20	40	14	10		
Кварцит	2,97	3,7	0,6	4,2	0,3	2,2	0,3
		4,3	3,8	4,6	3,5	1,9	1,8
Габбро	2,55	3,7	—	4,6	—	—	—
		3,1	—	—	—	—	—
Известняк	0,26	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—

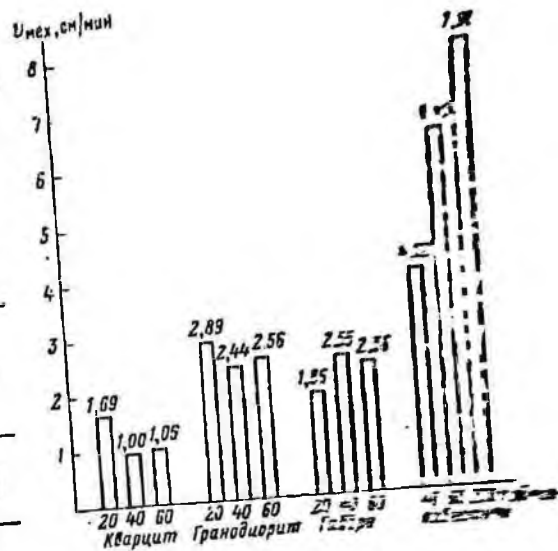


Рис. 28. Диаграмма сопоставления скорости бурения пневмоударником РП-112 при различных скоростях вращения снаряда.

Коронка КП-112, статическая нагрузка 100 кгс, давление воздуха в сети 5—5,5 кгс/см², число ударов пневмоударника 1500 в 1 мин

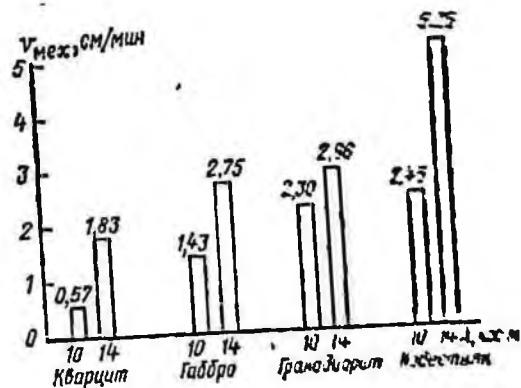


Рис. 29. Диаграмма сопоставления скорости бурения пневмоударником РП-96 (энергия ударов 10 кгс·м) и РП-112 (энергия ударов 14 кгс·м). Статическая нагрузка 200 кгс, давление в сети 5 кгс/см²

ется в сравнительно широких пределах; наибольшие скорости относятся к известняку и наименьшие к кварциту, что соответствует показателям динамической прочности и абразивности пород.

Большое влияние на показатели бурения пневмударниками оказывает энергия удара (рис. 29). Как видно из рис. 29, увеличение энергии удара повышает скорость бурения во всех испытанных породах.

Следует отметить изменение гранулометрического состава шлама при бурении гранодиорита в зависимости от энергии удара: выход крупных фракций (6,68 мм и более) при бурении с энергией удара 14 кгс·м 36,58% против 12,98%, когда энергия удара была 10 кгс·м.

Влияние статической нагрузки на скорость бурения пневмоударником РП-112 ($n=40$ об/мин, частота ударов 1300 в 1 мин, давление 5—6 кгс/см², энергия удара 14 кгс·м) показано в табл. 39. Отношение начальной

Таблица 39

Статическая нагрузка, кгс	Проходка, м	Механическая скорость бурения, см/мин			Отношение начальной скорости к конечной
		начальная	конечная	средняя	

Базальт ($K_{абр} = 1,6$; $F_d = \text{около } 20$)

100	0,98	5,0	4,5	4,9	1,1
500	1,32	7,2	6,0	5,1	1,2
1000	1,05	9,0	7,1	7,26	1,27
2000	1,54	10,75	9,25	9,32	1,16

Гранит ($K_{абр} = 2,75$; $F_d = 8$)

500	0,74	6,7	4,5	5,6	1,5
1000	0,73	8,5	3,2	5,85	2,6
1500	0,73	9,0	3,0	6,0	3,0
2000	0,76	11,2	4,2	7,6	2,8

скорости бурения базальта к конечной 1,1—1,27; при бурении гранита это отношение больше (1,5—3,0). Это объясняется тем, что граниты как более абразивные породы ($K_{абр}=2,75$ против 1,6 у базальта) больше при тупляют резцы и ухудшают показатели бурения.

Из табл. 39 также видно, что средние скорости бурения базальта при нагрузках 100 и 500 кгс близки. Увеличение нагрузки до 1000—2000 кгс повышает скорость

бурения в 1,5—2 раза. Однако граниты как более абразивные породы целесообразно бурить при нагрузке около 500 кг, так как увеличение ее до 1500—2000 кгс повышает скорость бурения незначительно, а проходка за рейс может быть значительно сокращена вследствие абразивного износа резцов.

Кроме того, данные табл. 39 говорят о том, что базальт и гранит имеют разную динамическую прочность. Базальты как более прочные породы имеют несколько пониженные по сравнению с гранитами начальные скорости бурения. Незначительное различие в этих показателях свидетельствует о том, что при бурении пневмоударником, обладающим высокой энергией ударов, можно эффективно разрушать породы высокой динамической прочности.

Приведенные и опубликованные [25, 26] результаты исследования показывают, что между буримостью гидроударниками и пневмоударниками и механическими свойствами (динамическая прочность и абразивность) существует устойчивая зависимость. Однако степень влияния абразивности меньше, чем при вращательном способе бурения твердыми сплавами и алмазами, что было учтено нами при разработке основ классификации горных пород для ударно-вращательного бурения.

§ 3. Разработка классификации горных пород для ударно-вращательного бурения

В настоящее время наряду с вращательным способом бурения разведочных скважин применяется ударно-вращательный с использованием гидроударных машин и пневмоударников. Однако классификация горных пород, которая используется для нормирования колонкового разведочного бурения, соответствует лишь вращательному принципу разрушения пород. Это затрудняет оценку новых способов разрушения горных пород и нормирование производственных процессов при ударно-вращательном бурении.

Надо также учитывать, что при ударно-вращательном бурении кварцсодержащие породы (типа гранита) вследствие их невысокой механической прочности разрушаются лучше, чем бескварцевые породы, обладающие высокой механической прочностью (диабазы, базальты). Установлено, что породы типа гранитов и мрамора

Таблица 40

Вид ударно-вращательного бурения	Горная порода	Механические свойства пород			Категория породы по значению R_m	Скорость бурения, м/ч	Проходка на рейс, м
		F_d	$K_{абр}$	R_m			
Гидроударное	Аргиллит карбонатизированный с прослойками алевролита	11,13	0,95	18,5	VIII	0,45	3,50
	Известняк кремнистый	11,11	1,90	38,0	X	0,62	2,75
	Диоритовый порфирит, скарированный	13,33	0,75	17,0	VIII	0,24	1,30
	Гранит крупнокристаллический	10,00	2,28	43,5	X	1,10	2,30
	Гнейс	11,11	2,33	47,0	X	1,66	1,55
	Песчаник	13,33	1,32	28,0	IX	0,51	1,20
	Песчаник кварцевый	8,00	1,88	27,0	IX	1,20	1,00
	Сланец глинистый горизонтально-слоистый	5,40	0,80	9,50	VI	0,46	1,20
	Сланец песчаный с прослойками песчаника	7,40	1,00	15,0	VII	0,67	1,75
	Туфобрекчия основного состава	16,67	0,87	31,0	IX	1,45	2,30
	Порфирит диабазовый	20,00	0,68	30,0	IX	0,72	1,80
	Туффит кремнистый	20,00	1,60	63,0	XI	0,40	0,80
	Микрогранит	12,5	1,78	40,0	X	1,4	3,0
	Фельзит	16,0	1,35	38,0	X	2,5	6,8
	Песчаник плотный, окварцованный	22,22	1,18	39,5	X	3,0	2,25
	Кварцевый порфир	15,39	2,90	76,0	XI	2,58	2,5
	Доломит окремненный	4,55	1,78	17,5	VIII	1,89	1,40
Углекисло-кремнистые сланцы	15,39	2,10	52,0	XI	2,50	1,00	
То же	11,79	2,50	51,5	XI	4,90	1,20	
Амфиболиты с вкраплением пирита	20,00	0,75	23,0	VIII	1,66	0,75	
Амфиболиты массивные	25,00	0,38	15,0	VII	1,97	0,81	
Пневмоударное							

мора по динамической прочности близки. По этому свойству, существенно влияющему на эффективность гидро- и пневмоударного бурения, указанные породы находятся в одной группе ($F_d < 8$), а по твердости и абразивности — в разных категориях (IV—V для мрамора и VIII—X для гранита) [26].

Примеры несоответствия категорий пород по буримости вращательным способом показателям буримости гидро- и пневмоударниками приведены в табл. 40.

Интересны показатели бурения гидроударником скранированных диоритовых порфиритов и гранитов. Первые породы относятся к VIII категории, а бурятся хуже, чем границы X категории. Эффективно разрушаются гидроударниками другие кварцсодержащие породы (гнейсы, микрограниты) в отличие от порфиритов, которые бурятся хуже вследствие высокой динамической прочности.

Низкая буримость глинистых сланцев показывает, что подобные породы лучше разрушаются при вращательном, чем при ударно-вращательном бурении. При ударно-вращательном способе такие породы разрушаются, уплотняясь вследствие большой остаточной деформации.

Характерным примером может служить более высокая буримость пневмоударниками углисто-кремнистых сланцев XI категории по сравнению с буримостью амфиболитов VII—VIII категорий, что объясняется высокой динамической прочностью последних.

Рассматривая вопрос о несоответствии буримости горных пород при вращательном и ударно-вращательном способах бурения, необходимо также иметь в виду, что существующая классификация пород для вращательного бурения базируется на переменной величине — буримости, зависящей от многих факторов и главным образом от физико-механических свойств буримых пород, которые в этой классификации не учитываются.

В связи с этим возникает необходимость разработки классификации для вращательного и ударно-вращательного способов бурения, отличающихся по механизму разрушения пород при бурении. В дальнейшем, вероятно, потребуется разработка классификации для электроимпульсного и других способов бурения, при которых процесс разрушения пород происходит при отсутствии породоразрушающего инструмента.

В основу указанных классификаций должны быть положены параметры физико-механических свойств пород, существенно влияющие на эффективность того или другого способа бурения. Надо учитывать, что с развитием новых способов бурения известные свойства пород, ранее представлявшиеся несущественными для разрушения пород с применением новой техники, могут приобрести существенное значение и в связи с этим могут появиться новые понятия, величины и параметры, отвечающие достижениям техники бурения разведочных скважин [42].

Разработка шкалы и классификации пород для ударно-вращательного бурения проводилась нами с учетом имеющихся результатов исследований по установлению влияния физико-механических свойств горных пород в лабораторных и производственных условиях.

Исследования показали, что буримость пневмоударниками уменьшается с увеличением динамической прочности и абразивности пород. О влиянии динамической прочности судили по начальной скорости бурения, когда абразивное действие пород было незначительным. Например, кварциты, как более прочные породы ($F_d = 15,23$), бурятся с меньшими начальными скоростями, чем графодиориты ($F_d = 10,35$). О влиянии абразивности пород на их буримость свидетельствуют различные отношения начальных и конечных скоростей бурения. С уменьшением абразивности пород отношение начальных скоростей к конечным уменьшается. Для известняков, имеющих коэффициент абразивности 0,26, это отношение около единицы (1,09).

Имеющиеся данные по бурению разведочных скважин также подтверждают зависимость скорости бурения скважин гидроударниками и пневмоударниками от динамической прочности и абразивности пород. Это положение позволяет разработать объединенный показатель этих величин ($\rho_{м1}$) для выработки шкалы и классификации для ударно-вращательного бурения разведочных скважин. Для этой цели можно воспользоваться зависимостью механической скорости бурения $v_{мех}$ от динамической прочности F_d и абразивности $K_{абр}$

$$v_{мех} = r' F_d^{-m} \text{ и } v_{мех} = r'' K_{абр}$$

$$v_{мех} = r F_d^{-m} K_{абр}^{-n} = r (F_d K_{абр}^{n/m})^{-m},$$

где r, m, n — постоянные коэффициенты.

Обозначив произведение $F_d K_{абр}^{n/m} = \rho_{м1}$, получим $v_m \approx r(\rho_{м1})^{-m}$.

Для расчета коэффициентов r , m и n применен среднестатистический метод с использованием результатов 300 опытов по сопоставлению значений F_d , $K_{абр}$ и $v_{мех}$ при бурении гидроударными машинами и пневмоударниками.

Расчет показал, что $m=0,518$, $n=0,215$ и $r=4,37$. Отсюда

$$\rho_{м1} = F_d K_{абр}^{0,41}$$

Чтобы объединенный показатель $\rho_{м1}$ имел более высокие числовые значения, в эту формулу введен дополнительный коэффициент, равный 2.

$$\rho_{м1} = 2F_d K_{абр}^{0,41} \quad (30)$$

Для ускорения расчетов $\rho_{м1}$ построена номограмма с прямоугольной системой координат (рис. 30).

С учетом того, что при ударно-вращательном способе бурения механизм разрушения горных пород не зависит от типа забойной машины, применение показателя $\rho_{м1}$ вполне обосновано как при гидроударном, так и при пневмоударном бурении.

Как уже отмечалось, при ударно-вращательном бурении на показатели буримости наибольшее влияние оказывает динамическая прочность пород и в меньшей

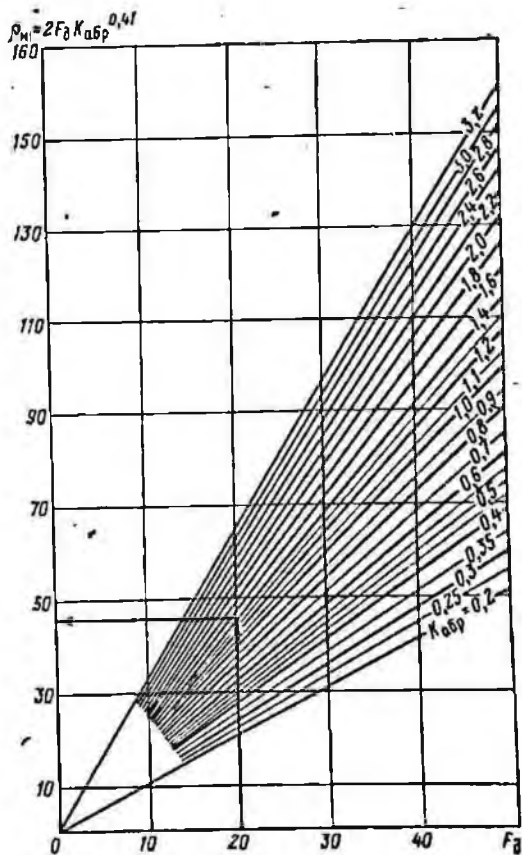


Рис. 30. Номограмма определения $\rho_{м1}$ по данным F_d и $K_{абр}$

степени абразивные свойства. Это отражено и в формуле определения ρ_{M1} , в которой степень абразивности меньше 1 (0,4).

Сопоставление значений ρ_{M1} с твердостью по методу штампа для одних и тех же пород показывает высокую корреляционную связь (рис. 31).

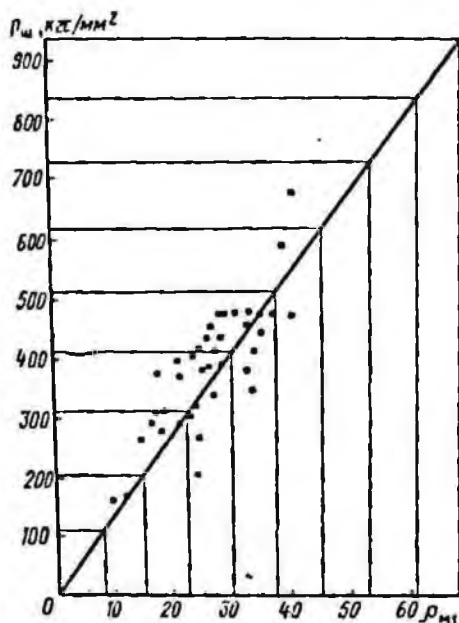


Рис. 31. График корреляционной связи значений твердости пород по методу штампа с показателями ρ_{M1}

Для разработки шкалы новой классификации применен геометрический принцип изменения ρ_{M1} со знаменателем прогрессии $q=1,5$. Исходя из имеющихся данных по буримости гидро- и пневмоударниками, для 1 категории принимаем значения $\rho_{M1}=5,0 \div 7,5$, а нижний предел будет соответствовать значениям ρ_{M1} для самых прочных и абразивных пород (табл. 41).

В основе этой шкалы лежат многочисленные сопоставления указанных параметров механических свойств и буримости гидроударными машинами и

пневмоударниками. Это позволило разработать формулы для определения прогнозных значений скоростей бурения в единицу времени. Применительно к пневмоударному бурению изменение механической скорости проходки подчиняется следующей зависимости:

$$v_M = 6,75 \rho_{M2}^{-0,34}, \quad (31)$$

а для условий гидроударного бурения

$$v_M = 4,55 \rho_{M2}^{-0,45}. \quad (32)$$

Установленная по указанным формулам расчетная буримость показывает высокую корреляционную связь с фактическими данными (коэффициент корреляции 0,97). Результаты сопоставления приведены в табл. 42.

На основе этой шкалы был составлен проект классификации горных пород для ударно-вращательного бурения (табл. 43).
 В соответствии со шкалой породы по механическим свойствам и буримости разделены на семь категорий.

Таблица 41*

Категория пород по буримости	$F_{дл}$	
	пределы	среднее значение
I	5,0—7,5	6,2
II	7,5—11,2	9,4
III	11,2—16,9	14,0
IV	16,9—25,3	21,1
V	25,3—37,9	31,6
VI	37,9—56,9	47,4
VII	56,9—85,4	71,2

I категория включает известняки углистые, кристаллические и песчано-глинистые сланцы, пегматиты каолинизированные. Динамическая прочность пород изменяется в пределах 2,17—4,54, а абразивность — в пределах 0,85—2,23.

II категория включает более плотные разновидности известняков ($F_{дл} < 15$) малой абразивности ($K_{абр} \approx 0,2$), измененные (окварцованные) фельзиты и дациты средней абразивности ($K_{абр} < 1,15$) и малой динамической прочности ($F_{дл} \approx 5$); липаритодациты с крупнокристаллическими вкраплениями полевых шпатов, сланцы серицито-карбонатного и песчано-глинистого состава с более высокой динамической прочностью ($F_{дл} < 10$).

III категория включает алевролиты, аргиллиты, песчаники полевошпатовые неравномернозернистые, граниты слабокатаклазированные, гранодиориты крупнокристаллические, излившиеся аналоги кислых и основных изверженных пород и их туфов невысокой динамической прочности ($F_{дл} = 6,89 \div 10,52$), песчаники полимиктового состава.

IV категория включает более прочные разновидности алевролитов ($F_{дл} = 11,76$), туфов диабазового порфири-та ($F_{дл} = 13,3$), гранитов ($F_{дл} = 8,3$), скарны преимущественно хлорит-пироксен-эпидот-карбонатного состава и др.

Таблица 42

Категория пород	P, м		Скорость бурения гидродарняками, м/ч				Скорость бурения пневмоударниками, м/ч			
	пределы	среднее значение	расчетная $v_{\text{МР}}$	фактическая $v_{\text{М.СР}}$	отношение $v_{\text{МР}}/v_{\text{М.СР}}$	расчетная $v_{\text{МР}}$	фактическая $v_{\text{М.СР}}$	отношение $v_{\text{МР}}/v_{\text{М.СР}}$		
I	5,0—7,5	6,2	2,0 и более	—	—	3,6 и более	3,5	1,02		
II	7,5—11,2	9,4	1,7	1,6	1,06	3,2	—	—		
III	11,2—16,9	14,0	1,4	1,3	1,07	2,7	2,7	1,00		
IV	16,9—25,3	21,1	1,2	0,9	1,33	2,4	2,3	1,04		
V	25,3—37,9	31,6	1,0	0,9	1,11	2,1	2,1	1,00		
VI	37,9—56,9	74,4	0,8	0,6	1,33	1,8	1,8	1,00		
VII	56,9—85,4	71,2	0,6	0,6	1,00	1,6	—	—		

Примечание. Скорость бурения гидродарняками получена при использовании машин Г-5А. Применение машин Г-7 и Г-9 может дать более высокую скорость бурения.

V категория включает более прочные разновидности излившихся аналогов кислых и основных пород ($F_d \approx 15$), песчаники с более прочным (гаматитовым) цементом ($F_d = 15,4$), сиениты измененные, доломиты окремненные, амфиболиты.

VI категория включает скарны, преимущественно пироксен-гранат-полевошпатового состава, габбро-диабазы, сланцы углестокремнистые и другие породы с высокой динамической прочностью ($F_d \approx 20$).

VII категория включает ороговикованные разновидности излившихся аналогов основных пород, скарны преимущественного гранат-полевошпатового состава с тремолитом и другие породы, имеющие очень высокую динамическую прочность ($F_d = 22 \div 40$).

Приведенный проект классификации имеет вспомогательное значение и используется при сравнении с существующей классификацией пород для вращательного бурения по ЕНВ 1963 г.

Прежде всего разработанная шкала горных пород для ударно-вращательного бурения отличается от подобной шкалы для вращательного бурения меньшим числом категорий (7 против 12) и различным положением типичных разностей твердых горных пород по категориям. Например, породы типа гранита в классификации для вращательного бурения находятся в VIII—IX категориях, а в приведенной выше группировке пород для ударно-вращательного бурения — в III—IV категориях. Не менее показательно положение пород типа диабазы и порфирита. В классификации для вращательного бурения они отнесены к VIII категории, а в группировке пород для ударно-вращательного бурения к последним двум категориям — VI—VII. Это будет понятно, если учесть состав и механические свойства этих пород.

Граниты как кварцсодержащие породы имеют высокую твердость и абразивность и сравнительно низкую механическую прочность. Поэтому они более эффективно разрушаются ударно-вращательным способом. В противоположность граниту диабазы и порфириты являются практически бескварцевыми, относятся к породам средней твердости и абразивности, но обладают высокой механической прочностью, вследствие чего они труднее разрушаются при ударно-вращательном бурении и относятся к самым высоким категориям.

Категория пород по бурности	R _M	Среднее значение R _M	Гидроударное бурение		Бурение пневмоударником		Горная порода
			v _M [*] м/ч	проходка I, м	v _M [*] м/ч	проходка I, м	
I	5,00—7,50	6,2	1,7—2,0	2,38—3,10	3,2—3,6	2,30—2,76	Известняк углистый, сланец кварцево-хлоритовый, пегматит каолинизированный, сланец песчано-глинистый с сульфидами Сланец серицито-карбонатный, известняк топкозернистый, фельзит окварцованный, туф липорито-дацитовый, дацит окварцованный и карбонатизированный, сланец песчано-глинистый, липарито-дацит с крупнокристаллическими включениями (до 60%)
II	7,50—11,25	9,4	1,4—1,7	1,83—2,38	2,7—3,2	2,30—2,76	
III	11,25—16,87	14,0	1,2—1,4	1,41—1,83	2,4—2,7	1,92—2,30	Алевролит, сланец аргиллитовый, аргиллит алевролитовый, песчаник полимиктовый неравномернозернистый, алевролитовый, гранит слабо катаклазированный, кварцевый альбитофир, порфирит гидротермально измененный, туф диабазового порфирита скарнированный, туф липаритовый, песчаник полевошпатово-кварцевый, филлит, дацит карбонатизированный, гранодиорит, крупнокристаллический бюноками полевых шпатов, кварцевый порфир с крупными включениями хлоритизированный, доломит, пегматит
IV	16,87—25,30	21,1	1,0—1,2	1,10—1,41	2,1—2,4	1,60—1,92	
V	25,30—37,95	31,6	0,8—1,0	0,84—1,41	1,8—2,1	1,36—1,63	Алевролит, туф диабазового порфирита, гнейс кварцевополевошпатовый, скарн магнетит-актинолит-карбонат-хлорит-эпидотовый, скарн магнетит-эпидот-пироксен-полевошпатовый, туф андезитового порфирита, хлоритизированный, порфирит, слабо скарнированный, филлит-липарит лимонитизированный, кварцевый альбитофир, туф кварцевого альбитофира, граносениит-порфир, гранит катаклазированный, песчаник кварцевый мелкозернистый, песчаник мелкозернистый, доломит окремненный, туф кислого эффузива карбонатизированный и эпидотизированный, порфирит диабазовый, порфир роговообманниковый, песчаник топкозернистый, слаботрешиноватый, песчаник полевошпатовый мелкозернистый, гранит лимонитизированный, дацит, песчаник среднезернистый полимиктовый, гранит-порфир, кварцевый порфир, липарито-дацит олигофировый
VI	37,95—56,92	47,4	0,6—0,8	0,65—0,84	1,6—1,8	1,12—1,34	
VII	56,92—85,38	71,2	0,6	0,65	1,6	1,12	Липарито-дацит плезиофировый, скарн рудный, пироксено-полевошпатовый, песчаник среднезернистый, кварцитовидный, липарит олигофировый, песчаник кварцево-карбонатный, фельзит плотный, гранито-гнейс, гнейс биотит-кварц-плагноклазовый, плотный, порфирит андезитовый, эпидотизированный, фельзит полевошпатовый, порфирит диабазовый, плотный гранат-порфир, гранит сильно катаклазированный и милонитизированный, песчаник мелкозернистый с гематитовым цементом, альбит карбонатизированный и хлоритизированный, сениит измененный, туф кислого эффузива карбонатизированный и эпидотизированный, порфирит диоритовый, песчаник кварцитовидный, руда сульфидно-магнетитовая плотная, туфобрекчия основного состава, доломит окремненный, песчаник плотный сильно окварцованный, амфиболит

Примечание. Проходка в ряде случаев может быть увеличена, особенно для пневмоударного бурения. Скорость бурения гидроударниками имеет оптимальное значение и может быть увеличена при использовании более совершенных машин (Г-7, Г-9).

ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
БУРОВОЙ ТЕХНИКИ

При разрешении этого вопроса первостепенное значение будет иметь представление о возможной эффективности применения того или другого способа разведочного бурения и породоразрушающего инструмента в зависимости от сопротивления горных пород их разрушению при бурении.

В этой связи необходимо рассмотреть:

- 1) генетические типы горных пород по составу и физико-механическим свойствам;
- 2) способы разведочного бурения и классификацию породоразрушающего инструмента;
- 3) комплексы рудовмещающих горных пород, в которых залегают наиболее известные месторождения полезных ископаемых;
- 4) влияние физико-географического положения объектов разведки на области рационального применения гидроударных машин и пневмоударников;
- 5) экономический критерий оценки эффективности применения различных способов разведочного бурения и породоразрушающего инструмента;
- 6) влияние комплекса технико-экономических показателей бурения на установление областей рационального применения породоразрушающих инструментов;
- 7) примерные области рационального применения различных способов разведочного бурения и породоразрушающих инструментов;

§ 1. Генетические типы горных пород по составу
и физико-механическим свойствам

Многочисленные определения физико-механических свойств горных пород, выполненные в связи с исследованиями их буримости, позволили накопить большой фактический материал по этому вопросу и дать его в обобщенном виде (табл. 44).
В основу классификации пород, составленной для их характеристики по физико-механическим свойствам, по-

ложены общие принципы, принятые при геологических исследованиях. Породы разделены на группы по генетическим типам и составу. Для магматических пород в каждой группе выделены подгруппы по степени кислотности и щелочности.

Физико-механические свойства: динамическая прочность, абразивность, объединенный показатель и категория по буримости, установленные на основе указанных свойств, приведены для каждой разновидности пород. Количество измерений, проведенных для отдельных разновидностей, колеблется от 5 до 106. Сравнение физико-механических свойств пород по выделенным группам и подгруппам дает возможность установить закономерную связь между их составом и указанными свойствами. На необходимость разработки подобной классификации указывалось в литературе [40].

Сопоставление физико-механических свойств магматических, осадочных и метаморфических пород дает следующие результаты.

Динамическая прочность осадочных и магматических пород более постоянна, чем у метаморфических; при этом она обычно ниже для осадочных пород (8,2—12,1) и выше для магматических (9,4—17,5), у метаморфических пород колеблется в пределах от 7,5 (кристаллические сланцы) до 33,1 (биотитовые роговики).

Примерно такой характер изменений наблюдается в абразивных свойствах пород различных генетических типов. Абразивные свойства ниже у осадочных пород (0,4—1,8) и выше у магматических (0,8—2,5); у метаморфических пород характеризуются более резкими колебаниями: от 0,4 у мрамора до 2,3—2,6 у кварцитов и джеспилитов.

Физико-механические свойства магматических пород в пределах отдельных групп, отличающихся по условиям залегания, указывают на относительно более низкую и изменчивую динамическую прочность глубинных пород по сравнению с прочностью гипабиссальных и излившихся пород. Это, по-видимому, объясняется тем, что первые являются крупнокристаллическими породами, преимущественно гипидиоморфно-зернистой структуры, и легче разбиваются как вдоль контактов зерен, так и по трещинам спайности внутри них. Вторые обладают порфировой и порфиroidной структурой и бла-

Генетический тип пород	Группа пород по кислотности и щелочности	Порода	Физико-механические свойства (средние данные)				Категория буримости по ρ_M	
			динамическая прочность F_D	абразивность $K_{абр}$	объединенный показатель			
					ρ_M	ρ_{MI}		
<i>Магматические породы</i>								
Интрузивные, абиссальные	Ультраосновные	Перидотиты, пироксениты.	14,0	1,1	27,2	29,4	IX IX X X IX IX IX X IX IX-X IX	
	Основные	Габбро	13,0	1,6	37,2	31,2		
	Средние	Диориты и кварцевые диориты.	12,0	1,7	37,2	29,6		
	Кислые	Гранодиориты, граниты	10,0	2,3	43,5	28,3		
	С повышенной щелочностью	Сиениты	8,0	2,0	31,6	21,2		
		Сиенито-диориты	12,0	1,3	28,4	27,0		
	Гипабиссальные жильные	Щелочные	Фойяиты, ийолиты	7,5	2,2	33,0		30,0
		Основные	Габбро-диабазы	17,0	1,2	34,7		36,4
		Кислые	Микрограниты	12,0	1,4	30,6		28,3
			Гранит-порфиры	13,0	1,5	34,9		30,9
С повышенной щелочностью		Сиенит порфиры	14,0	1,3	30,3	31,5		
		Щелочные	Мончикиты	15,0	1,4	36,6	35,1	
Эффузивные			Луявриты	6,0	2,3	28,9	17,2	
		Кислые	Пегматиты	4,5	2,5	30,0	13,7	
		Основные	Базальты, диабазы	19,4	1,1	35,3	39,8	
		Средние	Андезиты	16,6	0,8	22,7	30,4	
		Порфириты	17,5	0,8	23,6	49,4		
	Кислые	Дациты	11,4	1,2	25,2	25,0		
	С повышенной щелочностью	Фельзиты	14,7	1,3	33,5	33,0	IX X X IX VIII	
	Кислые	Липариты	13,9	1,8	44,3	35,2		
		Кварцевые порфиры	14,8	1,7	44,0	36,6		
		Кварцевые альбитофиры	9,8	1,3	24,2	22,0		
		Туфы кислых эффузивов	9,4	1,2	21,6	20,6		
<i>Осадочные породы</i>								
Обломочные		Аргиллиты	10,0	0,6	12,3	16,7	VII IX VI-VII VIII V-VI VI-VII VII-VIII VI-VII IX X IX III V-VI VI VIII-IX X X	
		Аргиллиты кремнистые	9,7	1,4	25,8	23,0		
		Алевролиты	12,0	0,5	10,9	18,3		
		Алевролиты кремнистые	8,2	1,2	19,3	18,0		
		Сланцы глинистые	6,4	0,6	6,6	10,8		
		Сланцы песчано-глинистые	5,6	0,8	9,5	10,3		
		Сланцы песчаные	8,9	0,9	15,5	10,7		
		Песчаники слабые	4,3	1,1	10,5	9,5		
		Песчаники	12,1	1,3	28,6	26,3		
		Песчаники кварцевые	10,8	1,8	36,2	27,3		
		Конгломераты	13,2	1,3	30,7	29,7		
	Карбонатные		Мергели	4,6	0,1	1,2		4,3
			Известняки	8,5	0,4	6,6		11,8
			Доломиты	11,3	0,4	8,3		15,3
		Известняки кремнистые	11,6	1,1	23,5	24,4		
Карбонатные мерленные		Доломиты кремнистые	20,3	1,2	40,0	43,9		
		Туффиты	23,7	1,1	41,6	49,2		
Вулканогенно-осадочные								

Генетический тип пород	Группа пород по кислотности и щелочности	Порода	Физико-механические свойства (средние данные)				Категория бурности по R_M
			длина маче-вая проч-ность F_d	абра-зив-ность K_{abr}	объединенный показатель		
					R_M	R_{MI}	
Контактово - метаморфизованные		<i>Метаморфические породы</i>					
		Филлиты	8,2	0,9	14,5	VII	VII
		Роговики	14,3	2,3	58,0	XI	X
		Роговики биотитовые	33,1	1,9	93,4	XII	XII
		Мрамор	6,5	0,4	5,4	V-VI	VI
		Мрамор скарпированный	11,0	0,8	16,3	VII-VIII	VII-VIII
		Скарны гранат-пироксеновые	17,2	1,5	43,8	X	X
		Скарны рудные	15,3	1,4	37,2	X	IX
		Кварциты	11,5	2,2	46,6	X	X
		Кварциты вторичные	24,6	2,3	89,7	XII	XII
Регионально - метаморфизованные		Гнейсы	8,2	1,8	29,1	IX	VIII-IX
		Сланцы кристаллические	7,5	1,1	16,5	VII-VIII	VII-VIII
		Амфиболиты	30,0	0,9	41,0	X	IX-X
		Железистые кварциты	25,5	1,9	75,8	XI	XI
		Джезитилиты	25,0	2,6	102,2	XII	XII

годаря мелкозернистой или криптокристаллической структуре основной массы, часто сцементированной вулканическим стеклом; отличаются большей прочностью и труднее поддаются раскалыванию.

Те же структурные особенности по-иному отражаются на абразивных свойствах пород. Крупнозернистые породы, особенно если в их составе преобладают минералы с высокой твердостью, без спайности или с несовершенной спайностью (кварц, нефелин, турмалин) имеют высокую абразивность, а вулканогенные породы со стекловатой основной массой истираются легче, заметно снижая свои абразивные свойства.

На основании анализа изменения физико-механических свойств пород в зависимости от их кислотности можно установить, что по мере увеличения кислотности пород динамическая прочность их уменьшается, а абразивность увеличивается. Это наблюдается почти во всех магматических комплексах, кристаллизовавшихся в разных условиях. Объявляется это, по-видимому, содержанием кварца и других модификаций оксида кремнезема, снижающих динамическую прочность и увеличивающих абразивность пород независимо от их структурных особенностей.

Щелочные магматические породы, а также породы с повышенной щелочностью по физико-механическим свойствам близки к породам среднего и кислого состава нормального ряда. В их составе решающее влияние на физико-механические свойства оказывает нефелин — хрупкий, но достаточно твердый минерал с несовершенной спайностью.

Петрографические особенности магматических пород сказались и при определении других физико-механических свойств (твердости и механической прочности), установленных различными методами (табл. 45).

Среди осадочных пород наиболее широкими физико-механическими свойствами — динамической прочностью и абразивностью — обладают тонкозернистые и среднезернистые метаморфизованные сланцеватые аргиллиты, известняки, глинистые сланцы и карбонатные породы, так как они состоят из минералов малой твердости и легко раскалываются по плоскостям слоистости.

Физико-механические свойства песчаников и крупнообломочных пород аналогичны соответствующим свойствам магматических пород кислого и среднего состава.

Генетический тип глубинных изверженных пород	Физико-механические свойства				
	твердость по методам			механическая прочность по методам, кгс/см ²	
	вдавливания штампа, кгс/мм ²	истирания, l см	Шора	раздавливания	скальвания
Ультраосновные	295	320	57	—	—
Основные	440	480	75	3400	375
Средние	500	550	76	2365	231
Кислые	575	730	78	2130	209

ва. Процесс окремнения в карбонатных породах значительно увеличивает их физико-механические свойства (например, окремненные доломиты имеют $F_d = 20,3$ $K_{абр} = 1,2$).

Физико-механические свойства метаморфических пород резко колеблются независимо от условий их образования как в группе контактово-метаморфических пород, так и в группе пород, измененных региональным метаморфизмом. Основную роль в величине динамической прочности и абразивности метаморфических пород, видимо, играют минералогический состав и структура. Наименее прочными и легко истираемыми являются породы, в составе которых преобладают слюдяные минералы и карбонаты (филлиты, мрамор, слюдяные кристаллические сланцы). Наиболее прочными являются породы массивные кристаллопластической структуры, состоящие из амфиболов, пироксенов, граната, магнетита, полевых шпатов (скарны, амфиболиты, железистые кварциты).

В табл. 44 физико-механические свойства горных пород органичены в основном значениями динамической прочности и абразивности. Однако коэффициент динамической прочности F_d в первом приближении отвечает $1/100$ временного сопротивления породы сжатию $\sigma_{сж}$, поэтому по данным значения F_d можно определить примерные значения $\sigma_{сж}$.

При рассмотрении последующих вопросов, связанных с установлением рациональных областей применения буровой техники, необходимо иметь в виду, что

механические свойства пород одного и того же генетического типа имеют близкие значения.

Это подтверждается результатами определения средних значений коэффициентов динамической прочности, абразивности и объединенного показателя по 20 генетическим типам пород изверженного, осадочного и метаморфического происхождения (табл. 46).

Образцы исследованных пород относятся к 23 регионам страны (Норильский горный округ, Центральный Казахстан, Горная Шория, Восточный Урал, Южный Урал, Киргизия, Воронежский кристаллический массив, Рудный Алтай, Северный Кавказ, Украинский кристаллический массив, Алдан, Восточный и Западный Узбекистан, Северо-Восток, Кольский полуостров, Забайкалье, Дальний Восток, Саяны, Юго-Восточный, Центральный и Северо-Западный Донбасс, Днепровская впадина, Башкирия).

Коэффициенты вариации показателей, указанных выше механических свойств, для различных генетических типов пород составляют $\approx 30-40\%$. Это свидетельствует о том, что каждая генетическая разность пород имеет близкие значения механических свойств вне зависимости от места взятия образца. Отмеченное положение может быть использовано при прогнозировании условий рационального применения буровой техники и расчетной скорости разведочного бурения горных пород из различных регионов, но близких по генетической принадлежности.

Это также позволит сопоставить производительность бурения и определить степень использования технических характеристик буровых установок и прогрессивной технологии бурения разведочных скважин.

§ 2. Способы разведочного бурения и классификация породоразрушающего инструмента

По характеру нагрузок, вызывающих разрушение, способы бурения могут быть условно разделены на механические и физические.

При механических способах разрушение происходит под влиянием внешних сосредоточенных механических нагрузок, передаваемых на породу от буровых установок породоразрушающими инструментами. Эти спосо-

Горная порода	Тектонический тип пород	Группа пород по кислотности и щелочности	Местонахождение
Габбро	Интрузивные	Основные	Исверженные Норильский район, Центральный Казахстан, Горная Шория, Восточный Урал, Южный, Урал, Киргизия
Диориты	»	Средние	Воронежский кристаллический массив, Киргизия, Горная Шория, Рудный Алтай, Восточный Урал
Граниты	»	Кислые	Северный Кавказ, Украина, Южный Урал, Алдан, Восточный Казахстан, Украинский кристаллический массив, Северо-Восток
Снеяты	»	С повышенной щелочностью	Украинский кристаллический массив, Горная Шория, Северный Кавказ, Кольский полуостров
Спелито-диориты	»	То же	Восточный Урал, Киргизия, Забайкалье, Восточный Узбекистан, Кольский полуостров, Горная Шория, Центральный Казахстан
Гранит-порфир	Гипабиссальные	Кислые	Северный Кавказ, Горная Шория, Восточный Узбекистан, Дальний Восток, Центральный Казахстан
Пегматиты	»	То же	Забайкалье, Алдан, Северный Кавказ
Диабазы	Эффузивные	Основные	Южный Урал, Северный Кавказ
Порфириты	»	Средние	Воронежский кристаллический массив, Дальний Восток, Горная Шория, Южный Урал, Восточный Урал
Фельзиты	Эффузивные	Кислые	Северный Кавказ, Дальний Восток, Северо-Восток
Липарит	»	»	Северо-Восток, Дальний Восток
Альбитофир	»	С повышенной щелочностью	Северный Кавказ, Рудный Алтай, Горная Шория, Саяны

Таблица 46

Количество ис- следованных об- разцов породы	Динамическая прочность F_d		Коэффициент образивности $K_{обр}$		Объединенное значение R_M		Категория бурж- ности по зна- чению R_M
	средняя	коэффи- циент вариации	средний	коэффи- циент вариации	среднее	коэффи- циент вариации	
породы							
10	11,7	38,9	1,48	35,1	30,0	37,5	IX
24	13,9	36,9	1,52	31,9	36,1	38,7	X
62	6,7	27,2	2,1	20,5	29,6	26,5	IX
10	9,5	25,9	2,2	21,2	39,3	24,1	X
18	11,1	41,2	1,62	33,9	30,6	28,0	IX
21	13,3	42,2	1,61	30,0	33,3	28,9	IX
10	3,7	41,2	2,4	12,7	19,9	30,1	VIII
14	20,1	32,3	1,05	43,9	34	49,0	IX
15	14,9	25,4	0,51	31,4	12,3	31,6	VII
23	11,8	29,1	1,38	27,1	29,1	31,1	IX
24	11,8	21,8	1,83	14,5	35,8	24,7	IX-X
21	9,9	29,6	1,36	33,3	25,3	47,0	VIII-IX

Горная порода	Генетический тип пород	Группа пород по кислотности и щелочности	Местонахождение
---------------	------------------------	--	-----------------

Алевролиты	Обломочные		Осадоч. Киргизия, Норильский район, Дальний Восток, Центральный Казахстан, Северный Кавказ, Рудный Алтай
Слапцы глинистые и песчано-глинистые Песчаник слабый	»	»	Центральный Казахстан, Юго-Восточный и Центральный Донбасс, Северный Кавказ
Песчаник	»	»	Западный склон Урала, Центральный Казахстан, Северо-Западный Донбасс, Северный Кавказ, Днепровская впадина
Песчаники кварцевые	»	»	Северный Кавказ, Центральный Казахстан, Юго-Восточный Донбасс, Центральный Донбасс, Норильский район, Киргизия
Конгломерат	»	»	Юго-Восточный Донбасс, Центральный Казахстан, Дальний Восток, Западный Узбекистан, Урал (Волковская ГРЭ)
Известняки	Карбонатные	»	Центральный Казахстан, Забайкалье, Северный Кавказ
Известняки окремненные	»	»	Восточный склон Урала, Днепровская впадина, Северо-Западный Донбасс, Юго-Восточный Донбасс, Западный Узбекистан, Центральный Казахстан, Башкирия

Амфиболиты	Регионально-метаморфизованные		Метаморфические Забайкалье, Киргизия
------------	-------------------------------	--	---

Количество ис- следований об- разцов пород	Динамическая прочность F_d		Коэффициент образности $K_{обр}$		Средняя вспучиваемость R_m		Средняя плотность $\rho_{пл}$
	средняя	коэффи- циент вариации	средний	коэффи- циент вариации	средняя	коэффи- циент вариации	
породы							
21	13,1	26,7	0,65	51,1	15,1	51,7	
55	8,6	34,3	0,9	37,2	15,7	41,6	
31	3,1	51,6	1,59	37,7	10,9	43,7	
113	11,7	41,0	1,31	39,7	26,1	29,1	
41	13,9	32,8	1,65	20,4	38,8	31,7	
15	8,1	22,1	1,50	32,7	22,9	34,5	
25	9,4	25,1	0,39	59,9	7,1	65,9	
13	8,9	26,6	1,28	30,7	21,7	38,2	
породы							
7	26,7	22,5	0,93	29,0	39,1	39,0	

бы бурения разделяются на вращательный, ударно-повторный и ударно-повторный.

По тому, как происходит удаление разрушенной породы, различают способы с периодическим и непрерывным удалением шлама. Последние в свою очередь могут осуществляться механическими способами, промывкой жидкостями и продувкой воздухом.

Способы бурения физическими свойствами по механизму воздействия на горюю породу делятся на электрогидравлический, взрывной, гидроимпульсный, ультразвуковой (механическое воздействие); термический индукционный, высокочастотный, электродуговой (термическое воздействие); термоэлектрический, ядерный (плавление); электроннолучевой, лазерный, плазменный.

В перспективе будут совершенствоваться вращательное бурение и расширяться область применения ударно-вращательного бурения с применением гидроударных машин и пневмоударников [6, 41].

Техническая характеристика забойных машин приведена в табл. 47.

Вращательное бурение будет совершенствоваться по мере увеличения энергии, поступающей к породоразрушающему инструменту, и сокращения непроизводительных затрат времени [8]. Первое направление уже успешно осуществляется в буровых установках (БСК2М-100, СБА-500, ЗИФ-650М, ЗИФ-1200МР) с максимальной скоростью вращения снаряда до 600-1000 об/мин.

Кроме того, будут широко внедряться унифицированные установки типа УКБ со скоростью вращения до 1600 об/мин, включая модификацию этих установок.

Опытная эксплуатация базовых установок УКБ-4, УКБ-5, УКБ-7 в различных производственных условиях показала возможность увеличения их производительности от 650 до 850 м/ст-мес.

Создана также автоматизированная установка Урал-125А для бурения разведочных скважин на нефть и газ. Для этой установки разрабатывается система автоматической оптимизации бурения «САОБ».

Сокращение непроизводительных затрат времени будет зависеть от внедрения методов бурения с гидравлической транспортировкой керна, с извлечением керна съемным керноприемником на канате и заменой поро-

130

Таблица 47

Параметры	Тип машины			
	ГВ-5	Г-7	Г-9	Г-8А
Гидроударные машины				
Наружный диаметр гидроударника, мм	73	70	64	90
Диаметр бурения, мм	76, 93	76, 96	69	96, 115
Рабочая жидкость	Вода или глинистый раствор	Вода	Вода	Вода и глинистый раствор
Расход жидкости, л/мин	140-160	200	120-160	200
Ресурс рабочего времени, ч:				
на воде	400			
на глинистом растворе	700			
Перепад давления в машине, кгс/см ²	15-20	25-35		
Энергия единичного удара, кгс·м	1,2-1,8	5,0-7,0	4,0-5,0	7,8
Частота ударов в 1 мин	2800-3440	1500	1200	1200
Ход клапана, мм	6-7			
Свободный ход бойка, мм	4			
Длина гидроударника, мм	1280	1965	2545	3210
Масса, кг	30	45	31	143
Пневмоударники				
Параметры	Тип машины			
	РП-130	РП-111	РП-34	
Общий расход воздуха, м ³ /мин	10-12	7	5	
в том числе на работу ударного узла	6,5	3,5	2,5	
Давление воздуха, кгс/см ²	6-7	6-7	6-7	
Энергия удара, кгс·м	25-30	14-16	15-18	
Частота ударов в 1 мин	900-1100	1650-2000	1500-1800	
Диаметр бурения, мм	132, 152	113	96	
Глубина бурения при давлении воздуха в сети 6-7 кгс/см ² , м:				
сухих скважин	250-300	250-300	250-300	
обводненных скважин	100-150	100-150	100-150	
Моторесурс (расчетный), ч	450	450	450	
Габариты, мм:				
диаметр по выступам	130	111	94	
длина	1027	1027	1027	
Масса, кг	62	40	40	

Таблица 4

Тип станка	Частота вращения шпинделя, об/мин	Диаметр коронок, мм			
		93	76	59	46
ЗНФ-300М	102	0,45	0,36	0,28	0,20
	182	0,80	0,64	0,49	0,37
	237	1,04	0,84	0,64	0,48
	480	2,10	1,69	1,29	0,97
ЗНФ-650М	87	0,42	0,34	0,26	0,20
	118	0,57	0,46	0,36	0,28
	188	0,91	0,74	0,58	0,45
	254	1,23	1,05	0,78	0,61
	340	1,65	1,35	1,04	0,81
	460	2,23	1,82	1,42	1,10
	576	2,80	2,29	1,77	1,38
	800	3,89	3,18	2,47	1,92
СБА-500	104	0,46	0,37	0,28	0,21
	193	0,85	0,68	0,52	0,39
	281	1,24	0,99	0,76	0,56
	430	1,66	1,34	1,02	0,76
	699	3,10	2,47	1,89	1,44
	1015	4,45	3,57	2,72	2,04
СБА-800	130	0,57	0,46	0,35	0,26
	230	1,02	0,81	0,62	0,46
	320	1,40	1,13	0,86	0,64
	450	1,98	1,59	1,21	0,91
	600	2,64	2,12	1,62	1,21
	800	3,50	2,84	2,16	1,62
	ЗНФ-1200МР	75	0,33	0,26	0,21
136		0,60	0,49	0,37	0,28
231		1,01	0,82	0,62	0,47
288		1,26	1,01	0,77	0,58
336		1,48	1,19	0,90	0,69
414		1,82	1,46	1,12	0,83
516		2,28	1,83	1,39	1,04
600		2,64	2,12	1,62	1,21
УКБ-200/300	200	0,97	0,79	0,61	0,48
	365	1,77	1,45	1,12	0,87
	655	3,18	2,60	2,02	1,57
	1020	4,96	4,05	3,14	2,45
	1500	7,30	5,96	4,63	3,61
УКБ-4	155—1600	0,75— —7,78	0,61— —6,36	0,74— —4,94	0,37— —3,85
УКБ-5	120—1500	0,58— —7,30	0,47— —5,96	0,37— —4,63	0,28— —3,61
УКБ-7	0—1500	0—7,30	0—5,96	0—4,63	0—3,61

доразрушающего инструмента без подъема буровой колонны. Осуществление этих мероприятий резко сократит время на спуско-подъемные операции и значительно повысит производительность бурения.

Область эффективного применения ударно-вращательного бурения с использованием гидро- и пневмоударников будет расширяться в направлении создания высокочастотных машин при соответствующей (оптимальной) энергии единичных ударов. Такими машинами являются гидроударники типа ГВ-5 и ГВ-6, позволяющие увеличивать эффективность вращательного бурения вследствие передачи на породоразрушающий инструмент ударных нагрузок высокой частоты. Гидроударник такого типа может применяться как при твердосплавном, так и при алмазном видах бурения.

Установление рациональных областей применения различных способов бурения имеет большое практическое значение. Объем разведочного бурения в предстоящем пятилетии (1976—1980 гг.) будет непрерывно увеличиваться. Необходимо также учитывать, что относительное увеличение физических объемов работ должно быть достигнуто не за счет увеличения соответствующих ассигнований, техники и рабочей силы, а за счет повышения производительности труда.

Намечается существенный рост объемов бурения глубоких разведочных скважин, связанный с переходом на бурение скважин малого диаметра (46—76 мм). Это упрощает их конструкцию, позволяет применять более легкое оборудование и использовать форсированные режимы бурения [6, 14]. Эта точка зрения в настоящее время является основной. Она прежде всего основывается на перспективе широкого развития алмазного бурения с применением высоких окружных скоростей вращения в пределах технической характеристики новых типов буровых станков (табл. 48) [44].

В настоящее время разработано и применяется более ста типоразмеров буровых коронок и долот, армированных алмазами и твердыми сплавами [44]. В этой связи возникает необходимость их группировки (классификации) по наиболее важным конструктивным позициям и назначению.

Алмазные коронки делятся на однослойные (04АЗ,

Классификация
породоразрушающего
инструмента
для вращательного
бурения

05АЗ, 06АЗ, 07АЗ, 3ЛН, 14АЗ); многослойные (01МЗ, 01М4); импрегнированные (02Н4, 02Н5, 02Н3, ИМВ-4, ИМВ-5, 03Н5, 1АГК-80М, 1АГК-80с); однослойные и импрегнированные для двойных труб второго типа (01АЗ, 1НЗ); однослойные и импрегнированные для двойных труб четвертого типа (КДТ-4А, КДТ-4И); однослойные коронки для специальных колонковых труб (КДТ-Э, КДТ-ОЭ); специальные однослойные и импрегнированные коронки для направленного и многозабойного бурения (12АЗ, 13НЗ).

Внедрение нового комплекса алмазных коронок ВИТР для бурения пород VI—XII категорий обеспечит повышение стойкости по сравнению с серийными коронками в 1,5 раза. К ним относятся однослойные коронки с зубчатой конфигурацией торцевой части 15АЗ, 16АЗ и коронки с плоским торцом А4ДП.

Коронки армируются дроблеными полированными алмазами зернистостью 8—20 в коронках 15АЗ и 16АЗ и от 10—20 до 60—90 в коронках А4ДП. Кроме того, в коронках 15АЗ и 16АЗ в вершине каждого зуба имеется импрегнированный слой с алмазами, усиливающий интенсивность разрушения породы.

В порядке усовершенствования импрегнированных коронок разработаны и приняты к серийному производству импрегнированные коронки И4ДП. Они также армируются дроблеными полированными алмазами зернистостью 200—400 шт/карат и отличаются высокой износостойкостью вследствие нового состава матрицы и наличия подрезных алмазов.

Алмазные долота делятся на однослойные (08АЗ, 09АЗ) и импрегнированные (08ИЗ). Данные о конструктивных особенностях, индексации, диаметрах и зернистости алмазов приведены в табл. 49 (по данным ВИТР [44]).

Однослойные коронки со стандартной матрицей, отличающиеся зубчатой формой (06АЗ, 15АЗ, 16АЗ), рекомендуются для бурения пород малой динамической прочности ($F_d=8$ и менее) и малой абразивностью ($K_{abr}<0,5$) типа мергелей, мелов, сидерит-глинистых пород, слабых железных руд, песчаников и песчано-глинистых сланцев (категории IV—VII).

Однослойные коронки с выступающими алмазами и ребристой боковой поверхностью (05АЗ), а также коронки 15АЗ рекомендуются для бурения пород с дина-

мической прочностью от малой до умеренной ($F_d=4 \div 12$) и умеренной абразивности ($K_{абр}=0,5 \div 1,0$) типа аргиллитов, алевролитов, песчанистых сланцев, некрепких песчаников, филлитовых сланцев, некрепких известняков, крупнозернистых мраморов (категории V—VIII).

Однослойные коронки со стандартной матрицей и с невыступающими алмазами (01A3), а также коронки А4ДП рекомендуются для пород с динамической прочностью от малой до умеренной ($F_d=10 \div 20$) и средней абразивностью ($K_{абр}=1,0 \div 1,5$) типа песчаников, известняков, доломитов, мраморов, основных и ультраосновных изверженных пород типа дунитов, пироксенитов, перидотитов, габбро и их излившихся аналогов — порфиритов, диабазов, базальтов (категории VII—IX).

Однослойные коронки с твердой матрицей (01A4) могут применяться для более прочных ($F_d=16 \div 24$) и абразивных ($K_{абр}=1,5 \div 2,0$) пород типа окремненных аргиллитов, алевролитов, известняков и доломитов, метаморфизованных песчаников, эффузивных пород типа андезитов, дацитов, фельзитов, липаритов и их туфов, а также интрузивных пород типа габбро, диоритов и метаморфических пород типа скарнов, кристаллических сланцев, гнейсов и некрепких железистых кварцитов и роговиков (категории VIII—X). Однослойные коронки с утолщенной матрицей (14A3) рекомендуются для бурения трещиноватых пород VII—IX категорий.

Применение коронок типа А4ДП, армированных полированными алмазами, позволяет расширить область применения однослойных коронок в пределах пород VII—XI категорий.

По данным ВИТР коронки этого типа рекомендуется использовать в зависимости от образования на зернах алмазов площадок притупления.

Бурение незатупленными алмазами — первая стадия использования коронок. После того как образованные площадки притупления алмазов начинают значительно снижать скорости бурения, их используют на других, менее твердых, породах, что соответствует второй стадии использования коронок. Такой подход к использованию коронок А4ДП, равно как и других типов однослойных алмазных коронок, является вполне обоснованным. Он вытекает из закономерностей увеличения относительной износостойкости истирающего материала при бурении менее твердых пород [25].

Конструктивная особенность	Индексация		Диаметр, мм		Зернистость алмазов, шт/кват		Масса алмазов, карат			
	по ТУ 2-037-79-72	условная	наружный	внутренний	объемных	подрезных	яблоко	клинчатое	подрезных	
<i>Коронки</i>										
Однослойные с выступающими алмазами и ребристой боковой поверхностью	04A3	МВП-1	59	42	10-20	10-20	15,6	10,4	5,2	
			76	59			18,0	12,0	6,0	
	05A3	МВП-2	93	73	20-30	20-30	23,4	16,4	7,0	
			59	42			11,5	6,0	5,5	
	06A3	МВС-2р	76	59	7-8	5-10	13,7	8,0	5,7	
76			59	7,5			6,0	1,5		
93			73	-9,0			-7,0	-2,0		
Однослойные с невыступающими алмазами	07A3	АКМ	46	31	20-30	20-30	13,0	10,0	3,0	
	01A3	АК-1	59	42	20-30	20-30	-16,0	-11,0	-5,0	
			76	59			6,9	3,8	3,1	
				36	22	20-30	20-30	10,5	6,5	4,0
				46	31			13,2	8,2	5,0
				59	42			4,9	2,7	2,2
				76	59			6,5	4,0	2,5
				93	73	30-40	10-20	10,0	6,0	4,0
				112	92			14,0	8,0	6,0
				76	59			17,0	9,5	7,5
93				73	18,8			8,5	10,3	
01A4	МВ-1	36	22	20-30	20-30	4,9	2,7	2,2		
			46	31			6,5	4,0	2,5	

01A3	01A4		59	42	30-40	30-40	10,0	6,0	4,0
			76	59			14,0	8,0	6,0
01A3	01A4		93	73	30-40	30-40	17,0	9,5	7,5
			112	92			19,0	10,5	8,5
01A3	01A4		36	22	40-50	30-40	4,3	2,6	1,7
			46	31			5,2	3,3	1,9
01A3	01A4		59	42	40-50	30-40	8,6	5,3	3,3
			76	59			10,5	7,0	3,5
01A3	01A4		36	22	50-60	30-40	5,5	1,9	3,6
			46	31			6,4	2,1	4,3
01A3	01A4		59	42	50-60	30-40	11,0	3,9	7,1
			76	59			13,5	5,0	8,5
01A3	01A4		36	22	60-90	30-40	5,5	1,8	3,7
			46	31			6,8	2,2	4,6
01A3	01A4		59	42	60-90	30-40	10,5	3,6	6,9
			76	59			13,6	4,7	8,9
01A3	01A4		59	42	60-90	30-40	6,0	3,2	2,8
			76	59			7,3	3,5	3,8
—	—	ЗАИ	—	—	—	—	—	—	
14A3	01M3	АКУ-1	—	—	—	—	—	—	—
01M3	01M4		36	22	60-90	30-40	5,5	3,9	1,6
			46	31			6,0	4,2	1,8
01M3	01M4		59	42	50-60	20-30	10,5	7,2	3,3
			76	59			12,0	8,5	3,5
01M3	01M4		93	73	60-90	40-60	21,8	15,8	6,0
			36	22			5,6	3,9	1,7
01M3	01M4		46	31	60-90	40-60	7,0	4,2	2,8
			59	42			11,0	7,2	3,8
01M4	01M4	МВ-3М	76	59			13,0	8,5	4,5

Конструктивная особенность	Индексация		Диаметр, мм		Зернистость алмазов, шт/кират		Масса алмазов, карат				
	по ТУ 2-037-79-72	условная	наружная	внутренняя	объемных	подрезных	общая	объемных	подрезных		
Импрегнированные	01M3	AK-3	36	22	90-120	30-40	5,2	3,6	1,6		
	01M4	AK-3M	46	31							
	01M4	MB-3M MB-3M	59	42	90-120	40-60	10,0	6,8	3,2		
			76	59			12,2	8,5	3,7		
			36	22			5,3	3,6	1,7		
			46	31			6,8	4,0	2,8		
	02M3 02M4	HMB-3 HMB-1	59	42	120-150 или	30-40	10,6	6,8	3,8		
			76	59			13,0	8,5	4,5		
			36	22			5,0	3,1	1,9		
			46	31			7,5	5,2	2,3		
	02M4	HMB-1	59	42	150-400	40-60	12,0	8,8	3,2		
			76	59			16,0	12,0	4,0		
			36	22			5,5	3,1	2,4		
			46	31			8,4	5,2	3,2		
	03M5	HMB-2	59	42	120-150	30-40	13,0	8,8	4,2		
			76	59			17,4	12,0	5,4		
			36	22			5,5	3,8	1,7		
			46	31			7,0	5,0	2,0		
			59	42			12,0	9,5	2,5		
			76	59			16,0	12,0	4,0		
93			73	24,6			18,4	6,2			
Импрегнирование с гранулированными алмазами	—	HMB-4	59	42	400-800	30-40	19,7	16,0	3,7		
			76	59			28,8	24,0	4,8		
			59	42	400-800	40-60	18,8	16,0	2,8		
			76	59			27,6	24,0	3,6		
			—	HMB-5	59	42	800-1200	30-40	27,7	24,0	3,7
					76	59			40,8	36,0	4,8
	59	42			800-1200	40-60	26,8	24,0	2,8		
	76	59	39,6	36,0			3,6				
	Однослойные и импрегнированные для двойных труб второго типа	10A3	1KDT-2 (A31p)	59	39	20-30	20-30	10,0	7,0	3,0	
				76	53			16,0	10,0	6,0	
		10A3	1KDT-2 (A31p)	59	39	40-60	20-30	11,0	8,0	3,0	
				76	53			17,0	11,0	6,0	
10A3		1KDT-2 (A31p)	59	39	60-90	30-40	13,0	10,0	3,0		
			76	53			18,0	14,0	4,0		
11M3		1KDT-2/M3	59	39	120-400	30-40	13,0	10,0	3,0		
			76	53			18,0	14,0	4,0		
—		KDI-4A	59	34	20-30	20-30	10,0	7,0	3,0		
			76	46			14,0	9,0	5,0		
—	KDT-4и	59	34	120-400	30-40	15,0	10,0	5,0			
		76	46			21,0	15,0	6,0			
—	KDT-Э KDT-ОЭ	76	42	20-30	20-30	4,5	3,5	1,0			
		76	42			11,0	8,5	2,5			
—	AKШ	59	31	20-30	20-30	8,0	5,5	2,5			
		76	42			9,0	6,0	3,0			
—	HKШ	59	31	120-140	20-30	12,0	8,0	4,0			
		76	42			11,0	9,0	3,0			

Конструктивная особенность	Индексация		Диаметр, мм		Зернистость алмазов, шт/карат		Масса алмазов, карат		
	по ТУ 2-037- 79-72	условная	наружная	внутренняя	объемных	подрезных	общая	объемных	подрезных

Доломит

Импregnированные для бескернового направленного и многозабойного бурения	08113	МЦС-11-46	-	-	-	-	-	-	-
Однослойные для бескернового направленного и многозабойного бурения	08А3 09А3	МЦС-1-46 МЦС-1-59	-	-	-	-	-	-	-

Многослойные коронки со стандартной и твердой матрицами (01М3, 01М4) оптимальны для бурения окремненных разностей осадочных пород, кварцевых песчаников, гранитоидов, эффузивов окварцованных, железистых кварцитов, скарнов и ороговикованных пород. Динамическая прочность подобных пород изменяется от малой до средней ($F_d = 8 \div 24$), а абразивность от средней до сильно абразивной ($K_{абр} = 1,0 \div 2,5$) — категории VIII—X.

Импрегнированными коронками со стандартной матрицей (02И3) можно эффективно бурить породы, рекомендованные для бурения многослойными коронками.

Импрегнированные коронки с твердой (02И4) и очень твердой (03И5) матрицами рекомендуется применять для сильно абразивных ($K_{абр} = 2,0 \div 3,0$) пород типа ноздреватых кварцитов, гранатовых скарнов и окварцованных пород крупнозернистой структуры (категории IX—XI).

Новые импрегнированные коронки типа И4ДП позволяют более эффективно бурить породы X—XII категорий по сравнению с серийными коронками 02И3 и 02И4.

Область применения алмазных долот со стандартной матрицей определяется абразивными породами малой и умеренной прочности VIII—X категорий буримости.

Группировка буровых коронки по конструктивным особенностям делятся на:
твёрдосплавного порода разрушающего инструмента
1) ребристые с большим зазором между кольцом коронки и твёрдосплавными вставками (М1, М2, М5); 2) резцовые со ступенчатым расположением резцов (СМ4, СМ3, СМ5, СМ6 *); 3) тонкопластинчатые и микрорезцовые самозатачивающегося типа (СА1, СА2, СА3, СА4); 4) резцовые с одинаковым выступом резцов (СТ2).

Стандартные типы коронок, составляющих основу каждой из групп, дополняются конструкциями, разработанными различными организациями, получивших широкую известность [25].

Типоразмеры породоразрушающих инструментов, армированных резцами твёрдого сплава, приведены в табл. 50.

* В настоящее время в СКБ НПО «Геотектоника» ведутся исследования по созданию микрорезцовых коронок взамен резцовых (СМ3, СМ4, СМ5, СМ6) для сокращения количества типов коронок.

Тип коронки	Индекс		Диаметр, мм	Конструктивная особенность коронки	Порода
	по ГОСТ 11108-70	прежние			
Ребристые	M1	KP-1	93, 112, 132	Большой зазор между кольцом коронки и твердосплавными вставками	Глины, суглинки, торф, пески (I-II категории)
	M2	KP-2	93, 112, 132, 151		
	M5	KP-5	93, 112, 132, 151		
Резцовые со ступенчатым расположением резцов	CM4	MP2HP-1	76, 63, 122, 132, 152	Мелкорезцовые	Глины, слабо цементированные, песчанники, глинистые алевролиты, мергели, мел (II-III категории) Глины плотные, аргиллиты, известняки органогенные, глинистые сланцы, слабо цементированные песчанники (III-IV категории) Аргиллиты, алевролиты, песчаные и глинистые сланцы, известняки, известняки доломитизированные, песчанники слабые, соли, гипсы, слабые железные руды, породы, содержащие никель, марганцевые руды (IV-V категории) Сланцы песчано-глинистые, песчанники, известняки, доломиты, аргиллиты, алевролиты, серпентиниты, затронутые выветриванием, габбро, порфириды, диабазы и их туфы (V-VI категории)
	CM3	C	46, 59, 76, 93, 112, 132, 151	Резцы со сквозными осевыми отверстиями	
Самозатачивающиеся	CM5	ИММ	46, 59, 76, 93, 112, 132, 151	Резцы ориентированы в радиальном и осевом направлениях	Плотные разновидности аргиллитов, алевролитов, известняков и доломитов, песчанники аркозовые, дуниты, порфириды, затронутые выветриванием, перидотиты (VI-VII категории) Песчанники полимиктовые, алевролиты разнородные, скарны рудные, слабые конгломераты, скарны преимущественно пироксенкарбонатного состава, перидотиты, затронутые выветриванием, габбро, диориты, диабазы (VII-VIII категории) Песчанники, частично окремненные, известняки, доломиты, аргиллиты и алевролиты, пироксениты, габбро, андезиты, туфы (VIII-IX категории)
	CA1	CA1 ТПЗ	36, 46, 59, 76, 93, 112, 132	Тонкопластинчатые	
	CA2	BT-4	46, 59, 76	Микрорезцовые	
	CA4 CA3	BT-45a KH-1	93, 112, 132 93, 112, 132	С одинаковым выступом резцов	
CT2	CT6	46, 59, 76, 112, 132, 151	Известняки, доломиты, песчанники, гравилиты, чередующиеся по твердости породы, трещиноватые (VI-VIII категории)		

При использовании коронок обращается внимание на конструктивные особенности некоторых из них; например, основное отличие коронок СМЗ от коронок СМ4 заключается в применении резцов восьмигранной формы со сквозными отверстиями. Это уменьшает площадь контакта резцов с забоем скважины, что увеличивает удельную нагрузку на породу и повышает скорость бурения.

Коронки СМ5 и СМ6, как и коронки СМ4, армированы резцами размером $3 \times 3 \times 8$ мм из сплава ВК6, но отличаются от последних ориентированной их вставкой.

В коронке СМ5 резцы ориентированы в радиальном направлении под углом 10 и 15° к радиусу коронки, а в коронках СМ6 — в радиальном и осевом направлениях с образованием отрицательных передних углов, что улучшает условия эффективного разрушения пород.

Ребристые коронки предназначаются для бурения твердых, малоустойчивых и пучащих пород типа глин, суглинков, песков, мергелей, мелов, слабо сцементированных песчаников и других пород I—IV категорий. Механические свойства перечисленных пород могут иметь сопротивление вдавливанию штампа $p_{ш}$ от $0,1$ до $10-30$ кгс/мм²; динамическую прочность F_d от $0,5$ до $2,0$; абразивность $K_{абр}$ до $0,5$.

Резцовые коронки со ступенчатым расположением резцов рекомендуются для бурения аргиллитов, алевролитов, глинистых и песчано-глинистых сланцев, слабых песчаников, известняков, доломитов, мраморов, серпентинитов, кристаллических сланцев, порфиритов и их туфов, затронутых выветриванием перидотитов, пироксенитов, диабазов ($F_d = 5 \div 12$; $K_{абр} = 0,4 \div 1,1$; $\rho_m = 8,4 \div 23$ (категории VI—VII)).

Самозатачивающиеся коронки рекомендуются для бурения песчаников, песчаных сланцев, частично окремненных аргиллитов, алевролитов, известняков, интрузивных и эффузивных пород ультраосновной и основной магм (перидотиты, пироксениты, габбро, порфириты, базальты, диабазы), скарны преимущественно пироксен-карбонатного состава ($F_d = 8,2 \div 15$; $K_{абр} = 0,8 \div 1,6$; $\rho_m = 16,2 \div 26$ (категории VII—VIII, частично IX)).

В табл. 51 и 52 представлены характеристики шарошечных долот геологоразведочного стандарта, включая долота малого диаметра. Необходимо также учитывать пикобуры и лопастные долота гидромониторного типа,

Таблица 51

Шифр долота	Диаметр, мм	Тип присоединительной резьбы	Диаметр промывочного отверстия, мм
-------------	-------------	------------------------------	------------------------------------

Тип К

Ш-59К	59+0,75	Н-41,5	15
Ш-76К	76+0,75	3-50	18
Ш-93К	93+0,75	3-50	18
Ш-112К	112+0,75	3-63,5	25
В-132К	132+1,0	3-63,5	25
В-151К	151+1,0	3-92	30

Тип Т

1В-93Т	93+0,75	3-50	16
1В-112Т	112+0,75	3-63,5	18
1В-132Т	132+1,0	3-63,5	28
1В-151Т	151+1,0	3-92	44

Тип С

В-93С	93+0,75	3-50	16
1В-93С	93+0,75	3-50	16
1В-112С	112+0,75	3-63,5	28
1В-112СГ	112+0,75	3-63,5	25
1В-132С	132+1,0	3-63,5	28
1В-151С	151+1,0	3-92	44

широко применяющиеся при бескерновом бурении. Пикобуры и гидромониторные долота лопастного и шарошечного типов оптимальны для бурения мягких пород типа глин и суглинков. Рационально их использовать также при проходке мергелей, мелов, глинистых сланцев, известняков и песчаников малой динамической прочности и абразивности.

Назначение шарошечных долот различных типов (С, Т, К) определяется в основном дробяще-скалывающим принципом разрушения пород, при котором в меньшей степени сказывается их твердость и абразивность, особенно при бурении долотами типа К, работающими исключительно на удар. По этой причине долота типа С, работающие на резание и удар, рекомендуются для бурения пород умеренной абразивности, а долота типа Т, в которых еще меньше выражено сдвигающе-режущее действие, — для проходки пород от средней абразивности до абразивных. Долота типа К целесообразно

Таблица 62

Показатель	Шифр долота		
	1В-112МГ	1В-132МГ	1В-151МГ
Диаметр, мм	112+0,75	132+1,0	151+1,0
Тип присоединительной резьбы	3-63,5	3-63,5	3-92
Тип шарошки	Самоочи- щаю- щиеся	Трехконусные	
Промывочные каналы:			
количество	2	2	2
диаметр, мм	12	14	15
Диаметр отверстий гидравлических насадок, мм:			
конической	8	8	8
цилиндрической	12	14	15
Максимальная допустимая нагрузка на долото, тс	3,0	5,0	6,5
Максимальная допустимая частота вращения долота, об/мин	600	600	600
Высота долота, мм	177	210	220
Масса долота, кг	4,5	6,7	8,1

использовать для бурения наиболее абразивных пород. Шарошечные долота дробяще-скалывающего действия позволяют эффективно проходить весьма твердые и весьма абразивные породы, значительно расширяя область эффективного применения коронок из твердых сплавов.

§ 3. Комплексы горных пород рудных полей и продуктивных толщ как основа типизации условий буровой разведки

Представление о составе и физико-механических свойствах рудовмещающих пород было дано автором ранее [25]. В указанной работе подчеркивается возможность выделения отдельных горнопромышленных районов, отличающихся по составу и физико-механическим свойствам рудовмещающих пород.

В работе выделяются районы: Кривой Рог, КМА, зеленокаменная полоса Урала, Горная Шория, Донбасс, отличающиеся по геологическим условиям, механическим свойствам пород и их буримости.

Породы, характерные для перечисленных горнопро-

мышленных районов, встречаются и в других местах Советского Союза. Так, железистые кварциты, характерные для Кривого Рога, широко распространены в КМА, Центральном Казахстане и являются объектом разведки и добычи. Зеленокаменные породы, развитые на восточном склоне Урала, являются рудовмещающими породами цветных металлов на Кольском полуострове, в районе развития сибирских траппов, на Русской платформе. Гранитоиды и метаморфический комплекс пород, вмещающих железорудные и другие типы оруденения, встречаются на Урале, Алтае и в других районах страны. Геологический разрез Донбасса является достаточно характерным и в менее сложном виде встречается в Кузбассе и в других каменноугольных бассейнах СССР.

Учитывая специфику каждого из перечисленных горно-промышленных районов, автор дает некоторые рекомендации по наиболее рациональному использованию существующих способов бурения, породоразрушающих инструментов и применению целесообразных режимов бурения разведочных скважин.

Данные рудных месторождений и результаты изучения геологических разрезов и определения механических свойств рудовмещающих пород многих месторождений позволили установить генетические комплексы горных пород, в которых залегают основные месторождения полезных ископаемых, и дать их количественную характеристику (табл. 53).

В табл. 53 приведены семь комплексов горных пород: осадочные, осадочные метаморфизованные, метаморфический комплекс пород, преимущественно основные и ультраосновные интрузивные, преимущественно гранитоиды, вулканогенные и вулканогенно-осадочные, сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород.

В комплексах преимущественного развития основных и ультраосновных изверженных пород и в комплексах гранитоидов встречаются их излившиеся аналоги, а также осадочные и метаморфические породы, однако параметры их механических свойств, как правило, невелики и поэтому для типизации условий буровой разведки не имеют практического значения. В то же время выделение комплексов с преимущественным развитием основных и ультраосновных пород, а также комплексов

Генетический комплекс пород	Горная порода	Средние механические	
		динамическая прочность F_d	взрывность $K_{вбр}$
Осадочный	Алевритовые глины, аргиллиты, алевролиты, песчано-глинистые сланцы, песчаные сланцы, песчаники слабые, песчаники, конгломераты, мергели, известняки, доломиты, бокситы, бокситы плотные, бурые угли, каолинитовые породы, слабые железные руды, бобово-конгломератовые породы, содержащие никель, марганцевые руды, поваренная и калийная соли, мел, сидерит-глинистые породы	4,8 (1,1—9,0)	0,8 (0,2—1,5)
Осадочный метаморфизованный	Метаморфизованные аргиллиты и алевролиты, сланцы песчано-глинистые, сланцы алевролитовые, филлитовые сланцы, песчаники, песчаники кварцевые, песчаники, содержащие киноварь, медь, гравелиты, конгломерато-брекчии, известняки мраморизованные, кремненные, джеспироиды, рудоносные брекчии, руды бурожелезниковые, каменные угли, массивные сурьмяные руды, бокситы, кварцевые жилы	8,4 (4,6—12,7)	1,1 (0,4—1,7)
Метаморфический	Аргиллиты и алевролиты кремненные, песчаники кварцитовидные, углисто-глинистые сланцы кремненные, бокситы каменные, филлиты, доломитизированные известняки, доломиты, мрамор, скарны, известняки кремненные, фосфориты кремненные, кремнисто-глинистые сланцы, роговики, кварциты,	15,4 (7,0—40,0)	2,1 (0,9—2,7)

свойства		Категория горных пород по ρ_M	Полезные ископаемые	Месторождения
объединенные показатели				
ρ_M	ρ_{M1}			
8,0 (2,2—17,5)	9,2	VI (III— VIII)	Железо, бокситы Бокситы » » » Калийные соли Угли » Марганец »	Алапаевское, Северо- Уральские рудники (СУБР) Батьевское Нижне-Тиманский район Татарская группа Ангарское Верхнекамское Красноармейская ГРЭ Новомосковская ГРЭ Никопольское Чиатурское
17,5 (7,5—28,0)	18,0	VIII (VI— IX)	Железо » Медь Свинец, цинк Ртуть » Уголь » » »	Нижне-Ангарское Аккермановское Джезказганское Ачисайское Хайдарканское Никитовское Горловская ГРЭ Шегловская ГРЭ Шахтинская ГРП Киселевская ГРП
55 (10,5— 90,0)	41	X—XI (VII— XII)	Железо » » » Марганец Бокситы » » » Сурьма Золото	Яковлевское Михайловское Криворожское Оленегорское Малохинганское Висловское Новопристанское Обуховское Боксонское Кадамджайское Советское

Генетический комплекс пород	Горная порода	Средние металлические	
		динамическая прочность F_d	образованность $K_{обр}$
Преимущественно основной и ультраосновной интрузивный	<p>гнейсы, мигматиты, парогнейсы, сланцы кристаллические, амфиболиты, кварциты железистые, джеспилиты, роговиково-джеспиронидные брекчии с оруденением, железные руды</p> <p>Перидотиты, пироксениты, дуниты, оподуниты, оливиниты, габбро, габбро-порит, габбро-амфиболит, горнблендит, габбро-диорит, диорит, нефелиновые сланцы, нилолит-мейтелочиты, габбро-диабазы, молчкиты, луявриты, уртиты, фоялиты альбититы, измененные пегматиты, базальты и диабазы, порфириты, кварцевые порфиты, туфы и туффиты, серпентиниты, талько-карбонатные породы, гнейсы, мигматиты, сульфидные руды</p>	14,2 (4,0—28,0)	1,35 (0,6—2,6)
Преимущественно гранитонды	<p>Диориты, кварцевые диориты, адамеллиты, граодиориты, граниты, граносниениты, сиениты, апограниты турмалиновые, диоритовые порфириты, лампрофиры, спессартиты, граодиорит-порфиры, гранит-порфиры, сиенит-порфиры, аплиты, кварцевые порфиры, эффузивные, кварц-полевошпатовые породы с шеелитом, туффиты, роговики, эруптивная и тектоническая брекчии</p>	12,3 (6,4—23,0)	1,70 (0,8—2,7)
Вулкано-генный и вулканогенно-осадочный	<p>Габбро-долериты, габбро-диабазы, долериты, базальты, спилиты, андезиты, порфириты, дациты, липарито-дациты, фельзиты, фельзитовые порфиры, липариты, липаритовые пор-</p>	11,2 (3,8—17,5)	1,30 (0,4—2,5)

свойства		Категория горных поруд по ρ_M	Полезные ископаемые	Месторождение
объединенные показатели				
ρ_M	ρ_{MI}			
			Золото Фосфориты	Мурунтау Дженатасское
33,0 (10,5— 52,0)	31	IX (VII—XI)	Железо » Хром » » » Титан Ванадий » Бокситы Никель » Платина	Качканарское Ковдорское XX лет Казахстана Шоржинское Ревдинское Сарановское Кусинское Гусевогорское Первоуральское Кия-Шалтырское Печенгское Нижнемамонское Норильское
37,0 (15,5— 75,0)	30	X (VIII— XI)	Полиметаллы Золото » Молибден » Вольфрам » » Олово »	Садонское Балейское Ключевское Шахтаминское Кадамжайское Харанарское Холтосонское Букуинское Кестерское Бутугычагское
27,01 (6,5—46,0)	25	IX (V—X)	Железо » Марганец Бокситы Никель	Коршуновское Тагарское Кусинское Наурузумское Норильск I

Генетический комплекс пород	Горная порода	Средние механические	
		динамическая прочность F_d	образованность K_{abr}
Сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород	<p>фиры, кварцевые порфиры, кварцевые альбитофиры, туффиты, туфы и лавы андезитов, туфы оруденелые, туфы кварцевых порфиров, туфолава липаритовых порфиров, туфы агломератные, туфогравелиты, туфопесчаники, лавобрекчии, нерасчлененные эффузивы, эруптивная автомагматическая и тектоническая брекчия, алевролиты, глинистые сланцы, песчаники, конгломераты, мергели, карбонатомергелистые породы, известняки, известняки метаморфизованные, доломитизированные, окварцованные, доломиты, кремнистые сланцы, роговики, колчеданные руды, кварц-карбонатные породы с сульфидами и касситеритом</p>		
	<p>Пироксениты, габбро-диориты, кварцевые диориты, гранодиориты, граниты, диоритосиениты, монзониты, сиениты, гранодиорит-порфиры, порфириты, диабазы, кварцевые порфиры, фельзит-порфиры, альбитофиры, кварцевые альбитофиры, кератофиры, туфы и лавы кислого состава, тектонические брекчии, алевролиты, алевролиты кремнистые, глинистые сланцы, песчаники, песчаники кварцитовидные, конгломераты, известняки, доломиты, известняки кремнистые, туффиты, туфоалевролиты, туфопесчаники, туфоконгломераты, филлиты, роговики биотитовые, скар-</p>	15,0 (4,2—30,0)	1,6 (0,8—2,3)

Иства объединенные показатели		Категория горных пород по ρ_m	Полезные ископаемые	Месторождение
ρ_m	ρ_{m1}			
			Медь » Свинец, цинк То же Висмут Ртуть Олово	Коунрадское Гайское Верхнее Алтынтопканское Адрасманское Чаганузунское Солнечное
46,0 (8,2—85,7)	38	X (VI— XII)	Железо » » » » Медь » Свинец, цинк То же Золото Молибден Вольфрам » »	Гороблагодатское Таштагольское Шерегешское Соколовское Бакальское Саякское Кальмакырское Орловское Хандизинское Березовское Тырныаузское Чорухдайронское Восток-2 Богутинское

Генетический комплекс пород	Горная порода	Средние механические		свойства		Полезные ископаемые	Месторождение
		динамическая прочность F_d	абразивность $K_{абр}$	объединенные показатели			
				ρ_m	ρ_{m1}		
	ны гранатовые и пироксен-гранатовые, скополитовые, рудные, кварциты, вторичные кварциты, гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, кремни, висмут, висмутовые и железные руды, кварцевые золотоносные жилы, кварц-пеллитовые жилы, известково-сланцевые породы с оловянным оруденением					Олово »	Сарыбулакское Благодатненское

гранитоидов позволяет концентрировать внимание в породах, характеризующихся определенными значениями механических свойств, для эффективного разрушения которых необходима соответствующая буровая техника.

В каждом комплексе пород залегают определенные типы месторождений полезных ископаемых соответствующих генетических формаций.

Комплекс осадочных пород характеризуется невысокими значениями механических свойств ($F_d=4,5$, $K_{абр}=0,8$, $\rho_m=8$, категория VI), что вполне согласуется с разностями пород и полезных ископаемых. Числовые значения базируются на определениях указанных свойств пород Верхнекамского месторождения калийных солей и углей (Красноармейская и Новомосковская ГРЭ).

Комплекс осадочных метаморфизованных пород характеризуется более высокими механическими свойствами ($F_d=8,4$, $K_{абр}=1,1$, $\rho_m=17,5$, категория VIII), что вполне отвечает генетическим разностям пород и степени их изменения.

Механические свойства установлены по результатам исследований пород Джезказганского месторождения медистых песчаников, Никитовского месторождения руды и каменных углей, Горловской и Щигровской ГРЭ (Центральный Донбасс), Шахтинской, Каменской и Зверевской ГРП (Юго-Восточный Донбасс), Киселевской ГРП (Кузбасс).

Метаморфический комплекс отличается высокими механическими свойствами ($F_d=15,4$, $K_{абр}=2,1$, $\rho_m=58$, категории X—XI). Это объясняется тем, что в состав этого комплекса входят окремненные разности осадочных пород и метаморфические породы типа роговиков, кварцитов и джеспилитов из железорудных месторождений Кривого Рога и КМА. Данные по динамической прочности и абразивности пород получены нами при изучении железистых кварцитов и рудовмещающих пород Яковлевского и Криворожского месторождений железа, Дженатаского месторождения фосфоритов и Мурнтауского месторождения золота.

Комплекс основных, ультраосновных интрузивных и эффузивных пород характеризуется в среднем умеренной динамической прочностью ($F_d=14,2$), средней абразивностью ($K_{абр}=1,35$) и $\rho_m=33$, что соответствует IX категории. Указанные данные получены при определении механических свойств пород Качканарского месторождения железа, рудовмещающих пород месторождения хрома (XX лет Казахстана), Нижнемамонского месторождения никеля.

Комплекс пород преимущественного развития гранитоидов отличается повышенной абразивностью ($K_{абр}=1,7$), малой до умеренной динамической прочностью ($F_d=12,3$); категория буримости по значению $\rho_m=X$.

Представления о числовых значениях указанных механических свойств получены при исследовании рудовмещающих пород Садонского и Буронского месторождений полиметаллов, Шахтаминского и месторождения молибдена.

Комплекс вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород рассматривается нами по результатам определения механических свойств на месторождениях железа (Тагарское), никеля (Норильское и Талнахское), меди (Гайское), свинца и цинка (Алтынтюпканское), олова (Солпечное). Средние значения механических свойств сравнительно невысоки и определяются средней динамической прочностью ($F_d=11,2$), умеренной до средней абразивности ($K_{абр}=1,3$), значениями $\rho_m=27$, что соответствует IX категории.

Сложный комплекс изверженных метаморфических и осадочных пород характеризуется нами на примере исследования рудовмещающих пород месторождений железа (Гороблагодатское, Таштагольское, Шерегешское, Соколовское), свинца и цинка (Хандизинское), молибдена (Тырныаузское), меди (Алмалыкское).

Породы имеют умеренную динамическую прочность ($F_d=15$), абразивность выше средней ($K_{абр}=1,6$), категория буримости по значению $\rho_m=50$ — X.

В табл. 54 приведены генетический комплекс горных пород и расчетные параметры их механических свойств (средние данные). Таким образом, приведенные в табл. 54 семь комплексов горных пород отличаются как по генетической принадлежности, так и по различным значениям механических свойств. Это послужило основанием для группировки месторождений полезных ископаемых, залегающих в каждом из генетических комплексов пород.

Всего учтено 123 месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых, относящихся к 55 регионам СССР.

Отмечено, что комплексы пород, в которых залегают месторождения полезных ископаемых, встречаются в различных регионах СССР, что позволяет их типизировать.

Например, комплекс осадочных неметаморфических пород, вмещающих месторождения железа, бокситов, никеля, марганца, калийных солей, углей и других пород, развит на Урале, на Балтийском щите, в Московской синеклизе, на Тимане, на западном склоне Урала,

Генетический комплекс горных пород	Механические свойства пород				
	Твердость по методам			прочность на сжа- тие, кгс/см ²	образность Q, мг
	удлинения штампа P, кгс/мм ²	истирания H _{ист}	резания h, мм		
Осадочный	110	120	3,5	600	13
Осадочный метаморфизованный	250	170	3,1	1050	19
Метаморфический	560	400	2,2	1875	43
Преимущественно основной и ультраосновной интрузивный	430	230	2,95	1725	25
Преимущественно гранитоиды	410	320	2,6	1500	33
Вулканогенный и вулканогенно-осадочный	340	220	2,9	1350	24
Сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород	520	290	2,7	1850	30

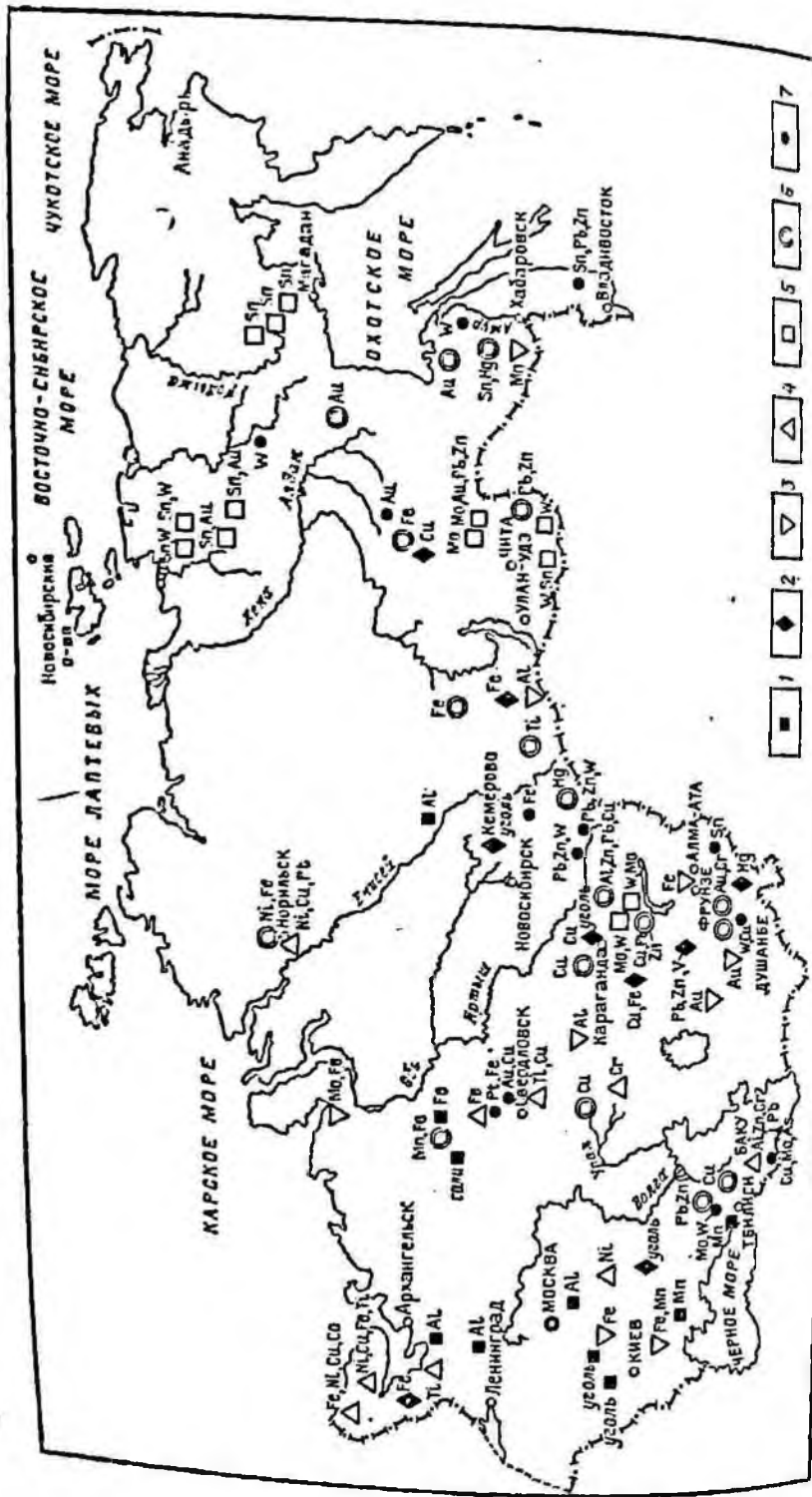
в Северо-Западном Донбассе, в Приднепровье и других районах.

Комплекс осадочных метаморфизованных пород, вмещающих месторождения железа, меди, свинца и цинка, висмута, сурьмы, ртути, каменных углей и других пород, распространен в Восточной Сибири, в Центральном Казахстане, Кара-Тау, в Таджикистане, Якутии, в Центральном и Юго-Восточном Донбассе, в Кузбассе.

Комплекс метаморфических пород, вмещающих месторождения железа, бокситов, фосфоритов, марганца, сурьмы, развит в КМА, Кривом Роге, на Кольском полуострове, Дальнем Востоке, Северном и Южном Урале, Южном Казахстане, в Восточных Саянах, Киргизии, в Енисейском рудном районе, Западном Узбекистане.

Комплекс основных и ультраосновных интрузивных и эффузивных пород, вмещающих месторождения железа, хрома, титана, ванадия, никеля, приурочен к Восточному Уралу, Кольскому полуострову, к Северо-Западному Казахстану, Армении, Южному Уралу, Кузнецкому Алатау, Воронежскому кристаллическому массиву, Алданскому щиту и др.

Комплекс преимущественного развития гранитоидов, вмещающий месторождения полиметаллов, слюды, мо-



- 1
- ◆ 2
- ▽ 3
- △ 4
- 5
- 6
- 7

либдена, вольфрама, олова, встречается на Северном Кавказе, в Забайкалье, в Центральном Казахстане, Бурятии, Якутии, на Колыме.

Вулканогенный и вулканогенно-осадочный комплекс пород, вмещающий месторождения железа, марганца, бокситов, никеля, кобальта, меди, свинца и цинка, висмута, ртути, олова, развит в Восточной Сиббири, Тургайском рудном районе, Туве, Норильском рудном районе, Прибалхашье, Северном Кавказе, Южном Урале, Дальнем Востоке, Таджикистане, Центральном Казахстане, Бурятии, Горном Алтае, на северо-востоке Якутии.

Сложный комплекс изверженных метаморфических и осадочных пород вмещает месторождения железа, меди, свинца и цинка, висмута, сурьмы, молибдена, вольфрама, олова, распространен на Восточном склоне Урала, в Горной Шории, в Тургайском рудном районе, на Южном Урале, в Прибалхашье, Рудном Алтае, в Узбекистане, Таджикистане, Восточной Сибири, в Центральном Казахстане, Чукотке, Киргизии, Приморье.

Принцип типизации указанных генетических комплексов пород и залегающих в них месторождений показан на рис. 32, составленном на основе карты полезных ископаемых мира (ВСЕГЕИ, 1972).

Группировка месторождений по принадлежности к отдельным из семи генетическим комплексам пород может служить основой для типизации условий буровой разведки с целью: 1) планирования и рационального использования буровой техники применительно к каждому из комплексов пород; 2) целенаправленной разработки новой техники и прогрессивной технологии разведочного бурения с учетом специфики каждого из комплексов пород; 3) учета уровня использования новой буровой техники и сопоставления производительности бурения скважин при разведке месторождений, залегающих в каждом комплексе пород отдельно по принципу близости природных условий их залегания; 4) определения перспективных скоростей бурения пород с извест-

Рис. 32. Схема размещения генетических комплексов горных пород применительно к некоторым рудным полям и продуктивным толщам:

- 1 — осадочные породы; 2 — осадочные метаморфизованные породы (уголь, Fe, Cu, Pb, Zn, V, Hg и др.); 3 — метаморфические породы (Fe, Mn, Al, Au);
- 4 — преимущественно основные и ультраосновные интрузивные породы (Fe, Ni, Cu, Co, Ti, Cr, Pt); 5 — преимущественно гранитоиды (W, Mo, Sn, Au);
- 6 — вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы (Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Fe, Hg, Ti, Au, Sn); 7 — сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород (W, Mo, Cu, As, Ti, Mn, Pb, Zn, Fe, Sn)

ными значениями механических свойств при максимальном использовании технических характеристик буровых станков; 5) передачи передового опыта буровой разведки на месторождениях, относящихся к каждому из комплексов пород.

§ 4. Влияние физико-географического положения объектов разведки и физико-механических свойств пород на области рационального применения гидроударных машин и пневмоударников

Гидроударное бурение. Определяющим фактором применения гидроударников является наличие водных источников. Для приведения в действие гидроударных машин и очистки скважины от шлама необходимо иметь 100—200 л/мин жидкости. В связи с этим данный способ бурения неприменим в пустынных и полупустынных областях, в районах многолетней мерзлоты, а также в районах развития карста и трещиноватых зон, вызывающих катастрофическое поглощение промывочной жидкости.

Практически гидроударное бурение следует применять на объектах разведки Центральной Европейской части, на Урале, Алтае, в Забайкалье и на Дальнем Востоке, где водные источники (реки, водозаборы, шахтные воды) близки к местам проведения буровых работ. Опыт также показывает, что этот вид бурения может применяться в горной местности (например, на Северном Кавказе) с наличием горных речек и ручьев с устройством водозаборов вблизи скважин. Гидроударники используются в Донбассе, Дзержинской ГРЭ, Таштагольской ГРП, Шалымской ГРЭ, Кольцовской ГРЭ и Гайской ГРП и других районах.

Для сравнительных испытаний гидроударного и алмазного видов бурения пород, более прочных и абразивных, чем в Дзержинске, Таштаголе и на других указанных выше объектах разведки, были организованы широкие исследования при гидроударном и алмазном бурении разведочных скважин в Южно-Украинской ГРП по гнейсам, гранитам, сланцам, мигматитам, альбититам и альбит-хлоритовым породам.

Характеристика горных пород по их минералогическому составу и физико-механическим свойствам (динамическая прочность, абразивность, объединенный

Физико-механические свойства пород

Порода	Общая характеристика	Минералогический состав (содержание минералов, %)	Физико-механические свойства			Категория пород по значению ρ_m
			F_d	K_{abr}	ρ_m	
Граниты	Порода плотная; серая, темно-серая или розовая неравномерно-зернистая	Плагиоклаз (30—60), кварц (20—30), микроклин (5—20), мусковит, биотит, лейкоксен	8,90— —16,67	1,43— —2,28	24,0— —30,5	IX
	Светло-серая неравномерно-зернистая порода с порфиroidными выделениями полевых шпатов неясной лосчатой или очковой структуры	Плагиоклаз (35—50), кварц (15—40), хлорит (15), эпидот (5—10), кальцит (0—5), сфен	16,70	1,83	25,0	
Альбититы мелкозернистые	Плотные массивные породы вишнево-красного цвета, мелкозернистые с редкими прожилками хлорита	Плагиоклаз (30—40), альбит (40—55), хлорит, гематит, кальцит, апатит	10,53— —16,67	1,15— —2,00	28,0— —48,0	IX
	Породы розового, серого или вишнево-красного цвета, катаклазированные и участками окварцованы	Альбит-олигоклаз (50—60), альбит поздней генерации (15—30), кварц (5—10), хлорит (7—15), гематит, кальцит и апатит	11,11— —20,00	1,15— —2,05	32,0— —60,0	

Порода	Общая характеристика	Минералогический состав (содержание минералов, %)	Физико-механические свойства			Категория пород по значению ρ_m
			F _d	K _{абр}	ρ_m	
Слениты	Породы светло-розового цвета, иногда выщелоченные, пористые, средне-крупнозернистые	Плагиоклаз (55), микроклин (7—15), хлорит (5), эпидот	8,69— —16,67	2,00— —2,50	33,0— —58,0	IX—XI
Гнейсы	Массивные однородные породы темно-серого цвета	Кварц (20—40), полевые шпаты (30—60), биотит, хлорит	9,10— —25,00	0,85— —2,33	23,5— —54,5	IX—XI
Хлорит-альбитовая порода	Породы гнейсового облика, мелкозернистые, зелено-вадо-серого цвета	Плагиоклаз (30—50), хлорит (15—40), эпидот (7—10), гематит или пирит (5), кальцит	16,67— —28,57	0,55— —0,93	15,5— —32,0	VIII—IX

показатель R_m и соответствующие этому показателю категории) приведена в табл. 55. Эти породы относятся в основном к IX—X категориям буримости и редко — к VIII и XI категориям. В ряде случаев породы имеют довольно высокую абразивность (граниты, сиениты) и динамическую прочность (альбититы мелкозернистые, хлорит-альбитовая порода). Результаты бурения представляют большой интерес, поскольку обычно считается, что в породах высокой динамической прочности и абразивности (высокие категории) гидроударное бурение дает низкие показатели величины проходки за рейс и, следовательно, низкие значения рейсовой скорости проходки и сменной производительности буровых агрегатов. Общая проходка при сравнительных испытаниях составила при гидроударном бурении 9275 м и при алмазном — 13 908 м (табл. 56).

Т а б л и ц а 56

Порода	Проходка при бурении за рейс, м		Отношение проходок за рейс при гидроударном и алмазном бурении, %	Механическая скорость проходки при бурении, м/ч		Относительные механические скорости при гидроударном и алмазном бурении, %
	гидроударном	алмазном		гидроударном	алмазном	
Альбитит	2,30	2,90	79,3	1,80	1,36	139,7
Гранит	2,24	3,05	73,4	1,50	2,00	75,0
Мигматит	1,93	3,17	—	1,96	1,29	1,52
Сиенит	2,74	4,05	67,6	1,80	1,77	101,7
Гнейс	2,42	3,90	62,05	1,80	1,72	75,6

Из табл. 56 видно, что скорости бурения гидроударником превышают скорости алмазного бурения при разбуривании альбититов и магматитов и равны им при разбуривании сиенитов, а проходка за рейс при использовании гидроударников практически не меняется.

Учитывая, что гидроударное бурение проводилось с использованием машин Г-5А, логично предположить, что применение более совершенных гидроударников (Г-7 и Г-9) позволит получить более высокие показатели бурения.

Пневмоударное бурение. Пневмоударники более целесообразно применять в зонах вечной мерзлоты.

ты, в пустынях и засушливых областях, где трудно найти источники водоснабжения. Имеющиеся материалы позволяют лишь частично показать целесообразность применения пневмоударного бурения в зонах развития пустынь и многолетней мерзлоты.

Примером экономически эффективного бурения пневмоударниками в зоне многолетней мерзлоты являются результаты буровой разведки на Улахон-Эгелякском месторождении олова (Ясное РайГРУ) *.

Породы этого месторождения представлены сильно метаморфизованными песчано-глинистыми и песчанистыми сланцами, реже глинистыми и углисто-глинистыми сланцами, тонко- и мелкозернистыми песчаниками на известковом или кремнистом цементе. Физико-механические свойства песчаников невысоки (F_d около 15, $K_{абр} = 0,5 \div 1,0$). Вблизи рудных тел вмещающие породы ороговикованы. Рудные тела представлены двумя типами: жилами выполнения и минерализованными зонами дробления.

Месторождение характеризуется наличием многолетней мерзлоты, распространяющейся до глубины 300—350 м; водопритоки наблюдаются на глубинах свыше 350 м.

Вода подводится на объекты разведки с расстояния 5 км. Наличие многолетней мерзлоты и трудности доставки воды обуславливают широкое применение на указанных месторождениях сжатого воздуха для очистки скважины от шлама.

Пневмоударное бурение проводилось пневмоударниками РП-111 и РП-96 в сочетании с коронками КП-113 и КДП-113.

Механическая скорость бурения в породах различных категорий при вращательном (дробовом, твердосплавном и алмазном), ударно-вращательном (пневмоударном) способах бурения приведена в табл. 57.

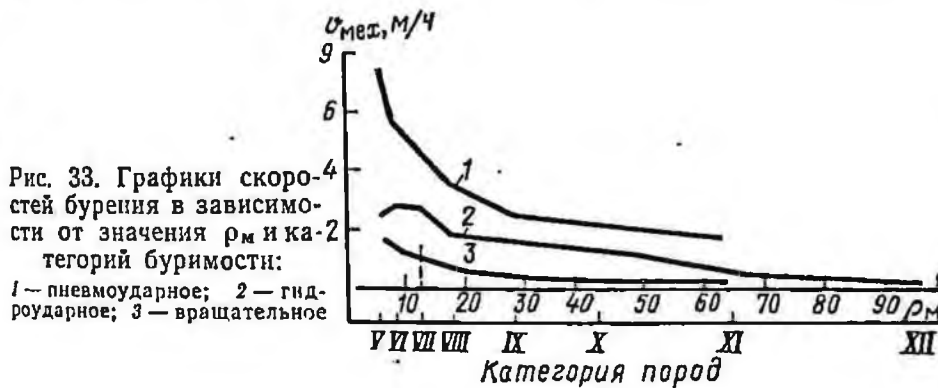
Общая стойкость коронок в 1,5—2 раза превышает стойкость алмазного породоразрушающего инструмента. Стоимость 1 м проходки при пневмоударном бурении на 36% ниже стоимости бурения алмазными коронками и на 48% ниже стоимости при бурении дробью и твердосплавными коронками. Максимальное изменение зенит-

* Материалы лаборатории пневмоударного бурения Тульского отделения экспериментального исследования ЦНИГРИ.

Вид бурения	Механическая скорость проходки в породах различных категорий, м/ч					
	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Дробовое с продувкой	—	—	1,1	0,8	0,51	0,28
Твердосплавное с продувкой	1,6	1,2	0,3	—	—	—
Алмазное с промывкой	—	—	1,15	0,83	0,61	0,50
Пневмоударное	8,5	5,9	4,6	2,8	2,1	1,7

ного угла на 100 м скважины не превышает 2° и азимутального — $2^\circ 30'$.

На рис. 33 приведены сравнительные скорости бурения гидро- и пневмоударниками горных пород различных категорий по буримости, установленных на основе



ρ_m . Используются результаты бурения пневмоударниками в северо-восточных районах, а результаты гидроударного бурения получены при бурении скважины в различных районах СССР.

Из рис. 33 видно, что пневмоударное бурение в 2 раза производительнее гидроударного в породах VI категории. При увеличении значения ρ_m и категорий буримости пород преимущественно пневмоударного бурения несколько снижается (в породах X категории v_m выше в 1,75 раза). В породах XI категории это преимущество снова возрастает (v_m при пневмоударном бурении в 2,6 раза выше по сравнению с гидроударным). Данных бурения пневмоударниками в породах XII категории пока нет.

В породах V категории скорость бурения гидроударниками ниже, чем в породах VI категории, тогда как при пневмоударном бурении этого не отмечается. Это можно объяснить тем, что бурение пневмоударным способом производилось в зоне многолетней мерзлоты, в льдистых породах.

Скорость бурения гидроударниками и пневмоударниками в несколько раз превышает практические скорости твердосплавного и дробового видов бурения.

Необходимо учитывать, что при бурении обводненных скважин скорость бурения пневмоударниками снижается примерно в 1,5—2 раза. Уменьшение v_m объясняется прежде всего снижением энергии удара пневмоударника из-за увеличения противодавления при выхлопе отработанного воздуха. На показатели бурения гидроударными машинами и пневмоударниками оказывают определенное влияние технические условия бурения. Говоря о преимуществе пневмоударного над гидроударным бурением необходимо иметь в виду, что создание гидроударников Г-9 и высокочастотных гидроударных машин типа ГВ-5 и ГВ-6, применяющихся в сочетании с твердосплавным и алмазным видами вращательного бурения, способствует развитию буровой техники и повышению показателей бурения гидроударниками.

§ 5. Методические положения оценки эффективности применения различных способов разведочного бурения и породоразрушающих инструментов

Экономическим критерием оценки эффективности применения буровой техники может быть комплекс технико-экономических показателей, включая стоимость 1 м бурения скважины.

В настоящее время существует несколько методов определения экономической эффективности породоразрушающих инструментов.

В работе [31] для определения себестоимости 1 м проходки алмазными долотами рекомендуется использовать зависимость, аналогичную принятой для шарошечных долот,

$$C = \frac{nd + 3_v \left(\frac{H}{v_m} + na + nb \right)}{H}, \text{ руб/м}, \quad (33)$$

где n — количество рейсов; d — цена долота (с учетом

возврата алмазов) в руб.; Z_b — стоимость 1 ч проката бурового оборудования в руб/ч; H — проходка в м; v_m — механическая скорость проходки в м/ч; a — средняя продолжительность одного спуско-подъема в ч; b — средняя продолжительность подготовительно-вспомогательных работ в расчете на один рейс в ч.

Стоимость показателя работы алмазных долот предлагается определять также по более простой формуле [1]:

$$C = \frac{Z_b}{v_p} + \frac{d}{h}, \text{ руб/м,} \quad (34)$$

где v_p — рейсовая скорость бурения в м/ч; h — проходка на долото в м.

Приведенные выше формулы содержат значения стоимости 1 ч проката бурового оборудования Z_b , которое при колонковом вращательном бурении алмазными коронками практически не определяется. Этот недостаток устранен в работе [19], где стоимость 1 м бурения алмазными коронками предлагается определять по формуле

$$C = \Sigma E_m + \frac{\Sigma E}{v_t}, \text{ руб/м,} \quad (35)$$

где ΣE_m — сумма стоимости износа породоразрушающего инструмента на бурение 1 м скважины в руб/м; ΣE — сумма стоимости фактических затрат на 1 станко-смену по статьям расходов без затрат по износу породоразрушающих инструментов в руб/ст.-смену; v_t — техническая скорость бурения в м/ст.-смену.

Сумма стоимости фактического износа породоразрушающего инструмента на бурение 1 м скважины (ΣE_m) определяется по формуле

$$\Sigma E_m = \frac{\Sigma C_i}{\Sigma h_i}, \text{ руб/м,} \quad (36)$$

где C_i — стоимость i -ой коронки данного типа в руб.; h_i — величина проходки i -ой коронки в м.

Расчет суммы фактических затрат на 1 станко-смену по статьям расходов без затрат по износу породоразрушающих инструментов (ΣE) определяется в соответствии с СУСН по сметным нормам основных расходов.

Учитывая, что фактические затраты по статьям расходов (основная зарплата рабочих и ИТР, материалы и электроэнергия, накладные расходы, износ, амортизация, услуги и транспорт) изменяются для различных условий

бурения незначительно [15], целесообразно в целях упрощения расчетов ограничиться определением суммы стоимости износа породоразрушающего инструмента на бурение 1 м скважины по формуле (36).

Таким расчетом можно воспользоваться как экспресс-методом при определении рациональной области применения различных типов породоразрушающих инструментов в сочетании с другими технико-экономическими показателями, а также при сравнении экономической эффективности различных способов разведочного бурения.

При сравнении гидроударного и алмазного видов бурения необходимо учитывать стоимость коронки и забойного инструмента.

При алмазном бурении определяют лишь стоимость буровой коронки. При гидроударном бурении, помимо коронки, необходимо учитывать стоимость гидроударника и его ресурс работы до списания. При сравнении алмазного бурения с пневмоударным, кроме коронки, необходимо учитывать стоимость пневмоударника с учетом его ресурса работы.

Применительно к алмазным коронкам была проанализирована работа 465 алмазных коронок: 263 однослойных (01А3; 01А4) и 202 импрегнированных (02И3, 02И4). Одновременно определены физико-механические свойства пройденных горных пород: коэффициент динамической прочности F_d и коэффициент абразивности $K_{абр}$ по методу ЦНИГРИ; объединенный показатель ρ_m рассчитывался по формуле $\rho_m = 3F_d^{0.8} K_{абр}$. Значения свойств исследованных горных пород приведены в табл. 58.

Таблица 58

Порода	Число образцов	Механические свойства			Категория буримости породы по ρ_m
		F_d	$K_{абр}$	ρ_m	
Известняки	6	10,65	0,53	10,9	VII
Песчаники	2	13,8	0,90	22,0	VIII
Порфиры, диабазы	11	17,5	1,10	32,0	IX
Диориты	2	14,4	1,69	36,5	X
Граниты, гранодиориты	8	7,92	2,22	38,2	IX—X
Кварциты	6	17,8	1,68	54,2	XI

Из табл. 58 видно, что наименее прочными породами являются граниты и гранодиориты, а порфириты, диабазы и кварциты — наиболее прочными. Остальные породы (известняки, песчаники и диориты) занимают промежуточное положение.

Менее абразивными являются известняки, песчаники, порфириты и диабазы, а более абразивными — диориты, кварциты, граниты и гранодиориты. Положение пород по значению объединенного показателя видно из таблицы, где известняки относятся к VII категории, песчаники к VIII, порфириты и диабазы к IX, диориты, граниты и гранодиориты к X и кварциты к XI.

В табл. 59 приведены результаты обработки фактических данных по отработке однослойных и импрегнированных коронок.

Задаваясь относительно высокими проходками на коронку и сравнительно низкими значениями расхода алмазов и стоимости коронки на 1 м бурения, можно в первом приближении определить области применения однослойных и импрегнированных коронок; однослойные коронки следует применять для бурения пород типа известняков, порфиритов и диабазов, а импрегнированные — для бурения песчаников и кварцитов. Диориты, граниты и гранодиориты занимают промежуточное положение, где возможно использование как однослойных, так и импрегнированных коронок.

Более детальный анализ результатов отработки коронок с учетом зернистости алмазов, которыми армированы коронки, позволил уточнить рациональные и нерациональные типы коронок для каждой из указанных разновидностей пород (табл. 60). Механические скорости, не приведенные в табл. 60, колеблются в небольших пределах (от 1,18 м/ч для кварцитов до 1,2—1,25 м/ч для известняков и песчаников), что, вероятно, связано с приближенным учетом времени чистого бурения.

При сопоставлении показателей бурения рациональными и нерациональными типами коронок определяющей будет в основном стоимость коронки на 1 м бурения, зависящая от проходки, до ее износа.

Важно заметить, что данные приведены при использовании коронок для бурения одних и тех же пород.

При бурении известняков использовались однослойные коронки 01А3 с зернистостью алмазов 30—40 шт/карат, однослойные коронки 01А4 с зернистостью алмазов

Порода	Категория буримости пород "Рм"	Рациональные типы коронок	Интервал бурения	Среднее значение				Нерациональные типы коронок	Интервал бурения, м	Среднее значение			
				проходка на коронку, м	проходка за рейс, м	удельная стоимость коронки, руб/м	удельный расход алмазов, карат/м			проходка на коронку, м	проходка за рейс, м	удельная стоимость коронки, руб/м	удельный расход алмазов, карат/м
Известняки	VII	01АЗД30К20 01АЗД40К30	503,6	20,98	3,7	1,78	0,48	01А4Д75К30 02ИЗТ150К30 02И4Д150К40	65,1	8,1	2,82	6,30	1,75
				240,1	14,1	3,7	2,38			0,68	104,07	6,1	2,6
Песчаники	VIII	01АЗД60К30 01А4Д50К50 02ИЗД150К60 02И4Д150К60	242,0	12,7	3,0	2,30	0,63	02ИЗТ300К60	29,6	7,4	3,1	5,11	1,41
				103,0	12,8	2,76	2,00			0,57	15,3	5,1	2,5
Порфиры, диабазы	IX-X	01АЗД75К30 01АЗД40К30 02ИЗД150К60	662,0	12,7	2,6	2,38	0,64	01АЗК20К20 02ИЗД300К60 02И4Д300К60	248,0	6,4	2,9	5,79	1,83
				01АЗД75К30 01А4К40К40	103,0	12,8	2,76			2,00	0,57	01А4К60К30	15,3
Диориты	X	02ИЗД150К60 02И4Д150К60 01АЗД75К30 01А4К40К40	40,8	10,2	3,0	3,34	1,20	01АЗД30К30 01А4Д40К30	8,4	2,1	1,0	14,42	3,83
				02ИЗТ300К60 02ИЗД300К60	103,0	12,8	2,76			2,00	0,57	01А4К60К30	15,3
Гранодиориты, гравиты	XI	02ИЗТ300К60 02ИЗД300К60	40,8	10,2	3,0	3,34	1,20	01АЗД30К30 01А4Д40К30	8,4	2,1	1,0	14,42	3,83
				02ИЗТ300К60 02ИЗД300К60	103,0	12,8	2,76			2,00	0,57	01А4К60К30	15,3
Кварциты													

Порода	Число коронок	Показатели бурения односторонними коронками				коронки	1 м бурения	Число коронок	Показатели бурения импрегнированными коронками				коронки	1 м бурения
		проходка на коронку, м	удельный расход алмазов, карат/м	механическая скорость бурения, м/ч	удельная стоимость, руб./м				проходка на коронку, м	удельный расход алмазов, карат/м	механическая скорость бурения, м/ч	удельная стоимость, руб./м		
Известняки	47	14,42	0,49	1,16	2—03	7—03	23	13,37	1,03	0,97	2—47	8—11		
Песчаники	60	5,53	0,98	1,00	4—03	10—39	31	9,87	1,04	1,09	3—31	8—50		
Порфиры, диабазы	50	10,68	0,63	1,00	2—83	8—16	21	15,11	0,75	1,42	3—42	7—63		
Диориты	7	7,54	0,72	0,95	2—76	9—16	9	11,84	0,77	0,93	2—48	8—59		
Граниты и гранодиориты	76	9,02	0,77	1,22	3—19	8—10	90	11,21	1,08	1,18	3—17	8—20		
Кварциты	23	4,17	1,58	1,04	6—25	12—27	28	6,34	1,97	0,94	5—85	11—87		

75 шт/карат, а также импрегнированные коронки 02И3 и 02И4 с зернистостью 150 шт/карат. Наименьшая стоимость коронки на 1 м бурения (1,78 руб/м) получена при использовании коронок 01А3 с крупными алмазами. Использование других типов коронок показало стоимость несравненно более высокую (6,30 руб/м).

При бурении песчаников использовались коронки 01А3 с зернистостью 60—50 и 30—40 шт/карат и коронки 02И3 и 02И4 с зернистостью 150 шт/карат. Наименьшая стоимость (2,38 руб/м) относится к данным бурения однослойными коронками 01А3 с более мелкими алмазами (50—60 шт/карат) и импрегнированными коронками с зернистостью 150 шт/карат. Использование коронок 01А3 с крупными алмазами привело к значительному удорожанию стоимости расхода алмазов на 1 м бурения (5,2 руб/м).

При бурении порфиров и диабазов применялись коронки 01А3 с зернистостью 40—75 шт/карат и коронки с зернистостью алмазов 150 и 300 шт/карат. Наименьшая стоимость (2,30 руб/м) относится к бурению коронками 01А3 и 02И3 с зернистостью алмазов 40—75 и 150 шт/карат соответственно. Использование коронок 02И3, армированных алмазами 300 шт/карат, повысило удельную стоимость коронки до 5,11 руб/м.

Бурение диоритов коронками 01А3 с зернистостью 40 шт/карат дало невысокую стоимость (2 руб/м) в противоположность данным бурения коронками 01А4 с зернистостью 60 шт/карат, где стоимость составила 5,39 руб/м.

При бурении гранодиоритов и гранитов наименьшая стоимость коронки на 1 м бурения (2,38 руб/м) получена при использовании импрегнированных коронок с зернистостью 150 шт/карат и однослойных коронок с более мелкими алмазами (40—75 шт/карат).

Использование однослойных и импрегнированных коронок, армированных алмазами 20—30 и 300 шт/карат соответственно, дало значительное удорожание стоимости истирающих материалов (5,79 руб/м).

При бурении кварцитов рациональными типами коронок (02ИЗД300К60 и 02ИЗТ300К60) получена удельная стоимость коронки 3—34 руб/м против 14—42 руб/м при использовании нерациональных (однослойных) типов коронок.

Из сказанного видно, что технико-экономические по-

казатели бурения рациональными типами коронок несравненно лучше. Если учесть лишь удешевление стоимости коронки на 1 м бурения, то экономия средств от применения рациональных типов коронок выразится в сумме 4—72 руб/м (табл. 61).

Таблица 61

Горная порода	Удельная стоимость коронки на 1 м бурения, руб/м		Перерасход, руб/м
	нерациональные типы коронок	рациональные типы коронок	
Известняки	6,30	1,78	4,52
Песчаники	5,52	2,38	3,14
Порфириды, диабазы	5,11	2,29	2,82
Диориты	5,39	2,00	3,39
Гранодиориты, граниты	5,80	2,38	3,42
Кварциты	14,42	3,34	11,08
Средняя	7,09	2,36	4,72

Принимая во внимание, что объем бурения нерациональными типами коронок для рассмотренного случая составляет около 20%, можно предположительно считать, что ожидаемая экономия средств от применения рациональных типов коронок будет достаточно большой.

1. По документации на отработанные коронки или по результатам хронометражных работ при проведении технологических исследований проводят сбор данных, которые по каждой коронке включают: индекс коронки, пройденные породы, проходку на коронку (м), число рейсов, фактический удельный расход алмазов (карат/м), стоимость коронки (руб.), суммарное время чистого бурения (ч), режим бурения (осевая нагрузка, скорость вращения, расход промывочной жидкости).

2. Собранные данные систематизируют по типам коронок; для каждого типа коронок — по разностям пород или по группам пород, близких по механическим свойствам.

3. Определяют среднюю величину проходки на коронку для каждого типа коронок по каждой разности пород:

$$l = \frac{\sum h_i}{n},$$

где h_i — величина проходки i -ой коронки в м; n — общее число коронок данного типа, обработанных по исследуемой разности пород.

4. Определяют среднюю величину удельного расхода алмазов q

$$q = \frac{\sum (q_i h_i)}{\sum h_i},$$

где q — удельный расход алмазов i -ой коронки в карат/м.

5. Определяют среднюю величину механической скорости $v_{\text{мех}}$

$$v_{\text{мех}} = \frac{h_i}{\sum t_{ki}},$$

где t_{ki} — время чистого бурения i -ой коронки данного типа по исследуемой разности пород в м/ч.

6. Рассчитывают стоимость 1 м бурения коронками данного типа

$$C = \sum E_m + \frac{\sum E}{v_r},$$

где $\sum E_m$ — сумма стоимости износа породоразрушающего инструмента на бурение 1 м скважины в руб/м; $\sum E$ — сумма стоимости фактических затрат по статьям расходов в стоимости 1 ст.-смены без затрат по износу породоразрушающих инструментов в руб/ст.-смену; v_r — техническая скорость бурения в м/ст.-смену.

Сумма стоимости фактического износа породоразрушающего инструмента на бурение 1 м скважины ($\sum E_m$) определяется по формуле

$$\sum E_m = \frac{\sum C_i}{\sum h_i}, \text{ руб/м.}$$

где C_i — стоимость i -ой коронки данного типа в руб.; h_i — проходка i -ой коронки в м.

Расчет суммы фактических затрат по статьям расходов в стоимости 1 ст.-смены без затрат по износу породоразрушающих инструментов ($\sum E$) определяется в соответствии с СУСН по сметным нормам основных расходов.

Учитывая, что фактические затраты по статьям расходов (основная зарплата рабочих и ИТР, материалы и электроэнергия, накладные расходы, износ, амортизация, услуги и транспорт) изменяются для различных условий бурения незначительно [15], целесообразно для упрощения расчетов ограничиться определением суммы стоимости износа породоразрушающего инструмента на бурение 1 м скважины по формуле (36).

Определение показателей физико-механических свойств горных пород

1. По результатам ознакомления с геологическим строением и данными по отработке коронок определяют наиболее часто встречающиеся горные породы на данном объекте исследования. Отбирают образцы этих пород из керна нового материала тех скважин, на которых отработывались исследуемые коронки.

2. По отобраным образцам горных пород определяют коэффициенты динамической прочности и абразивности и рассчитывают объединенный показатель по методике, изложенной в ОСТ 41—89—74 «Породы горные. Метод контрольного определения категорий по буримости для вращательного бурения».

По каждой разности горных пород проводят два—три определения каждого показателя свойств.

Определение областей рационального применения породоразрушающего инструмента

1. Определяют вид зависимости (в виде графиков или таблиц) комплекса технико-экономических показателей бурения (проходка на коронку, удельный расход алмазов, механическая скорость бурения и стоимость 1 м бурения) от каждого из показателей физико-механических свойств пород (коэффициенты динамической прочности и абразивности, а также объединенный показатель).

2. Проводят анализ полученных зависимостей, в процессе которого определяют характер изменения зависимости, максимумы и минимумы, точки перегиба и т. д. На основании проведенного анализа выделяют количественные значения физико-механических свойств, соответствующие областям рационального применения породоразрушающего инструмента, по которым отмечена наибольшая эффективность по всему комплексу технико-экономических показателей*.

* В разработке данной методики принимал участие Б. И. Тузов.

§ 6. Примерные области рационального применения различных способов разведочного бурения и породоразрушающих инструментов

Для выработки рекомендаций по определению областей рационального применения буровой техники автор обобщил имеющиеся данные, сгруппировав горные породы по механическим свойствам и категориям буримости; по генетическим типам пород, характеризующихся определенными значениями механических свойств; по генетическим комплексам пород рудных полей и продуктивных толщ, отличающихся по механическим свойствам.

Необходимость рассмотрения рекомендаций по применению буровой техники применительно к перечисленным группировкам горных пород объясняется стремлением раскрыть многообразие пород по генетической принадлежности к числовым значениям механических свойств. Вместе с тем имеющиеся данные позволяют показать возможность их группировки для практического использования при выборе рациональной буровой техники.

Разработка рекомендаций по использованию буровой техники на основе группировки пород по механическим свойствам и категориям буримости позволит правильно ориентироваться при выборе рациональных способов бурения и породоразрушающих инструментов.

Разработка аналогичных рекомендаций для генетических типов пород позволит связать представления о той или иной разности пород с конкретными значениями механических свойств.

Кроме того, выработка рекомендаций по применению буровой техники, в частности породоразрушающих инструментов, для генетических типов пород будет служить предпосылкой при выработке таких рекомендаций для комплексов пород, вмещающих месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых.

В последнем случае должны быть выработаны комплексы технических средств, предусматривающих эффективное бурение скважин в различных по составу и механическим свойствам породах.

В результате многочисленных исследований горные породы были сгруппированы по механическим свойствам для установления рациональных областей применения раз-

Группировка
горных пород
по механическим
свойствам и буримости

личных способов разведочного бурения (табл. 62). Из табл. 62 видно, что породы по твердости и абразивности делятся на породы малой твердости и малой абразивности, умеренной твердости и умеренной абразивности, средней твердости и средней абразивности, твердые и абразивные, очень твердые и очень абразивные, весьма твердые и весьма абразивные.

Совместная группировка пород по твердости и абразивности основана на связи между этими свойствами, зависящими в основном от минералогического состава пород, в том числе от содержания в них кварца, граната и других твердых минералов.

По механической прочности выделяются две группы пород: умеренно прочные и весьма прочные, зависящие в основном от структуры и текстуры породы, от ее плотности. Например, граниты наряду с их высокой твердостью являются вместе с тем хрупкими, имеющими сравнительно невысокое сопротивление статическим и особенно динамическим нагрузкам.

Породы, не содержащие кварца (например, диабазы), являются весьма прочными, но легче разрушаются при истирании и резании, чем кварцсодержащие породы.

Сравнительно дробное деление пород по твердости и абразивности объясняется стремлением облегчить задачу определения рациональных областей применения различных видов вращательного бурения, при котором эти два свойства являются контролирующими и значительно влияют на его показатели.

Разделение пород на две группы по механической прочности преследует цель по возможности отделить породы с невысоким сопротивлением ударным нагрузкам от пород высокой прочности. Это в свою очередь позволяет отделить преимущественно кварцсодержащие породы с ясно выраженной кристаллической структурой от пород, не обладающих этими свойствами.

Такой подход к группировке пород позволяет подойти к рекомендациям рациональных областей применения различных способов и видов бурения с учетом возможной реакции пород при их разрушении.

Исходя из приведенной группировки горных пород по механическим свойствам нами сделаны рекомендации по рациональному использованию буровой техники (табл. 63).

Область применения вращательного бурения тверды-

Параметры твердости и

K_{abr}	0,2—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5
Q , МГ	0,8—8,0	8,0—17	17—28
$H_{вет}$	3—70	70—150	150—260
$R_{ш}$, кгс/мм ²	0,1—100	100—200	200—300
Нц. з. к.	10—20	20—28	28—35
Группа пород	Малой твердости и абразивности	Умеренной твердости и абразивности	Средней твердости и абразивности
Категория по бурности	I—IV	V—VI	VII—VIII
Породы слабой и умеренной прочности:	Песок, суглинок, глина песчанистая, глина мергелистая, мергель, мел, известняк, мрамор, серпентинит, туфобрекчия, сланец глинистый, гипс, магнезит, змеевик, алевролит, кварцево-серпичитовая порода, сланец углистый	Доломит, скарни карбонат-пироксеновый, конгломерат преимущественно карбонатного состава, апатит, руда магнетитовая, песчаник на слабом цементе, ийолит, сланец песчанистый, известняк частично окремленный	Туфопесчаник, туф кварцевого порфира, скарни эпидото-пироксеновый, песчаник аркозовый, андезит, сиенит, трахилларит, руда колчедановая, кварцево-серпичитовая порода, скарни рудный, сланец хлористо-кварцевый, пироксенит, песчаник кварцево-слюдистый
Породы высокой прочности:		Скарни пироксеновый, альбитизированный, скарни пироксеновый, хлорит-серпичитовая порода плотная, скарни пироксеновый карбонатизированный, диабаз хлоритизированный	Адамеллит-порфир, диорит скарнированный, диабаз, аргиллит плотный окремленный, туф андезитового порфирита альбитизированный, диорит-порфир, Сазальт, сиенит-диорит, порфирит ороговикованный, скарни эпидот-хлорит-пироксеновый

Примечание. K_{abr} — коэффициент абразивности пород в раздробленном равнии; H_p — твердость пород по резанию на приборе ОТ конструкции ВИТР; $R_{ш}$ — твердость пород по методу царапания и затухающих колебаний; F_d — коэффициент изгиба; $\sigma_{ж}$ — временное сопротивление пород на одноосное сжатие.

абразивности пород

1,5—2,0
28—42
260—420
300—450
35—42
Твердые и абразивные

IX

Скарн рудный окварцованный, туф ороговикованный, габбро-диабаз, кварцевый порфир, липарит, плагиогранит, граносиенит, кварцевый диорит, габбро, гранодиорит, песчанник полимиктовый, альбитофир серицитизированный, сланец хлорит-магнетит-кремнистый

Альбитофир ороговикованный, диабазовый порфирит, скарн гранато-пироксеновый, роговик пироксеновый, роговик амфиболо-магнетитовый, диоритовый порфирит, скарн гранатовый мелкозернистый, амфиболит, роговик, кварц биотитовый

2,0—2,5

42—50

420—650

450—600

42—50

Очень твердые и абразивные

X

Кварц жильный, гранит, кварц, турмалиновая порода, песчаник кварцевый, роговик силикато-магнетитовый, скарн гранатовый, пегматит, гнейс, роговик кварцево-серицитовый, руда колчедановая, окварцованная гранито-гнейс

Граносиенит-порфир, адамеллит, порфирит ороговикованный, альбитит, роговик амфиболовый, роговик магнетитовый, скарн амфиболовый, роговик биотитовый, скарн гранатовый, эпидозит, джеспилит

2,5—3,0 и более

59 и более

650—900 и более

600—800 и более

50—60 и более

Весьма твердые и абразивные

XI—XII

Кварцит, поговик калишпатизированный, сиенит окварцованный, гранит аплитовидный, роговик железистый

Поздраватые роговики, кварциты, сильно окварцованные породы

состоянии; Q — абразивность пород в монолите; $H_{\text{ист}}$ — твердость пород по всту твердость пород по методу вдавливания штампа (метод Л. А. Шрейнера); $H_{\text{д.з.к}}$ — динамической прочности по методу толчения; W' — удельная ударная вязкость на

$K_{\text{вбр}}$	0,2—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5
Q , мг	0,8—8,0	8—17	17—28
$H_{\text{вст}}$	3—70	70—150	150—260
H_p , мм	4,3 и более	4,3—3,2	3,2—2,8
P , кгс/мм ²	0,1—100	100—200	200—300
$H_{\text{д. з. к.}}$	10—20	20—28	28—35
Группа пород	Малой твердости и абразивности	Умеренной твердости и абразивности	Средней твердости и абразивности
Категория по буряемости	I—IV	V—VI	VII—VIII
Породы умеренной прочности: $F_{\text{д}} < 16$ $W_1 < 8$ кгс·см/см ² $\sigma_{\text{сж}} < 3000$ кгс/см ²	Ребристые твердосплавные коронки и шарошечные долота типа М	Резцовые и самозатачивающиеся твердосплавные коронки	Однослойные Гидроударники и Шарошечные долота типов С и Т
Породы высокой прочности: $F_{\text{д}} > 16$ $W_1 > 8,0$ кгс·см/см ² $\sigma_{\text{сж}} > 3000$ кгс/см ²	—	Коронки, армированные более прочными режцами твердого сплава и с большей насыщенностью их в коронке	Однослойные алмазные

Таблица 63

1,5—2,0	2,0—2,5	2,5—3,0 и более
28—42	42—59	59 и более
260—420	420—650	650—930 и более
2,8—2,5	2,5—2,2	2,1 и менее
300—450	450—600	600—800 и более
35—42	42—50	50—60 и более
Твердые и абразивные	Очень твердые и абразивные	Весьма твердые и абразивные
IX—X		XI—XII
алмазные коронки		Шарошечные долота типа К
пневмударники		
Многослойные и импрегнированные коронки		
Шарошечные долота типов Т и К		
Многослойные и импрегнированные коронки с более твердой матрицей		
коронки с алмазами повышенного качества		
Шарошечные долота типов Т и К и пневмударники		

ми сплавами ограничивается практически бескварцевыми породами малой и средней твердости и абразивности (I—VIII категорий по буримости). В частности, ребристые коронки, пикобуры, долота лопастного типа, армированные резцами с готовым углом приострения, а также шарошечные долота типа М выгоднее применять при бурении пород малой твердости и абразивности.

Породы умеренной твердости и абразивности целесообразно бурить тонкостенными коронками, армированными резцами с готовым углом приострения и ступенчатым их расположением, а также долотами уступообразной формы. Область применения самозатачивающихся коронок может быть распространена на породы средней твердости и абразивности.

При ударно-вращательном способе бурения область применения твердых сплавов значительно увеличивается. Этот способ бурения осуществляется гидро- и пневмоударниками, а также шарошечными долотами вращательно-ударного действия.

Как видно из табл. 63, ударно-вращательное бурение можно применять для всех групп пород по твердости и абразивности (V—XII категорий по буримости), имеющих умеренную механическую прочность. При бурении весьма прочных пород эффективность применения указанных видов буровой техники снижается; однако эту технику следует применять, особенно шарошечные долота типа К, при высоких осевых нагрузках, а также пневмоударники, имеющие высокую энергию единичных ударов.

Вращательное алмазное бурение применяется для пород средней твердости и абразивности до весьма твердых и абразивных.

Однослойные алмазные коронки целесообразно применять для бурения пород от средней твердости и абразивности до очень твердых и абразивных, а многослойные и импрегнированные — для бурения более твердых и абразивных пород, включая весьма твердые и абразивные.

При разведке полезных ископаемых на больших глубинах (более 500 м) область применения однослойных алмазных коронок может быть расширена, если встречаются породы умеренной твердости и абразивности (V—VI категорий по буримости). В этом случае коронки должны быть армированы более крупными алмазами.

Генетические типы
горных пород
и рациональная
буровая техника

Многочисленные определения механических свойств пород, выполненные в связи с исследованием их буримости, позволили обобщить имеющиеся данные применительно

к генетическим разностям и дать рекомендации по применению рациональных типов породоразрушающих инструментов (табл. 64).

Из табл. 64 видно, что ультраосновные породы имеют умеренную абразивность ($K_{абр}=1$) и высокую динамическую прочность ($F_d=14$).

Кислые породы обладают сильно абразивными свойствами ($K_{абр}=2,2$) и малой динамической прочностью ($F_d=10$). Подобное изменение физико-механических свойств характерно и для излившихся аналогов глубинных пород. Породы типа базальта, диабазы имеют меньшую абразивность ($K_{абр}=0,9$) и большую динамическую прочность ($F_d=16$) по сравнению с липаритами, кварцевыми порфирами и альбитофирами ($K_{абр}=1,5$, $F_d=13$). По имеющимся данным (см. табл. 45) такая закономерность наблюдается и по показателям твердости и механической прочности, установленным разными методами. Это связано с минералогическим составом и структурой пород.

В кристаллических сланцах наряду с кварцем много слюды, хлорита, кальцита, являющихся нетвердыми минералами, что обуславливает их малую абразивность. Сланцеватая структура этих пород предопределяет низкую динамическую прочность.

Высокая абразивность и динамическая прочность скарнов и роговиков находятся в соответствии с их минералогическим составом и плотным строением. Амфиболиты и амфиболовые роговики, бедные кварцем, имеют умеренную абразивность ($K_{абр}=1$), но весьма высокую динамическую прочность ($F_d=30$) вследствие структурных особенностей.

Осадочные породы обладают низкими физико-механическими свойствами. Аргиллиты, карбонатные породы и песчано-глинистые сланцы имеют малую динамическую прочность ($F_d=6,0-9,4$), малую до умеренной абразивность ($K_{абр}=0,5-0,8$).

Песчаники и конгломераты являются прочными ($F_d=11-13$) и абразивными ($K_{абр}=1,3-1,7$).

Существенное повышение абразивности этих пород

№ группы	Наиболее распространенная порода	Механические свойства (средние данные)			Категория буримости породы по R_M	Рациональный породоразрушающий инструмент
		F_d	$K_{арб}$	P_M		
I	Ультраосновные (перидотиты, пироксениты, дуниты и др.)	14,0	1,0	23,5	VIII	Алмазные (01А3, 15А3, 05А3) и твердосплавные (СМ5, СМ6, СА3) коронки и шарошечные долота типа С
II	Основные (габбро, габбро-нориты, габбро-диориты, габбро-диабазы)	13,5	1,5	35,0	IX	Алмазные (А4ДП, 01А4, 02И3, 01М3) и твердосплавные (СМ1, СМ2, СМ3, СМ6) коронки и шарошечные долота типов С и Т
III	Средние по кислотности (диориты, кварцевые диориты, сиепто-диориты)	12,0	1,7	37,0	IX—X	Алмазные коронки А4ДП (01А4, 01М4, 02И3) и шарошечные долота типа Т
IV	Кислые (граниты, гранодиориты, микрограниты)	10,0	2,2	40,0	X	Алмазные коронки (И4ДП, 02И3, 02И4, 01А4) и шарошечные долота типа К
V	Щелочные (сienиты, граносиениты)	11,0	1,7	37,5	IX—X	Алмазные коронки (А4ДП, 01А4, 01М3, 01М4) и шарошечные долота типа Т
VI	Излившиеся породы основной магмы (базальты, диабазы, порфириты, андезиты, туфы)	16,0	0,9	23,0	VIII	Алмазные (05А3, 01А3, 15А3, 01А4, 01М3) и твердосплавные (СМ4, СМ6, СМ3) коронки, алмазные 09А3 и шарошечные долота типа С
VII	Излившиеся породы кислой магмы (лпариты, кварцевые порфиры, альбитофиры, кератофиры, лампрофиры, фельзиты, туфы)	13,0	1,5	37,0	IX—X	Алмазные коронки А4ДП (01А4, 01М3, 01М4, 02И3), алмазные 08И3 и шарошечные долота типа Т
VIII	Преимущественно рудные жильные образования (кварцевые, кварцево-	6,8	1,8	25,0	VIII—IX	Алмазные коронки для одиночных колонковых труб, эжекторных шаро-
	сульфидные жилы, кварцево-турмалиновые породы)					дов и эрлифтных установок (01А4, А4ДП, 02И3, 01И3, 01М4, 02И4) и алмазные коронки для двойных колонковых труб (10А3, 11И3)
IX	Кристаллические сланцы, гнейсы, кремнистые сланцы	8,7	1,1	18,0	VIII	Алмазные коронки (А4ДП, 01А4, 01М3, 02И3) и шарошечные долота типов С, Т
X	Скарны, листвениты, березиты	16,0	1,52	40,0	X	Алмазные коронки (А4ДП, 01А4, 01М4, 02И4) и шарошечные долота типа Т
XI	Роговики, кварциты, яшмовидные породы	18,0	2,16	60,0	XI	Алмазные коронки (И4ДП, 02И3, 02И4, ИМВ-5, 03И5) и шарошечные долота типа К
XII	Амфиболиты, амфиболовые роговики	30,0	1,0	45,0	X	Алмазные коронки (А4ДП, 01А3, 01А4, 02И3) и шарошечные долота типа Т
XIII	Мергели, мел, аргиллиты, гипс	6,0	0,5	7,5	V—VI	Твердосплавные (М2, М5, СМ3, СМ5), алмазные (04А3, 16А3) коронки, пикобуры, шарошечные долота типа М
XIV	Известняки, доломиты, мрамор	8,4	0,6	9,5	VI—VII	Алмазные (06А3, 15А3, 04А3), твердосплавные (СМ4, СМ5) коронки и шарошечные долота типа С
XV	Песчано-глинистые сланцы, алевролиты, филлиты	9,4	0,8	13,5	VII—VIII	Алмазные (15А3, 05А3, 04А3), твердосплавные (СМ4, СМ3, СМ6) коронки, долота алмазные (09А3) и шарошечные (С)
XVI	Песчаники, туфопесчаники, гравелиты	11,0	1,7	35,0	VIII—IX	Алмазные (А4ДП, 01А4, 01М4, 02И4), твердосплавные (СМ1, СМ4, СМ3) коронки, долота алмазные (08И3) и шарошечные (Т)
XVII	Конгломераты	13,0	1,3	30,0	IX	Алмазные коронки (И4ДП, 01М1, 02И1, 03И5) и шарошечные долота типа К

объясняется содержанием в них твердых минералов (кварц, полевой шпат) и обломков твердых пород (роговики, кварциты, яшмы).

Вследствие многообразия генетических типов горных пород и значительной разницы их механических свойств требуется и большое разнообразие типов породоразрушающих инструментов.

В табл. 64 приведены наиболее распространенные типы породоразрушающих инструментов, армированных алмазами и твердыми сплавами.

Для бурения ультраосновных и основных интрузивных пород рекомендуются однослойные (15А3, А4ДП, 01А3, 05А3, 01А4) и многослойные (01М3) алмазные коронки. В качестве вспомогательных могут использоваться импрегнированные (02И3) алмазные коронки, коронки, армированные твердыми сплавами, и шарошечные долота.

Средние по кислотности породы рационально бурить однослойными (А4ДП, 01А4), многослойными (01М4) и импрегнированными (02И3) алмазными коронками. В качестве вспомогательных рекомендуются шарошечные долота типа Т.

Кислые породы, отличающиеся наиболее высокой абразивностью, целесообразно бурить импрегнированными (И4ДП, 02И3, 02И4) алмазными коронками. В качестве вспомогательных могут быть однослойные коронки типа А4ДП и шарошечные долота типа К.

Щелочные породы, близкие по абразивности к средним по кислотности, рекомендуется проходить алмазными коронками тех же типов, что и для средних пород.

Излившиеся породы основной магмы, обладающие умеренной абразивностью, целесообразно бурить однослойными коронками. Многослойные (01М3) алмазные и твердосплавные коронки и долота необходимо рассматривать как вспомогательные.

Для бурения излившихся аналогов кислой магмы, имеющих среднюю абразивность, более рационально использовать однослойные (А4ДП, 01А4) в сочетании с многослойными (01М4) и импрегнированными (И4ДП, 02И3) коронками. Рекомендованные типы долот имеют вспомогательное значение.

Для бурения жильных образований с абразивностью выше средней потребуются обычные однослойные (А4ДП, 01А4) и импрегнированные (02И3, 02И4) ко-

ронки и коронки для двойных колонковых труб (10А3, 11И3).

Для кристаллических сланцев, гнейсов умеренной и средней абразивности рекомендуются однослойные коронки с твердой матрицей (01А4), многослойные и импрегнированные коронки со стандартной матрицей (01М3, 02И3).

Для бурения скарнов средней абразивности целесообразно применять однослойные, многослойные и импрегнированные коронки с повышенной твердостью матрицы.

Роговики, кварциты — породы очень высокой абразивности — могут эффективно буриться только импрегнированными коронками с разной по твердости матрицей, армированными мелкими алмазами. Исключение составляют амфиболовые роговики, где также целесообразно применять однослойные коронки.

Абразивные песчаники, туфопесчаники, гравелиты следует бурить алмазными коронками многослойного и импрегнированного типа. Твердосплавное бурение этих пород может иметь лишь вспомогательное значение.

Конгломераты, отличающиеся неоднородностью состава и средней абразивностью, могут эффективно буриться многослойными и импрегнированными алмазными коронками и шарошечными долотами типа К.

Для бурения мергелей, мела, аргиллитов, известняков, доломитов, мрамора, песчано-глинистых и песчаных сланцев, алевролитов основным породоразрушающим инструментом являются алмазные коронки 04А3, 06А3, 16А3, 15А3, а также коронки, армированные твердосплавными резцами.

Рекомендации по использованию буровой техники применительно к группировке генетических комплексов пород, вмещающих месторождения полезных ископаемых

При выработке рекомендаций по рациональному применению буровой техники нами учитывались: классификация генетических типов горных пород по механическим свойствам; классификация способов разведочного бурения и породоразрушающего инструмента; характеристика комплексов горных пород рудных полей и продуктивных толщ для регионов развития геологоразведочных работ; влияние физико-географического положения объектов разведки и механических свойств пород на области применения гидроударного и

пневмоударного бурения; методические положения оценки эффективности применения различных способов разведочного бурения и породоразрушающего инструмента.

Учитывались нами и результаты предшествующих исследований по определению областей рационального применения буровой техники [8, 28].

Прежде чем перейти к выработке рекомендаций, необходимо рассмотреть характеристику семи комплексов горных пород, вмещающих многие месторождения полезных ископаемых (см. табл. 53).

При рассмотрении группировки комплексов пород, принятых нами в качестве областей рационального применения буровой техники, необходимо прежде всего обратить внимание на параметры механических свойств каждого из комплексов пород. Механические свойства пород осадочного комплекса соответствуют принадлежности их к данному генетическому типу. Однако большой интервал значений каждого из свойств ($F_d=1,1\div 9$; $K_{абр}=0,2\div 1,5$; $\rho_m=2,2\div 17,5$; категории по буримости III—VIII) объясняется тем, что в этот комплекс входят многие разности пород, начиная от песков, суглинков, глин и мергелей до известняков, нетвердых песчаников, конгломератов, бокситов, железистых и марганцевых руд и никельсодержащих пород.

Механические свойства осадочных метаморфизованных пород выше. Для этого комплекса пород также характерно изменение указанных свойств в значительных пределах ($F_d=4,6\div 12,7$, $K_{абр}=0,4\div 1,7$; $\rho_m=7,5\div 28,0$; категории по буримости VI—IX). Наименьшие значения относятся к слабоизмененным аргиллитам, алевролитам, глинистым сланцам, а наибольшие — к медистым и кварцевым песчаникам, окремненным и оруденелым известнякам, бурожелезняковым рудам.

Комплекс метаморфических пород относится к наиболее прочным и абразивным. Для пород этого комплекса интервал значений особенно велик ($F_d=7\div 40$; $K_{абр}=0,9\div 2,7$; $\rho_m=10,5\div 90$; категории по буримости VII—XII). Минимальные значения относятся к породам типа мраморов, скарнов, филлитов, кристаллических сланцев, а максимальные — к железистым роговикам, кварцитами и джеспиллитам.

Комплекс ультраосновных и основных интрузивных и эффузивных пород характеризуется сравнительно невысокими средними значениями механических свойств,

однако диапазон их изменения также велик ($F_d=4,0 \div 28,0$; $K_{абр}=0,6 \div 2,6$; $\rho_m=10,5 \div 52$; категории по буримости VII—X).

Комплекс гранитоидов многообразен по составу, что сказалось и на их механических свойствах ($F_d=6,4 \div 23$; $K_{абр}=0,8 \div 2,7$; $\rho_m=15,7 \div 75$; категории по буримости VIII—XI).

Сравнительно высокие значения абразивности можно объяснить составом гранитоидов, которые, как правило, содержат значительное количество кварца.

Вулканогенный и вулканогенно-осадочный комплекс пород характеризуется сравнительно невысокими механическими свойствами ($F_d=3,8 \div 17,5$; $K_{абр}=0,4 \div 2,5$; $\rho_m=6,5 \div 46,0$, категории по буримости V—X). Однако диапазон изменения абразивности пород велик, что объясняется наличием в этом комплексе практически бескварцевых осадочных пород типа известняков, доломитов, алевролитов и глинистых сланцев и изверженных пород, содержащих кварц.

Сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород характеризуется многообразием пород и большим диапазоном изменения механических свойств ($F_d=4,2 \div 30$; $K_{абр}=0,8 \div 2,3$; $\rho_m=8,2 \div 85,7$; категории по буримости VII—XII).

Рекомендации по применению рациональной буровой техники приведены в табл. 65. Они разработаны с учетом состава и механических свойств каждого из комплексов пород, полезных ископаемых и наиболее известных месторождений и регионов.

Как видно из табл. 65, рекомендации относятся к способам бурения и буровым машинам, породоразрушающим инструментам и техническим средствам, повышающим качество разведки и производительность разведочного бурения.

Основным способом бурения является вращательный, а вспомогательным — ударно-вращательный с применением гидроударных машин и пневмоударников.

При определении целесообразности использования буровых станков в процессе разведки месторождений каждого из комплексов рудовмещающих пород учитывались глубина, на которую они рассчитаны, и их техническая характеристика, в частности частота вращения шпинделя. Для эффективного использования скоростей вращения буровые станки СБА-500, УКБ-4, УКБ-5, УКБ-6 и

Геологический комплекс пород	Горная порода	Средние механические свойства				Категория горных пород по R_M
		динамическая прочность F_d	абразивность $K_{абр}$	объединенный показатель		
				R_M	R_{M1}	
Осадочный	Алевритовые глины, аргиллиты, алевролиты, песчано-глинистые сланцы, песчаные сланцы, песчаники слабые, песчаники, конгломераты, мергели, известняки, доломиты, бокситы, бокситы плотные, бурый уголь, каолиновые породы, слабые железные руды, бобово-конгломератовые породы, содержащие никель, марганцевые руды, поваренная и калийная соли, мел, сидерит, глинистые породы	4,8	0,8	8,0	9,2	VI
Осадочный метаморфизованный	Метаморфизованные аргиллиты и алевролиты, сланцы песчано-глинистые, сланцы алевролитовые, сланцы филлитовые, песчаники, песчаники кварцевые, песчаники, содержащие киноварь, медь, гравелиты, конгломерато-брекчии, известняки мраморизованные, окремненные, джеспиронды, рудоносные брекчии, руды бурожелезняковые, каменные угли, массивные сурьмяные руды, бокситы, кварцевые жилы	8,4	1,1	17,5	18,0	VIII
Метаморфический	Аргиллиты и алевролиты окремненные, песчаники кварцитовидные, углисто-глинистые сланцы окремненные, бокситы каменистые, филлиты, доломитизированные известняки, доломиты, мраморы, скарны, известняки окремненные, фосфориты окремненные, кремнисто-глинистые сланцы, роговики, кварциты, гнейсы, мигматиты, парогнейсы, сланцы кристаллические, амфиболиты, кварциты железистые, джеспилит, рога-	15,4	2,1	55,0	41	X—XI

Таблица 65

Способ бурения, тип буровых станков и забойных машин		Породоразрушающий инструмент		Технические средства	
основной	вспомогательный	основной	вспомогательный	основные	вспомогательные
Вращательный, СБА-500, ЗИФ-1200МР, УКБ-7 (1200/2000)	Ударно-вращательный, ГВ-5, гидроударно-твердосплавной	М5, СМ3, СМ4, 04А3, 06А3, 16А3	М1, М2, СТ2, 05А3, пикобуры, шарошечные долота типа М	ТДН-4 Комплект КОЭН	ТДН-2
Вращательный, СБА-500, ЗИФ-1200МР, УКБ-7	Г-7, Г-9, РП-94	01А3, 15А3, А4ДП, 02ИЗ, СМ3, СМ5, СМ6, СА1, СА4	05А3, 07А3, 16А3, М5, СМ4, СТ2, долота 09А3 и типа С	ТДН-2 КОЭН ССК	ТДН-4
Вращательный, ЗИФ-650М, ЗИФ-1200МР, УКБ-5 (500/800), УКБ-7	РП-94, ГВ-5, гидроударно-алмазной	01А4, 14А3, 02ИЗ, И4ДП, ИМВ-5	03И5, А4ДП, СА3, СА4, долота 08ИЗ и типов Т и К	ТВД-2	Эжекторные снаряды

Генетический комплекс пород	Горная порода	Средние механические свойства				Категория горных пород по ρ_m
		динамическая прочность F_d	абразивность K_{abr}	объединенный показатель		
				ρ_m	ρ_{m1}	
Преимущественно основной и ультраосновной интрузивный	вико-джеспирондные брекчии с оруденением, железные руды Перидотиты, пироксениты, дуниты, аподуниты, оливиниты, габбро, габбро-норит, габбро-амфиболит, горнblendит, габбро-диорит, диорит, нефелиновые сланцы, ийолит-мейтелочиты, габбро-диабазы, мончикиты, люявриты, уртиты, фойяиты, альбититы, измененные пегматиты, базальты и диабазы, порфириты, кварцевые порфиры, туфы и туффиты, серпентиниты, талько-карбонатные породы, гнейсы, мигматиты, сульфидные руды	14,2	1,35	33	31	IX
Преимущественно гранитоидный	Диориты, кварцевые диориты, адамелиты, гранодиориты, граниты, граносиениты, сиениты, аллограниты, турмалиновые, диоритовые порфириты, лампрофиры, спессартиты, граподиорит-порфиры, гранит-порфиры, сиенит-порфиры, аплиты, кварцевые порфиры, эффузивы, кварц-полевошпатовые породы с шеелитом, туффиты, роговики, эруптивная и тектопическая брекчии	12,3	1,70	37,0	30,0	X
Вулкано-генный и вулканогенно-осадочный	Габбро-долериты, габбро-диабазы, долериты, базальты, спилиты, андезиты, порфириты, дациты, липарито-дациты, фельзиты, фельзитовые порфиры, липариты, липаритовые порфиры, кварцевые порфиры, кварцевые альбитофиры, туффиты, туфы и лавы андезитов, туфы оруденелые, туфы кварцевых порфиров, туфолава липаритовых порфиров, туфы аг-	11,2	1,30	27	25	IX

Способ бурения, тип буровых станков и забойных машин		Породоразрушающий инструмент		Технические средства	
основной	вспомогательный	основной	вспомогательный	основные	вспомогательные
Вращательный, СБА-500, ЗИФ-650м, УКБ-5, УКБ-7	РП-94 Г-9, Г-7, ГВ-5, гидроударно-алмазный	А4ДП, 05А3, 01М3, 02ИЗ	01М4, 02И4, СА3, СА4, долота 09А3 и типов С, Т	ТДВ-2, ССК	Эжекторные снаряды
Вращательный, ЗИФ-650м, СБА-500, УКБ-4 (300/500)	То же	А4ДП, 01А4, 02ИЗ, И4ДП	14А3, 01А3, 01М4, ИМВ-4, долота 08ИЗ и типов Т и К	Эжекторные снаряды ТДН-2	Комплект КОЭН
Вращательный, УКБ-200/300, СБА-500, ЗИФ-1200мр, УКБ-5	Г-9, Г-7, ГВ-5, гидроударно-алмазный	А4ДП, 14А3, 05А3, 01А3, 01М3, 02ИЗ	15А3, 01М4, СМ6, СА4, долота 09А3 и типа С	Эжекторные снаряды ТДВ-2, ССК	Комплект КОЭН

Геологический комплекс пород	Горная порода	Средние механические свойства			Категория горных пород по R_M	
		Динамическая прочность F_d	абразивность K_{abr}	объединенный показатель		
				R_M		R_{M1}
Сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород	<p>ломеративные, туфогравеллиты, туфопесчаники, лавобрекчии, нерасчлененные эффузивы, алевролиты, глинистые сланцы, конгломераты, песчаники, мергели, карбонатно-мергелистые породы, известняки метаморфизованные, доломитизированные, окварцованные, доломиты, кремнистые сланцы, роговики, колчеданные руды, кварц-карбонатные породы с сульфидами и касситеритом</p> <p>Пироксениты, габбро-диориты, кварцевые диориты, гранодиориты, граниты, диорито-сienиты, монцониты, сиениты, гранодиорит-порфиры, порфириты, диабазы, кварцевые порфиры, фельзит-порфиры, альбитофиры, кварцевые альбитофиры, кератофиры, туфы и лавы кислого состава, тектонические брекчии, алевролиты кремнистые, глинистые сланцы, песчаники, песчаники кварцитовидные, конгломераты, известняки кремнистые, туффиты, туфо-алевролиты, туфопесчаники, туфоконгломераты, филлиты, роговики биотитовые, скарны гранатовые и пироксен-гранатовые, скополитовые, рудные, кварциты, вторичные кварциты, гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, кремни, висмутовые и железные руды, кварцевые золотоносные жилы, кварц-пеллитовые жилы, известково-сланцевые породы с оловянным оруденением</p>	15,0	1,6	46,0	38,0	X

Способ бурения, тип буровых станков и забойных машин		Породоразрушающий инструмент		Технические средства	
основной	вспомогательный	основной	вспомогательный	основные	вспомогательные
Вращательный, ЗИФ-650М, ЗИФ-1200МР, УКБ-5 УКБ-7	РП-94, Г-9, Г-7, ГВ-5 с алмазным бурением	А4ДП, 14А3, И4ДП, 02ИЗ, 02И4	15А3, 01М4, 03И5, СА3, СА4, долота 08И3 и типа К	Эжекторные снаряды ТДН-2	Комплект КОЭН ССК

УКБ-7 со скоростью вращения до 1600 об/мин рекомендованы при бурении комплексов пород с меньшими значениями механических свойств.

Буровые станки ЗИФ-650М и ЗИФ-1200МР рекомендованы с учетом возможной глубины буровой разведки и комплексов пород рудных полей и продуктивных толщ с высокими значениями механических свойств.

Станки типов БСК и УКБ в модификации для подземного бурения необходимы при бурении разведочных скважин для подземных, горных выработок во всех комплексах пород.

Бурение гидроударниками ГВ-5 и ГВ-6 в сочетании с твердосплавным и алмазным видами вращательного бурения оптимально для всех комплексов пород. Гидроударники Г-9, приспособленные для бурения скважин малого диаметра (59 мм), также используются при комплексировании с алмазным бурением абразивных пород малой и умеренной прочности.

В рекомендациях рассмотрены разведочные пневмоударники, их применение рационально при бурении пород всех комплексов в районах многолетней мерзлоты, а также в пустынных и полупустынных районах.

Разделение буровой техники на основную и вспомогательную вызвано многообразием пород в каждом комплексе; при этом учитывалось, что основная техника должна использоваться при бурении пород, определяющих преимущественное их развитие в комплексе.

Пикобуры, алмазные и шарошечные долота отнесены к вспомогательному инструменту лишь потому, что они предназначены в основном для бескернового бурения. Однако эти долота и двойные колонковые трубы широко применяются при многозабойном бурении (алмазные долота) и при бурении скважин с известным геологическим разрезом как средство значительного повышения производительности.

При определении области применения того или иного типа породоразрушающего инструмента учитывалось преимущественное развитие пород в комплексе.

Например, для комплекса гранитоидов не предусматриваются твердосплавные коронки, хотя известно, что в этом комплексе встречаются осадочные породы с высокими механическими свойствами. В этом случае, исходя из конкретных условий геологического разреза, не-

обходимо учитывать инструмент, рекомендуемый для всех комплексов пород.

Например, для комплекса гранитоидов, при наличии осадочных пород, необходимо учесть тот инструмент, который рекомендован для этого комплекса пород. В комплексе преимущественного развития осадочных пород могут встречаться изверженные породы. В этом случае необходимо предусмотреть инструмент, рекомендуемый для этих пород как дополнение к имеющимся рекомендациям для осадочных пород.

Для комплекса осадочных пород с невысокими механическими свойствами к основной технике отнесены ребристые твердосплавные коронки, коронки, армированные пустотелыми резцами восьмигранной формы, и мелкорезцовые коронки для бурения известняков, доломитов и других массивных пород невысокой абразивности.

К алмазному инструменту отнесены однослойные коронки, армированные крупными алмазами (10—20 шт/карат), обеспечивающие высокую производительность бурения пород типа известняков и низкую стоимость коронки на 1 м бурения (≤ 1 руб/м).

При определении значения технических средств учитывалась новая техника и положительные результаты ее применения [28]. Например, применение комплекса КОЭН при разведке месторождения калийных солей на Урале позволило значительно увеличить проходку за рейс, механическую скорость и производительность по сравнению с безнасосным и обеспечить выход керна на 92.2—98% против 55—85% при безнасосном бурении.

Намеченная техника для бурения комплекса осадочных метаморфизованных пород базируется на примере буровой разведки медистых песчаников в Джезказгане, каменных углей в Донбассе и др.

В Джезказганской ГРЭ получена высокая производительность бурения гидроударниками и снарядами ССК. В Донбассе также доказана высокая эффективность бурения снарядами ССК и указанными типами алмазных и твердосплавных коронок.

Бурение песчаников однослойными алмазными коронками, армированными алмазами с зернистостью 40—60 шт/карат, и импрегнированными коронками с зернистостью алмазов 120—150 шт/карат, позволяет получать высокую производительность и низкую стоимость коронки на 1 м бурения (≤ 2 руб/м).

При выработке рекомендаций рациональной техники для бурения комплекса метаморфических горных пород учитывались высокие механические свойства и большой диапазон их значений. Поэтому к основным породоразрушающим инструментам отнесены однослойные и многослойные алмазные коронки с твердой матрицей, импрегнированные коронки с обычной и твердой матрицами, армированные алмазами различной зернистости (150—400 и 800—1200 шт/карат).

Использование импрегнированных коронок позволяет эффективно бурить породы типа железистых кварцитов и роговиков высокой динамической прочности и абразивности при повышенных скоростях (300—500 об/мин) и высокой осевой нагрузке (1500—2000 кгс). Предположительная удельная стоимость импрегнированной коронки с зернистостью около 300 шт/карат при бурении кварцитов $\leq 3,5$ руб/м.

При бурении пород этого комплекса большую роль могут сыграть разведочные пневмоударники и шарошечные долота типа Т и К. Опыт разведки Мурунтаусского месторождения золота показал, что бурение разведочных скважин шарошечными долотами с опробованием рудных горизонтов по шламу способствовало сокращению сроков разведки месторождения при высоких качественных показателях [16].

Имеются положительные результаты применения эжекторных снарядов при перебурировании рудных залежей марганца на Малохинганском месторождении.

Комплекс основных и ультраосновных интрузивных и эффузивных пород имеет сравнительно невысокие средние значения механических свойств, но значительный диапазон их изменений. Для этого комплекса рекомендуются однослойные, многослойные и импрегнированные коронки, армированные сравнительно крупными алмазами (20—30 и 40—60 шт/карат для однослойных, 90—120 шт/карат для многослойных и 120—150 шт/карат для импрегнированных). Большинство пород, входящих в этот комплекс, имеет хорошо выраженную кристаллическую структуру.

Широкое применение при бурении должны найти снаряды со съёмными керноприемниками. Об этом свидетельствуют высокие показатели их использования на Кольском полуострове при разведке месторождений титана и никеля.

Комплекс пород преимущественного развития гранитоидов следует бурить с применением алмазных коронок, гидро- и пневмоударников.

Однослойные коронки с твердой матрицей должны быть армированы алмазами зернистостью 50—75 шт/карат, а импрегнированные — алмазами зернистостью 120—400 шт/карат. При использовании таких коронок можно получить высокие показатели бурения и сравнительно низкую стоимость коронки на 1 м бурения ($\leq 2,5$ руб/м).

Из технических средств могут иметь большое значение эжекторные снаряды и комплект эрлифтных насосов КОЭН. Породы, слагающие этот комплекс, вмещают и месторождения благородных металлов (золото) и молибдена, склонных к избирательному истиранию.

Вулканогенный и вулканогенно-осадочный комплекс пород является рудовмещающим для многих месторождений черных, цветных и благородных металлов.

Сравнительно невысокие механические свойства пород этого комплекса являются основной предпосылкой для применения вращательного бурения, а также ударно-вращательного с широким использованием гидроударников ГВ-5 и ГВ-6, Г-7 и Г-9, и пневмоударников при бурении ороговикованных эффузивов, туффитов, кремнистых сланцев и роговиков, встречающихся в этом комплексе пород.

Основными типами породоразрушающих инструментов являются однослойные алмазные коронки с обычной и твердой матрицами; многослойные и импрегнированные коронки необходимы при бурении перечисленных выше пород типа кремнистых сланцев и роговиков.

Предположительная стоимость алмазных коронок при бурении вулканогенных пород $\leq 1,8$ руб/м.

Из технических средств оптимальными являются снаряды для съемных керноприемников, эжекторные снаряды и комплекты КОЭН.

Предпосылками для рекомендаций перечисленных снарядов являются положительные результаты их применения при разведке олова в Комсомольском районе (эжекторные снаряды), никеля в Порильском рудном районе (эжекторные снаряды и комплекты КОЭН).

Сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород характеризуется высокими механическими свойствами и большим диапазоном их значений.

Поэтому наряду с вращательным бурением рекомендуется ударно-вращательный с применением гидроударных машин, показавших высокую производительность при буровой разведке Таштагольского и Соколовского месторождения железа.

Применение пневмоударников при бурении кремнистых сланцев, вторичных кварцитов, кремней, занимающих большое место в этом комплексе пород, будет способствовать получению высокой производительности.

Высокие показатели бурения скважин пневмоударниками по кремнистым сланцам получены при разведке рассеянных элементов в Узбекистане.

Многообразие пород этого комплекса сказалось и при распределении типов алмазных коронок. В числе основных рекомендованы однослойные коронки с утолщенной матрицей для бурения трещиноватых и чередующихся по прочности и абразивности пород. Зернистость алмазов в однослойных коронках от 20—30 шт/карат в коронке 14А3 до 40—60 шт/карат в коронках 01А3 и 01А4. Импрегнированные коронки должны иметь зернистость 120—150 и 150—400 шт/карат. Для особо плотных мелкозернистых и аморфной структуры пород как вспомогательные рекомендуются импрегнированные коронки ИМВ-4 с зернистостью алмазов 400—800 шт/карат.

К вспомогательным инструментам отнесены микрорезцовые коронки СА3 и СА4 для бурения осадочных пород, многослойные коронки с твердой матрицей (01М4) и зернистостью алмазов 60—90 шт/карат для бурения гранитоидов, скарнов с ярко выраженной кристаллической структурой и импрегнированные коронки с очень твердой матрицей (03И5) для бурения ноздреватых кварцитов, трещиноватых и разрушенных пород высокой твердости и абразивности. Большую роль должны сыграть алмазные и шарошечные долота при бурении хорошо изученных покрывающих и подстилающих рудные залежи пород.

Технические средства рекомендованы с учетом положительных результатов их применения на месторождении меди Дальнее (ССК) и Узбекистана на одном из месторождений (эжекторные снаряды и комплекты КОЭН).

Исходя из изложенного, можно сделать следующие выводы о рациональном использовании буровой техники для каждого комплекса пород.

1. При буровой разведке месторождений полезных ископаемых, залегающих в каждом из семи комплексов пород, необходимо использовать новые технические средства для перебуривания полезного ископаемого, применять высокопроизводительные виды разведочного бурения (алмазное, гидроударное, пневмоударное, ССК и др.).

2. Рекомендованная техника может быть использована при разведке практически всех месторождений, залегающих в том или ином из рассмотренных комплексов пород.

Глава VII

ПРОГНОЗНЫЕ СКОРОСТИ БУРЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

Разработанные методы определения некоторых механических свойств горных пород позволяют устанавливать расчетную механическую скорость бурения непосредственно в геологоразведочных партиях и экспедициях. С этой целью используется объединенный показатель ρ_m учитывающий параметры динамической прочности F_d и абразивности $K_{абр}$.

§ 1. Механические свойства горных пород и расчетная скорость бурения

В работах [25, 28] были приведены вычисления механической скорости бурения твердосплавными и алмазными коронками для невысоких режимных параметров. В дальнейшем была определена расчетная буримость для форсированных режимов бурения.

В формуле для определения расчетной буримости учитывалось, что механическая скорость бурения различных пород находится в прямой зависимости от окружной скорости, вращения бурового инструмента и удельной нагрузки на забой скважины:

$$v_m = k\omega r \rho_m^\xi, \quad (37)$$

где k — коэффициент пропорциональности; ω — окружная скорость вращения бурового инструмента в м/с; r — удельная нагрузка на забой в кгс/см²; ρ_m — объединенный показатель, учитывающий влияние динамической прочности и абразивности пород; ξ — показатель степени, зависящий от вида истирающего материала и породоразрушающего инструмента.

Указанная зависимость подтверждается данными многочисленных исследований. При бурении твердосплавными коронками увеличение скорости наблюдается при вращении снаряда до 400—500 об/мин, для алмазного бурения до 1000—1500 об/мин и выше и зависит от механических свойств горных пород. Повышение удельной нагрузки на забой также вызывает рост скорости

бурения, однако зависимость в данном случае менее строгая. Экспериментальные исследования ЦНИГРИ и данные о механических скоростях бурения на форсированных режимах служат доказательством правомерности наших выводов (табл. 66).

Таблица 66

Место-рождение	Порода	Категория пород по буримости	Механические свойства пород			Рост скорости бурения, м/ч	Скорость вращения, об/мин	Осевая нагрузка, кгс
			F_d	$K_{абр}$	ρ_M			
Алтынтоп-канское Гайское	Гранатовые скарны	X	15	2	50	1,7— 3,5	470— 1000	800
	Медно-цин- ковый колче- дан	IX	5,5	2,79	30,83	3,4— 6,3	500	400— 800
	Туфы квар- цевых альби- тофиров	XI	13,96	2,51	59,5	2,4— 4,2	500	400— 800

Не менее показательны результаты исследований А. М. Властовского и Е. А. Козловского [12]. При бурении пород VIII категории увеличение скорости вращения в 2 раза (с 237 до 480 об/мин) вызывает рост средней скорости бурения от 2,52 до 5 м/ч. Исходя из возможности применения формулы (37) для определения скорости чистого бурения, установлены расчетные формулы для различных типов коронок:

мелкорезцовых твердосплавных

$$v_{\text{мех}} = k\omega\rho\rho_M^{-1,16}; \quad (38)$$

тонкопластинчатых и микрорезцовых твердосплавных

$$v_{\text{мех}} = k\omega\rho\rho_M^{-0,79}; \quad (39)$$

однослойных алмазных

$$v_{\text{мех}} = k\omega\rho\rho_M^{-0,68}; \quad (40)$$

многослойных и импрегнированных

$$v_{\text{мех}} = k\omega\rho\rho_M^{-0,15}. \quad (41)$$

С помощью этих формул вычислена расчетная скорость бурения твердосплавными и алмазными коронками на форсированных режимах, а также на режимах с

небольшими окружными скоростями и удельными нагрузками (табл. 67). Объединенный показатель $\rho_m = 3F_d^{0,8} K_{абр}$ использован для расчета скорости чистого бурения вращательным способом, а показатель $\rho_{m1} = 2F_d K_{абр}^{0,41}$ — ударно-вращательным. Приведем параметры расчетных формул¹.

При бурении на форсированных режимах:
мелкорезцовыми коронками

$$v_{мех} = 0,82 \cdot 1,2 \cdot 55 \rho_m^{-1,16}; \quad (42)$$

тонкопластинчатыми и микрорезцовыми коронками

$$v_{мех} = 0,24 \cdot 1,5 \cdot 65 \rho_m^{-0,79}; \quad (43)$$

однослойными алмазными коронками

$$v_{мех} = 0,12 \cdot 2 \cdot 90 \rho_m^{-0,68}; \quad (44)$$

многослойными и импрегнированными коронками

$$v_{мех} = 0,011 \cdot 2,5 \cdot 130 \rho_m^{-0,15}. \quad (45)$$

При бурении на режимах с небольшими окружными скоростями и удельными нагрузками:

мелкорезцовыми коронками

$$v_{мех} = 0,9 \cdot 0,5 \cdot 40 \rho_m^{-1,16}; \quad (46)$$

тонкопластинчатыми и мелкорезцовыми коронками

$$v_{мех} = 0,31 \cdot 0,5 \cdot 50 \rho_m^{-0,79}; \quad (47)$$

однослойными алмазными коронками

$$v_{мех} = 0,21 \cdot 0,5 \cdot 45 \rho_m^{-0,68}; \quad (48)$$

многослойными и импрегнированными коронками

$$v_{мех} = 0,24 \cdot 0,5 \cdot 60 \rho_m^{-0,15}. \quad (49)$$

При гидроударном и пневмоударном бурении значения параметров соответственно составят

$$v_{мех} = 4,55 \rho_{m1}^{-0,45};$$

$$v_{мех} = 6,75 \rho_{m1}^{-0,34}.$$

При анализе данных табл. 67 необходимо прежде всего обратить внимание на расчетные скорости бурения

¹ Коэффициенты пропорциональности могут быть уточнены с учетом разностей пород.

при режимах с небольшими окружными скоростями и удельными нагрузками на забой. Они значительно выше скоростей гидро- и пневмоударного бурения, особенно при бурении высокоабразивных пород. Для некоторых групп пород механические скорости бурения твердосплавными и алмазными коронками при обычных технических условиях выполнения работ близки по значению. Это объясняется прежде всего тем, что для алмазного бурения оптимальным является бурение на высоких скоростях вращения снаряда.

В табл. 67 даны механическая скорость бурения твердосплавными и алмазными коронками при планируемом массовом внедрении форсированных режимов (скорость вращения 500—1000 об/мин, нагрузка на забой 1000—1500 кгс). Данные табл. 67 показывают, что расчетные скорости на форсированных режимах бурения могут быть увеличены в 2—4 раза по сравнению со скоростями бурения на режимах с небольшими окружными скоростями и нагрузками на забой. Кроме того, расчетные скорости бурения на форсированных режимах близки или превышают скорости бурения гидро- и пневмоударниками. Однако показатели ударно-вращательного бурения могут быть увеличены в результате применения насосов (при гидроударном) и компрессоров (при пневмоударном) высокого давления.

Опубликованные в литературе данные по механическим скоростям бурения разведочных скважин на форсированных режимах [6, 12, 20, 25, 32] подтверждают практическое значение расчетной механической скорости бурения. При бурении диоритов ($F_d=9,09$, $K_{абр}=1,98$, $\rho_m=35$) и адаметитов ($F_d=5,45$, $K_{абр}=2,35$, $\rho_m=28$), а также скарнов эпилот-гранатового состава ($F_d=14,28$, $K_{абр}=2,43$, $\rho_m=58$) IX и XI категорий при скорости вращения 500—700 об/мин достигнуты механические скорости бурения 1,2—1,8 и 0,9 м/ч соответственно. Осевая нагрузка на коронку составляла около 600 кгс. Породы бурились многослойными алмазными коронками диаметром 46 мм. При алмазном бурении коронками малых диаметров (36—46 мм) по эффузивным породам основного, среднего и кислого составов (базальты, андезиты, фельзиты VIII—IX категорий) и скорости вращения 600 об/мин механическая скорость достигла 3 м/ч и более [20]. В Житомирской геологоразведочной партии при бурении гранитов X категории по-

Порода	Механические свойства пород				Категория пород по R_{m1}	Механическая скорость вращательного бурения коронок				Механическая скорость ударно-вращательного бурения	
	F_d	K_{abr}	R_{m1}	R_{m2}		Твердосплавными		мелкоалмазными		гидроударное	пневмоударное
						мелкорезцовые	толкостайчатые и микро-резцовые	однослойные	многослойные и напореагированные		
Ультраосновные	14,0	1,0	23,5	27,8	VIII	0,47 1,41	0,64 1,92	0,66 2,64	0,45 2,25	1,02	2,18
Основные	13,5	1,5	35,0	32,2	IX	0,29 0,87	0,47 1,41	0,5 2	0,42 2,1	0,95	2,07
Средние	12,0	1,7	37,0	29,7	IX—X	—	—	0,48 1,35	0,42 1,92	0,99	2,13
Кислые	10,0	2,2	40,0	28,0	X	—	—	0,46 1,84	0,41 2,05	1,02	2,18
Щелочные	11,0	1,7	37,5	27,3	IX—X	—	—	0,48 1,92	0,42 2,1	1,03	2,19
Излившиеся породы основной магмы	16,0	0,9	23,0	30,6	VIII	0,47 1,41	0,66 1,98	0,67 2,68	0,45 2,25	0,98	2,11

То же, кислой магмы	13,0	1,5	37,0	31,0	IX—X	—	—	0,48 1,35	0,42 1,92	0,97	2,10
Преимущественно рудные, жильные образования	6,8	1,8	23	17,3	VII—IX	—	—	0,67 2,68	0,45 2,25	1,26	2,56
Кристаллические сланцы, гнейсы	8,7	1,1	15,0	18,5	VIII	—	—	0,89 3,56	0,48 2,4	1,22	2,50
Скарны, листвениты, березиты	16,0	1,5	41,0	37,8	X	—	—	0,45 1,8	0,41 2,05	0,89	1,96
Роговики, кварциты, яшмовидные породы	18,0	2,16	60	49,0	XI	—	—	0,35 0,87	0,39 0,97	0,79	1,80
Амфиболиты, амфиболовые роговики	30,0	1,0	46	59,3	X	—	—	0,42 1,68	0,40 2	0,72	1,68
Мергели, мел, аргиллиты, гипс	8,0	0,5	7,5	12,5	V—VI	1,74 5,22	—	1,43 5,72	—	—	—
Известняки, доломиты, мрамор	8,4	0,6	9,5	14,0	VI—VII	1,32 3,96	—	1,22 4,88	—	1,39	2,75
Песчано-глинистые сланцы, алевролиты, филлиты	9,4	0,8	13,5	17,4	VII	0,88 2,64	—	0,96 3,84	—	1,26	2,55
Песчаники, туфопесчаники, гравелиты	11,0	1,7	35,0	27,3	VIII—IX	—	0,47 1,41	0,50 2	0,42 2,1	1,03	2,19

Примечание. В числителе — при режимах с небольшими окружными скоростями и удельными нагрузками на забой, в знаменателе — при форсированных режимах.

вышение скорости вращения с 160 до 1300 об/мин вызвало увеличение механической скорости с 0,7 до 4,8 м/ч.

Хорошие результаты получены и при алмазном бурении магнетитовых и кумингтонитовых кварцитов XI—XII категорий. Работа на повышенных скоростях вращения (377—480 об/мин) и нагрузке (до 1000—1400 кгс) позволила получить механическую скорость бурения до 1,5 м/ч и углубление за рейс $\approx 2,9$ м. Бурение проводилось импрегнированными коронками 02114 с применением промывочной эмульсионной жидкости [32].

На основе расчетных формул (39) и (40) и экспериментальных данных по бурению скважин в Ахтынской и Урупской геологоразведочных партиях (экспериментальные работы выполнены под руководством Г. Г. Колесникова) при различных параметрах режимов бурения были установлены расчетные скорости бурения аргиллитов и серноколчеданных руд. В табл. 68 приведены ре-

Таблица 68

Режим бурения		Скорость бурения, м/ч		Проходка, м
ω , м/с	ρ_r , кгс/см ²	расчетная	фактическая	
0,88	50	1,44	1,36	66
1,18	58	2,2	2,7	18
2,1	50	3,6	3,1	32
2,1	58	3,9	2,6	66
0,95	37	1,2	1,4	15
1,35	44	1,9	1,7	36

зультаты определения ожидаемой механической скорости бурения аргиллитов VIII категории твердосплавными коронками СА-4 по сравнению с фактическими скоростями бурения. Механические свойства пород: $F_d = 9,1$; $K_{абр} = 1,0$; $\rho_m = 17,1$; $\rho_m^{-1,16} = 0,04$.

При сравнении данных скорости бурения (табл. 68) видно, что расхождение между скоростями не превышает 16% (коэффициент корреляции 0,85). Не менее показательны расчетные скорости бурения серно-колчеданных руд (табл. 69), полученные в Ахтынской геологоразведочной партии коронками типа 01А3 ($d=59$ мм) и 01А4 ($d=76$ мм).

Значения F_d , $K_{абр}$, ρ_m , $\rho_m^{-0,68}$ для серноколчеданных руд VIII и IX категорий соответственно равны 4,1; 1,75; 17,5; 0,142 и 5,7; 2,2; 27; 0,106.

Таблица 69

Тип коронки	Порода	Категория пород по буримости	Режим бурения		Скорость бурения, м/ч		Проходка, м
			ω , м/с	P , кгс/см ²	расчетная	фактическая	
01A3	Руда серно-колчеданная	VIII	0,6	88	0,88	0,90	8
01A3			1,18	88	1,72	2,42	6
01A3			2,1	88	3,08	2,96	18
01A3			0,9	99	1,05	1,04	8
01A3			2,1	88	2,33	2,27	9
01A3			1,48	88	1,4	1,1	57
01A3	То же	IX	0,6	88	0,86	0,68	70
01A3			0,9	88	1,05	0,99	10
01A4			1,1	53	0,73	0,72	16
01A4			1,28	53	0,83	1,75	33

При сравнении расчетной и фактической буримости видна большая близость их значений. Коэффициент корреляции в данном случае составляет 0,93.

§ 2. Перспективные скорости бурения генетических комплексов горных пород рудных полей и продуктивных толщ

Расчетные скорости бурения определяли по формулам (42) — (45) для вращательного бурения и по формулам (35) и (36) для ударно-вращательного. Перспективные скорости бурения генетических комплексов пород рудных полей и продуктивных толщ приведены в табл. 70.

Как видно из табл. 70, скорости бурения осадочного (неметаморфизованного) комплекса горных пород достаточно высоки, в том числе при бурении твердосплавными коронками. Однако скорости бурения однослойными алмазными коронками несколько выше (5,18 м/ч) по сравнению с твердосплавными (4,62 м/ч), а скорость бурения импрегнированными ниже (2,61 м/ч).

Скорость ударно-вращательного бурения этого комплекса пород не определялась в виду нерациональности его применения.

Осадочный метаморфизованный комплекс пород отличается более высокими механическими свойствами и, как

Генетический комплекс пород	Горная порода	Средние механические свойства				Категория горных пород по R_M
		динамическая прочность F_d	абразивность K_{abr}	объединенный показатель		
				R_M	R_{M1}	
Осадочный	Алевролитовые глины, аргиллиты, алевролиты, песчано-глинистые сланцы, песчаные сланцы, песчаники слабые, песчаники, конгломераты, мергели, известняки, доломиты, бокситы, бокситы плотные, бурые угли, каолиновые породы, слабые железные руды, бобово-конгломератовые породы, содержащие никель, марганцевые руды, поваренная и калийная соли, мел, сидерито-глинистые породы	4,8	0,8	8,0	9,2	VI
Осадочный метаморфизованный	Метаморфизованные аргиллиты, алевролиты, сланцы песчано-глинистые, сланцы алевролитовые, филлитовые сланцы, песчаники, песчаники кварцевые, песчаники, содержащие киноварь, медь, гравелиты, конгломератобрекчии, известняки мраморизованные, кремнистые, джеспиронды, рудоносные брекчии, руды буро-железные, каменные угли, массивные сурьмяные руды, бокситы, кварцевые жилы	8,4	1,1	17,5	18,0	VIII
Метаморфический	Аргиллиты и алевролиты кремнистые, песчаники кварцито-видные, углито-глинистые сланцы кремнистые, бокситы каменные,	15,4	2,1	55	41	X— XI

Таблица 70

Полезные ископаемые	Месторождение	Механическая скорость вращательного бурения коронками				Механическая скорость ударно-вращательного бурения	
		твердосплавными		мелкоалмазными			
		мелкорезцовые	тонкопластинчатые	однослойные	многослойные	гидродурно-твердосплавное и гидродурно-алмазное	пластмассовое
Железо Бокситы » » » »	Алапаевское	4,80	4,44	5,18	2,61	—	—
	Иксинское						
	Батьевское						
	Нижне-Тиманский район						
	Татарская группа						
Никель	Ангарское						
	Серовское						
Калийные соли	Верхнекамское						
	Красноармейская ГРЭ						
Угли	Новомосковская ГРЭ						
	Марганец						
»	Никопольское						
	Чнатурское						
Железо » Медь » Свинец, цинк Висмут Сурьма Ртуть » Уголь » »	Нижне-Ангарское	1,94	2,34	3,02	2,32	3,12	2,49
	Аккермановское						
	Джезказганское						
	Удоканское						
	Ачисайское						
	Устаросайское						
	Сарылахское						
	Хайдарканское						
	Никитовское						
	Горловская ГРЭ						
	Шегловская ГРЭ						
	Шахтинская ГРП						
	Киселевская ГРП						
	Железо » » »	Яковлевское	0,49	0,53	1,36	1,93	1,66
Михайловское							
Криворожское							
Оленегорское							
Марганец	Малохинганское						

Геотектонический комплекс пород	Горная порода	Средние механические свойства				Категория горных пород по R_M
		динамическая прочность F_d	абразивность K_{abr}	объединенный показатель		
				R_M	R_{M1}	
Преимущественно основной, ультраосновной интрузивный	<p>филлиты, доломитизированные известняки, доломиты, мраморы, скарны, известняки кремнистые, фосфориты кремнистые, кремнисто-глинистые сланцы, роговики, кварциты, гнейсы, мигматиты, парагнейсы, сланцы кристаллические, амфиболиты, кварциты железистые, джеспилиты, роговико-джеспирондные брекчии с оруденением, железные руды</p> <p>Перидотиты, пироксениты, дуниты, аподуниты, оливиниты, габбро-норит, габбро-амфиболит, горнблендит, габбро-диорит, диорит, нефелиновые сланцы, ийолит-мейтелочиты, габбро-диабазы, мончикиты, луявриты, уртиты, фойяиты, альбититы, измененные пегматиты, базальты и диабазы, порфириты, кварцевые порфиры, туфы и туффиты, серпентиниты, талько-карбонатные породы, гнейсы, мигматиты, сульфидные руды</p>	14,2	1,35	33,0	31,0	IX
	<p>Вулкано-генный и вулканогенно-осадочный</p> <p>Габбро-долериты, габбро-диабазы, долериты, базальты, спилиты, андезиты, порфириты, дациты, липарито-дациты, фельзиты, фельзитовые порфиры, липариты, липаритовые</p>	11,2	1,30	27,0	25,0	

Полезные ископаемые	Месторождение	Механическая скорость вращательного бурения коронками				Металлическая скорость ударно-вращательного бурения	
		твердосплавными		металлоалмазными		гидроударно-твердосплавные и гидравлические	инструментальные
		мелкорезцовые	тонкопластинчатые	однослойные	многослойные		
Бокситы » » » » Сурьма Золото »	Висловское Калинское Новопристанское Обуховское Баксонское Кадамджайское Советское Мурунтау						
Железо » Хром » » » Титан » Ванадий » Бокситы Никель » Золото Платина Железо » Марганец Бокситы » Никель »	Качканарское Ковдорское XX лет Казахстана Шарошинское Ревдинское Сарановское Кусинское Ловозерское Гусевское Первоуральское Кия-Шалтырское Печенгское Нижнемамонское Зодское Норильское Коршунувское Тагарское Кусинское Краснооктябрьское Надразумское Норильск I Талнахское	0,92	1,47	1,98	2,10	2,3	2,09
		1,10	1,36	2,28	2,17	2,7	2,23

Генетический комплекс пород	Горная порода	Средние механические свойства				Категория горных пород по R_M
		динамическая прочность F_d	образивность $K_{обр}$	объединенный показатель		
				R_M	R_{M1}	
Сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород	Пироксениты, габбро-диориты, кварцевые диориты, гранодиориты, граниты, диорит-сиениты, монзониты, сиениты, гранодиорит-порфиры, порфириты, диабазы, кварцевые порфиры, фельзит-порфиры, альбитофиры, кварцевые альбитофиры, кератофиры, туфы и лавы кислого состава, тектонические брекчии,	15,0	1,6	50,0	38,0	X
	порфиры, кварцевые порфиры, кварцевые альбитофиры, туффиты, туфы и лавы андезитов, туфы оруденелые, туфы кварцевых порфиров, туфолава липаритовых порфиров, туфы агломеративные, туфогравеллиты, туфопесчаники, лавобрекчии, нерасчлененные эффузивы, эруптивная автомагматическая и тектоническая брекчии, алевролиты, глинистые сланцы, конгломераты, песчаники, мергели, карбонатно-мергелистые породы, известняки, метаморфизованные, доломитизированные, окварцованные, доломиты, кремнистые сланцы, роговики, колчеданные руды, кварц-карбонатные породы с сульфидами и касситеритом					

Полезные ископаемые	Месторождение	Механическая скорость вращательного бурения коронками				Механи- ческая скорость ударно- враща- тельного бурения	
		твердо- сплавны- ми		мелко- алмазны- ми			
		мелкорезцовые	тонкопластинчатые	однослобные	многослобные	гидроударно-твердо- сплавное и гидроудар- но-алмазное	тщелмуударное
Кобальт	Ховдаканское						
Медь	Болковское						
»	Коунрадское						
»	Урупское						
»	Гайское						
Свинец, цинк	Верхнее						
»	»						
»	Алтынтопканское						
»	»						
»	Жайремское						
»	»						
»	Озерное						
»	»						
»	Горевское						
Висмут	Адрасманское						
Ртуть	Чаганузунское						
»	Чонкольское						
Золото	Многовершинное						
»	»						
»	Хаканджинское						
»	»						
»	Кочбулакское						
Серебро, свинец	Канджольское						
Олово	Депутатское						
»	»						
»	Солнечное						
»	»						
»	Фестивальное						
»	»						
»	Перезальненское						
»	»						
»	Хианганское	0,57	1,05	1,49	1,98	1,78	1,95
Железо	Гороблагодатское						
»	»						
»	Таштагольское						
»	»						
»	Шерегешское						
»	»						
»	Соколовское						
»	»						
»	Бакальское						
Медь	Саякское						
»	»						
»	Кальмакырское						
Свинец, цинк	»						
»	»						
»	Орловское						
»	»						
»	Хандизинское						
Висмут	»						
Сурьма	Чокадамбулакское						
	Удерекойское						

Генетический комплекс пород	Горная порода	Средние механические свойства				Категория горных пород по R_m
		динамическая прочность R_d	образивность $K_{абр}$	объединенный показатель		
				R_m	R_{m1}	
	алевролиты кремнистые, глинистые сланцы, песчаники, песчаники кварцитовидные, конгломераты, известняки, доломиты, известняки кремнистые, туффиты, туфоалевролиты, туфопесчаники, туфоконгломераты, филлиты, роговики биотитовые, скарны гранатовые и пироксен-гранатовые, скополитовые, рудные, кварциты, вторичные кварциты, гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, кремни, висмутовые и железные руды, кварцевые золотоносные жилы, известково-сланцевые породы с оловянным оруденением					

следствие, более низкими скоростями бурения. При бурении твердосплавными коронками более высокие скорости получены при использовании тонкопластинчатых микрорезцовых коронок (2,34 м/ч), а при бурении алмазными коронками — при использовании однослойных (3,02 м/ч).

Скорость бурения гидроударными машинами (ГВ-5 и ГВ-6) в сочетании с твердосплавными и однослойными алмазными коронками достаточно высокая (3,12 м/ч); скорость бурения пневмоударниками несколько ниже (2,49 м/ч).

Метаморфический комплекс пород отличается высокими механическими свойствами, поэтому скорости бу-

Полезные ископаемые	Месторождение	Механическая скорость вращательного бурения коронками				Механическая скорость ударно-вращательного бурения	
		твердосплавными		мелкоалмазными		гидроударно-твердосплавное и гидроударно-алмазное	пневмоударное
		мелкорезцовые	тонкопластинчатые	однослойные	многослойные		
Золото » Молибден » Вольфрам » » » » Олово » »	Куранахское Березовское Тырныаузское Коктенкольское Чорухдайронское Инчичское Восток-2 Пультинское Богутинское Сатыбулакское Благодатненское Учконское						

рения ниже. По этой причине практическое применение вращательного твердосплавного бурения нецелесообразно.

Скорости бурения однослойными алмазными коронками (1,36 м/ч) ниже, чем у импрегнированных (1,93 м/ч), что вполне отвечает условиям бурения данного комплекса пород.

Скорости бурения пневмоударниками несколько выше, чем при гидроударно-алмазном бурении (1,9 против 1,66 м/ч).

Комплекс основных и ультраосновных изверженных пород характеризуется меньшими значениями механических свойств по сравнению с предыдущим комплек-

сом, а следовательно, и более высокими расчетными скоростями.

При твердосплавном бурении наиболее высокие скорости получены при использовании тонкопластинчатых и микрорезцовых (1,47 м/ч) коронок, а при алмазном бурении — многослойных и импрегнированных коронок (2,1 м/ч). Скорости бурения пневмоударниками и импрегнированными коронками близки; скорость гидроударно-алмазного бурения выше.

Гранитоиды отличаются высокими абразивными свойствами, что значительно снизило расчетные скорости твердосплавного бурения. Наиболее высокие скорости получены для импрегнированных коронок (2,07 м/ч), пневмоударников (2,16 м/ч) и гидроударно-алмазного бурения (2,11 м/ч).

Вулканогенный и вулканогенно-осадочный комплексы пород отличаются сравнительно невысокой (умеренной) прочностью и средней абразивностью, что предопределило широкое применение вращательного и ударно-вращательного бурения.

Сравнительно высокие скорости получены при использовании тонкопластинчатых и микрорезцовых твердосплавных коронок (1,36 м/ч) и еще более высокие — при алмазном, пневмоударном (2,17—2,23 м/ч) и гидроударно-алмазном бурении (2,7 м/ч).

Сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород характеризуется сравнительно высокой динамической прочностью и абразивностью, выше средней. Наибольшие скорости бурения этого комплекса пород получены для условий применения многослойных и импрегнированных коронок (1,98 м/ч). Несколько ниже скорости бурения при пневмоударном (1,95 м/ч) и гидроударно-алмазном бурении (1,78 м/ч) и еще ниже при использовании однослойных алмазных коронок (1,49 м/ч).

Низкие скорости бурения твердосплавными коронками исключают их практическое применение, за исключением бурения в осадочных породах.

Приведенные значения расчетных механических скоростей бурения для различных комплексов горных пород, помимо количественной характеристики буримости, могут быть использованы и для определения рациональной области применения способов бурения и типов породоразрушающих инструментов. Например, расчет-

ные скорости при бурении импрегнированными алмазными коронками являются более низкими для первых двух комплексов осадочных пород и по этой причине они могут иметь вспомогательные значения при бурении пород типа песчаников и конгломератов.

По этой же причине твердосплавное бурение может иметь вспомогательное значение для бурения в комплексах интрузивных пород основной и ультраосновной магм, в гранитоидах и в сложном комплексе изверженных и метаморфических пород при бурении осадочных и осадочно-вулканогенных пород малой и умеренной абразивности.

При гидроударно-твердосплавном и гидроударно-алмазном бурении следует использовать машины типов ГВ-5 и ГВ-6. В этом случае гидроударные машины входят в колонковый снаряд и, передавая импульсы ударных нагрузок на забой, повышают скорость бурения.

Из табл. 70 также видно, что для каждого комплекса горных пород перечислены основные месторождения полезных ископаемых. Логично предположить, что при буровой разведке месторождений, входящих в тот или иной комплекс пород, можно получить близкие показатели бурения, независимо от их местоположения.

Для доказательства можно сослаться на результаты сопоставления перспективных скоростей бурения вулканогенных пород в одной из ГРП на Северном Кавказе и в Солнечной ГРЭ на Дальнем Востоке (табл. 71).

Из табл. 71 видно, что значения механических свойств эффузивов Северного Кавказа (Урупская ГРП) и Комсомольского рудного района (ГРЭ Солнечного горно-обогатительного комбината) близки. Это подтверждает мнение о том, что горные породы одного генетического типа должны иметь более или менее близкие значения механических свойств, независимо от географического положения.

Поскольку средние значения механических свойств эффузивов обоих регионов мало отличаются между собой, расчетные скорости бурения при использовании однослойных алмазных коронок при одинаковых режимных параметрах бурения также оказались сходны.

Не менее показательны данные бурения липаритов, фельзитов и их брекчий, близких по значению механических свойств, на Дукатском месторождении СВТГУ

Таблица 71

Порода	Количество испытанных образцов	Механические свойства			Расчетная скорость алмазного бурения коронками 01А3, м/ч	
		F_d	$K_{абр}$	ρ_m	при окружной скорости вращения коронки 1,48 м/с и удельной нагрузке 90 кгс/см ²	при окружной скорости вращения коронки 2,2 м/с и удельной нагрузке 90 кгс/см ²
Эффузивы из Урупской ГРП	11	9,90	1,31	23,56	1,95	2,91
Эффузивы Солнечной ГРЭ	22	10,07	1,29	24,13	2,11	2,86

(табл. 72): $F_d = 7,17 \div 8,43$; $K_{абр} = 1,71 \div 1,9$; $\rho_m = 27,7 \div 28,6$.

Таблица 72

Тип алмазной коронки	Количество испытанных коронок	Технико-экономические показатели			
		проходка на коронку, м	удельный расход алмазов, карат/м	механическая скорость бурения, м/ч	стоимость 1 м бурения, руб/м
01А3, 01А4	13	7,06	1,34	1,73	9,53
01М3, 01М4	19	5,93	1,86	1,72	11,27
02Н3, 02Н4	5	6,24	1,92	1,80	10,83

Примечание. Диаметр коронок 59 мм.

Некоторые колебания в показателях можно объяснить различием типов алмазных коронок, использованных при бурении. Однако в практике геологической службы нередки случаи, когда при бурении практически одних и тех же генетических типов горных пород получают различную производительность вследствие применения различных режимных параметров и технологических приемов работы без учета состава и механических свойств пород.

КОНТРОЛЬ ЗА ПЛАНИРОВАНИЕМ И РАЦИОНАЛЬНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БУРОВОЙ ТЕХНИКИ

Использование новой техники и прогрессивной технологии значительно увеличило технические возможности бурения разведочных скважин. На многих рудных месторождениях производительность колонкового бурения составила 1000 м/ст.-мес и более.

Однако необходимо полнее использовать имеющиеся достижения в практике разведочного бурения, осуществлять контроль за планированием и рациональным использованием последних достижений науки и передового опыта буровиков. Этот контроль можно проводить путем проверки и утверждения проектов на геологоразведочные работы в соответствующих управлениях Министерства геологии СССР, в частности в Управлении по новой технике и геологоразведочному оборудованию.

При рассмотрении проектов должны быть установлены: целесообразность способа разведки и объема буровых работ; необходимая и достаточная буровая техника для выполнения целесообразного объема бурения; уровень производительности с учетом применения рациональной буровой техники и прогрессивной технологии бурения; степень использования новых технических средств для обеспечения высокой производительности и качества буровой разведки; использование положительного опыта бурения разведочных скважин в отдельных комплексах пород при разведке конкретных месторождений полезных ископаемых.

Проекты на разведку месторождений полезных ископаемых по частным вопросам экономики и нормирования труда рассматриваются в ВИЭМС.

Более целесообразно решать эту задачу в Министерстве геологии СССР для контроля и оказания помощи, в планировании необходимой буровой техники.

Проведение в жизнь этих мероприятий исключит случайность в планировании и практическом использовании буровой техники, повысит требовательность к составлению проектов на местах и тем самым будет способствовать сокращению сроков разведки и снижению

стоимости разведываемых запасов полезных ископаемых. Рассмотренные в данной книге вопросы имеют непосредственное отношение к установлению резервов для дальнейшего повышения производительности и качества буровой разведки.

Разработанные генетические комплексы горных пород, вмещающие многие месторождения полезных ископаемых с характеристикой их механических свойств, являются основой для типизации условий буровой разведки. Это позволит планировать практическое использование высоких достижений буровой разведки для аналогичных условий, прогнозировать скорости бурения при разведке месторождений, залегających в определенных комплексах пород, с использованием рациональной буровой техники и технических характеристик буровых станков.

Одним из частных вопросов задачи по планированию и рациональному использованию буровой техники является необходимость установления долговечности породоразрушающего инструмента. В технических условиях на изготовление того или иного типа породоразрушающего инструмента должны указываться требования к проходке на коронку при бурении пород. Это повысит требование к заводам-изготовителям и облегчит задачу планирования буровой техники.

Исходные данные для разрешения этого вопроса обсуждались в ВИТР и приведены в работе [24], однако до сих пор в технических условиях отсутствуют требования к проходке на коронку, что отрицательно сказывается на производительности и стоимости 1 м бурения.

В заключение рассмотрим план научно-исследовательских и опытно-конструкторских исследований по разработке методов и технических средств управления производством геологоразведочных работ на примере бурения разведочных скважин.

В отдельных заданиях по планируемым проблемам обращается внимание на необходимость типизации геологических условий проведения буровых работ, разработки методов оптимизации проектирования и сооружения скважин на объекте работ и создания аппаратуры для оптимизации углубления скважины.

В этой связи определенное значение приобретает изучение механических свойств горных пород по методам, изложенным в ОСТ 41—89—74. Например, выделение

типовых объектов разведки с целью определения рациональных областей применения различных способов бурения, новой техники и породоразрушающего инструмента невозможно без учета генетических комплексов горных пород и значений их механических свойств.

Данная работа может служить основой при проектировании оптимальных условий бурения скважины, включая объективное определение категорий пород по буримости, выбор буровой техники и установление режимных параметров проводки скважины.

Особое значение приобретают исходные данные при поиске оптимальных условий бурения скважины с использованием математических методов и ЭВМ. В этом случае достоверность полученных расчетов будет зависеть от достоверности исходных данных. В частности, при оптимизации параметров процесса бурения скважин на базе ЭВМ необходимо учитывать категории пород по буримости, установленные по ОСТ 41—89—74; в противном случае результаты расчетов будут вызывать сомнения и исключат возможность сопоставления полученных для разных месторождений данных и районов работ с данными для рудовмещающих пород, близкими по составу и механическим свойствам.

Необходимость определения механических свойств пород и категорий буримости по ОСТ 41—89—74 гарантирована планом внедрения отраслевого стандарта в течение 1976—1977 гг. В итоге в каждой экспедиции, где проводится буровая разведка, наличие комплекта приборов ПОАП-2м позволит в широких масштабах определять механические свойства пород и использовать результаты этих определений при испытании новой техники; установлении рациональной области применения новой и существующей буровой техники; планировании буровых станков, породоразрушающих инструментов и технических средств, повышающих производительность и качество буровой разведки, с учетом потребности отдельных объектов разведки и геологической отрасли в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Вопросы классификации пород по физико-механическим свойствам, изучение которых необходимо для создания требуемых буровых установок и разработки новых породоразрушающих инструментов, недостаточно освещены в литературе.

2. Существуют две основные группы классификации горных пород в технике разведки и горнодобывающей промышленности — по физико-механическим свойствам и по показателям производственных процессов.

3. Многообразие горных пород по составу и физико-механическим свойствам затрудняет их классификацию для практического использования в горном и буровом деле. Однако такие классификации существуют и служат научной основой развития техники и технологии производственных процессов в горной и геологоразведочной отраслях. Наиболее известные из них основываются на твердости минералов (шкала Мооса и др.); временном сопротивлении пород раздавливанию (классификация проф. Протодьяконова и др.); твердости (шкалы Л. А. Шрейнера, М. М. Протодьяконова, М. И. Койфмана, Н. И. Любимова, Н. В. Быковой и М. В. Виторфа); твердости и механической прочности (группировка пород по объединенному показателю указанных свойств W , составленная Н. И. Любимовым); динамической прочности (группировки пород М. М. Протодьяконова, Н. И. Любимова); абразивности (шкалы М. М. Протодьяконова, а также Н. И. Сидоренко и В. А. Котова, группировки пород Л. И. Барона, В. А. Кузнецова, Н. И. Любимова); взрывной податливости (группировка пород В. С. Владиславлева и др.).

4. Способов классификации горных пород по техническим показателям много, особенно в горнодобывающей промышленности. В последние годы, помимо группировки пород по буримости, взрываемости, количеству затупленных буров, породы классифицируют по энергоемкости и затрате труда на их разрушение при проходке горных выработок. Тем не менее при проектировании горных работ и сравнении условий проходки

выработок непременно учитывается объективная величина — временное сопротивление пород разрушению при одноосном сжатии (коэффициент Протодякова).

5. При разведочном бурении используется классификация пород по буримости. Вместо ведомственных шкал введена единая классификация, которая основывается на скорости бурения и проходке за рейс, т. е. на переменных величинах. Однако и здесь произошла трансформация. В классификации 1963 г. нет шкалы буримости и отнесение пород к той или иной категории проводится по генетическому принципу и составу пород, что также не исключает субъективизма.

В классификации 1952 г. наряду с параметрами буримости имеются указания на различную степень твердости. В классификации 1963 г. ВИТР даны параметры твердости по методу резания на приборе «ОТ». Автором как дополнение к классификациям издания 1952 г. 1963 гг. были разработаны шкалы с использованием коэффициентов буримости, выраженных объединенной величиной твердости и механической прочности W и значениями прочности нетвердых пород I—III категорий по методу вдавливания штампа на приборе штамп-динамометр (ДМШ-1) и по методу царапания и затухающих колебаний твердых пород IV—XII категорий.

В настоящее время разработана шкала буримости на основе параметров динамической прочности и абразивности.

При проведении этих исследований были разработаны метод и аппаратура (ПОАП-2м) для определения абразивности пород в сочетании с методом определения их динамической прочности. Это позволило активизировать исследования по технологии разведочного бурения, рациональному использованию буровой техники и разработке оптимальных режимов бурения разведочных скважин в геологоразведочных партиях и экспедициях.

6. Учитывая, что абразивность и динамическая прочность горных пород оказывают одновременное сопротивление разрушению при бурении, авторы разработали объединенный показатель ρ_m динамической прочности F_d и абразивности $K_{абр}$ для характеристики буримости вращательным способом

$$\rho_m = 3F_d^{0,8} K_{абр}$$

Наличие тесных корреляционных связей между буримостью пород вращательным способом и значением ρ_m позволило выразить эту связь математической формулой

$$v_m = k\rho_m^{-0.5}$$

7. Основываясь на новых принципах классификации горных пород по буримости и на установленных корреляционных связях между буримостью и объединенным показателем, автор разработал шкалу буримости по значению p (кгс/мм²) для нетвердых пород первых трех категорий и ρ_m для твердых горных пород IV—XII категорий.

Подобно существующей шкале по буримости колонковыми снарядами, она имеет вид геометрической прогрессии. Значение p для первых трех категорий изменяется от 0,05 до 6,25 кгс/мм², коэффициент прогрессии $q=5$. Значение ρ_m для пород от III до XII категорий включительно изменяется от 2—3 для III категории до 76—115 для XII, коэффициент прогрессии $q=1,5$.

8. Шкала буримости по значению ρ_m апробирована в производственных условиях и одобрена.

Учитывая положительные результаты приемочных испытаний и опытной эксплуатации приборов с использованием метода определения категорий пород по буримости на основе объединенного показателя абразивности и динамической прочности, Министерство геологии СССР поручило ЦНИГРИ разработать отраслевой стандарт «Породы горные. Метод контрольного определения категорий по буримости для вращательного бурения». Стандарт был разработан, широко обсужден в геологоразведочных организациях и Министерством геологии утвержден ОСТ 47-89—74 для его практического использования. Он распространяется на породы V—XII категорий по буримости для вращательного бурения. Для пород V категории по буримости $\rho_m=4,5\div 6,8$; для пород XII категории $\rho_m=76,8$ и более.

9. Несоответствие буримости горных пород ударно-вращательным способом существующей их классификации по буримости для вращательного бурения вызвало необходимость разработки основ новой классификации применительно к ударно-вращательному бурению.

10. Исследованиями было установлено, что при ударно-вращательном способе бурения так же, как и при вращательном, имеется зависимость буримости горных пород от их динамической прочности и абразивности.

Однако, как доказываем экспериментами, при ударно-вращательном способе разрушения пород при бурении наибольшее влияние на показатели буримости оказывает динамическая прочность пород и в меньшей степени их абразивные свойства.

Это позволило разработать эмпирическую формулу определения объединенного показателя, физический смысл которого соответствует коэффициенту буримости гидроударными машинами с пневмоударниками.

$$\rho_{\text{мл}} = 2F_{\text{д}} K_{\text{абр}}^{0,41}.$$

11. Для разработки шкалы классификации пород применен геометрический принцип изменения $\rho_{\text{мл}}$ со знаменателем прогрессии $q=1,5$.

Исходя из имеющихся данных по буримости гидро- и пневмоударниками, для пород I категории верхний предел значения $\rho_{\text{мл}}$ принимается равным 5,0—7,5, а нижний предел — 56,9—85,4.

12. На основе шкалы буримости по значению $\rho_{\text{мл}}$ составлена классификация горных пород для использования ее при гидроударном и пневмоударном бурении. Ее отличие от классификации пород для вращательного бурения заключается в меньшем числе категорий пород (VII против XII) и в различном положении типичных разностей горных пород по категориям. Например, породы типа гранита в классификации для вращательного бурения отнесены к IX категории, а в новой классификации — к III категории.

Не менее показательно положение пород типа диабза и порфирита. В классификации для вращательного бурения они относятся к VIII категории, а в новой классификации для ударно-вращательного бурения — к двум последним категориям — VI и VII.

Это объясняется составом и механическими свойствами указанных пород. Граниты как полнокристаллические кварцсодержащие породы имеют сравнительно невысокую динамическую прочность, поэтому они более эффективно разрушаются ударно-вращательным способом. Диабазы являются плотными породами с высокой динамической прочностью и потому они труднее разрушаются при ударно-вращательном бурении и относятся к более высоким категориям.

13. Классификация горных пород для ударно-вращательного бурения, основанная на определенных пара-

метрах механических свойств, позволит объективно определять категорию пород; использовать характеристику пород по механическим свойствам для разработки оптимальных режимов бурения, установления областей рационального применения гидроударных машин и пневмоударников и будет служить основой для дальнейшего совершенствования техники и технологии ударно-вращательного способа разрушения пород.

14. Исследования состояния горной породы в предразрушающую стадию при ударных нагрузках позволили установить следующее:

критическую энергию удара на копре Педжа для 11 разновидностей горных пород, при которой они разрушаются от одного-двух ударов до многократно повторяющихся, характерных для их усталостного разрушения;

близость значений критической удельной энергии удара при разрушении пород (гранит, альбитофир, габбро, кварцит) на копре Педжа ($0,02—0,1$ кгс/мм²) удельной энергии ударов при пневмоударном бурении ($0,04—0,08$ кгс/мм²). Это позволяет высказать предположение о том, что процесс разрушения большинства пород пневмоударником происходит при энергии удара, близкой к критической. Исключением, возможно, являются породы типа шокшинских кварцитов, разрушающихся при усталостном режиме;

параметры удельной энергии ударов ($0,002—0,006$ кгс·Хм/мм²), вызывающей разрушение пород в усталостном режиме, могут представить интерес для высокочастотных гидроударных машин, пневмоударников и магнито-стрикторов;

— при пневмоударном бурении с мощностью единичного удара $15—30$ кгс·м на забое скважины образуется зона с нарушенной сплошностью породы на глубину до 15 мм. С увеличением глубины до 45 мм степень нарушения уменьшается и при глубине около 60 мм приобретает первоначальное состояние;

— при бурении магнито-стриктором также образуется предразрушающая зона, отмечающаяся на расстоянии 50 мм от поверхности забоя, однако ее глубина с интенсивно развитой микротрещиноватостью не установлена. Вероятно, она распространяется на меньшую глубину ($5—10$ мм).

15. Вопросы технического прогресса на разведочном колонковом бурении в значительной степени связаны с

внедрением новой техники и технологии в промышленных масштабах.

Наибольшее внимание должно быть уделено высокоэффективному методу бурения со съёмными керноприемниками, высокопроизводительному алмазному бурению при форсированных режимных параметрах, ударно-вращательному и бескерновому видам бурения с широким использованием геофизических методов каротажных работ.

В свете стоящих задач по техническому перевооружению геологической службы большое значение приобретает учет природных условий при проведении геологоразведочных работ, которые должны постоянно изучаться с целью обоснованного прогнозирования производительности и рационального использования новой и существующей буровой техники.

16. В ряде работ ЦНИГРИ приводятся данные о физико-механических свойствах горных пород и показывается, что успехи в области техники и технологии разведочного бурения во многом зависят от полноты наших сведений о вещественном составе горных пород и их физико-механических свойствах.

Проведенные исследования позволили группировать горные породы по их генетическому признаку с характеристикой механических свойств каждой из генетических групп, что является хорошей предпосылкой для развития техники буровой разведки. Это, в частности, позволит предположительно судить об условиях буровой разведки в различных горнопромышленных районах страны.

17. Основой для определения областей рационального применения буровой техники являются генетические комплексы горных пород, слагающих рудные поля и продуктивные толщи многих месторождений в районах с широким развитием геологоразведочных работ, отличающиеся по значениям F_d , $K_{абр}$, ρ_m и категориям буримости по значению ρ_m : (см. таблицу).

18. Разработана методика для определения рациональной буровой техники с учетом механических свойств горных пород и комплекса технико-экономических показателей бурения (проходка на коронку, удельный расход алмазов, механическая скорость бурения, стоимость коронки на 1 м бурения, стоимость бурения 1 м скважины).

Генетический комплекс пород	Механические свойства пород			Категория пород по буримости	Полезное ископаемое
	F _л	K _{абр}	P _м		
Осадочный	4,8	0,8	8	VI	Слабая железная руда, боксит, никель, марганец, калийная соль, уголь
Осадочный метаморфизованный	8,4	1,1	17,5	VIII	Медь, висмут, сурьма, ртуть, каменный уголь
Метаморфический	15,4	2,1	5,0	X— XI	Железо, марганец, боксит, сурьма, фосфорит, золото
Ультраосновной, основной интрузивный и эффузивный	14,2	1,35	33,0	IX	Железо, хром, титан, ванадий, никель, платина
Преимущественно развиты гранитондов	12,3	1,7	37,0	X	Полиметаллы, золото, молибден, вольфрам, олово
Вулканогенный, вулканогенно-осадочный	11,2	1,3	27,0	IX	Железо, марганец, никель, кобальт, медь, свинец, цинк, ртуть, золото, олово
Сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород	16,0	1,6	50,0	X	Железо, медь, свинец, цинк, молибден, вольфрам, олово, висмут, сурьма

19. Из всех показателей, определяющих рациональную область применения разных типов породоразрушающего инструмента, практическое значение имеет стоимость буровой коронки на 1 м бурения скважины.

Принцип учета стоимости буровой коронки на 1 м проходки скважины как критерий при определении рациональной области ее применения может быть использован и при сравнении экономической эффективности различных способов разведочного бурения. Например, при сравнении алмазного и гидроударного видов бурения, кроме стоимости буровых коронок, необходимо учитывать стоимость гидроударника и ресурс его работы.

20. Классификация способов бурения, алмазного и твердосплавного породоразрушающего инструмента, а также предшествующие рекомендации автора по установлению областей применения рациональных способов и породоразрушающих инструментов разведочного бурения являются предпосылкой для последующих исследований этого вопроса.

21. Рассмотренные материалы по рациональной буровой технике для каждого из комплексов пород свидетельствуют о следующем:

— при разведке месторождений полезных ископаемых, залегающих в каждом из семи комплексов пород, необходимо использовать технические средства для переоборудования полезного ископаемого, применять высокопроизводительные виды разведочного бурения (алмазное, гидроударное, пневмоударное, ССК и др.);

— рекомендованная техника для каждого из комплексов пород может быть использована при разведке практически всех месторождений, залегающих в том или ином из рассмотренных комплексов пород;

— идентификация месторождений, входящих в каждый из комплексов пород, позволяет определять степень использования новой буровой техники и прогрессивной технологии и передавать передовой опыт буровой разведки месторождений в пределах каждого из комплексов пород;

— идентификация месторождений по принадлежности к комплексам пород рудных полей и продуктивных толщ позволяет идентифицировать геологические регионы и районы развития геологоразведочных работ в пределах преимущественного развития того или иного комплекса пород и перейти к научному планированию рациональной буровой техники в целях дальнейшего развития технического прогресса в буровой разведке.

22. Разработанные методы определения механических свойств пород (F_d и $K_{абр}$) позволяют устанавливать прогнозные значения механических скоростей бурения непосредственно в геологоразведочных партиях и экспедициях. Для этого используются объединенные показатели r_m и r_{m1} в качестве коэффициентов буримости при вращательном и ударно-вращательном способах бурения и линейные зависимости между механической скоростью бурения и режимными параметрами.

23. Применение расчетных формул дает возможность провести перспективную оценку скоростей бурения при наиболее полном использовании технических характеристик новых типов буровых станков и прогрессивной технологии бурения разведочных скважин.

24. Скорости бурения генетических разностей горных пород на форсированных режимах в 2—4 раза выше по

сравнению со скоростями, полученными при бурении на малых скоростях вращения инструмента и нагрузках.

25. Перспективные скорости бурения генетических комплексов пород, вмещающих различные месторождения полезных ископаемых, зависят от их состава и механических свойств:

— наиболее высокие скорости бурения относятся к комплексу осадочных (4,8—5,2 м/ч) и осадочных метаморфизованных (2,3—3 м/ч) пород;

— перспективные скорости бурения метаморфических пород и пород сложного комплекса несравненно ниже (1,3—1,9 м/ч) вследствие высоких значений их механических свойств;

— расчетные скорости бурения основных и ультраосновных интрузивных пород и комплекса вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород достаточно высоки и близки между собой (1,9—2,3 м/ч) вследствие близости их механических свойств;

— перспективные скорости бурения гранитоидов несколько ниже скоростей бурения интрузивных пород основного и ультраосновного состава и пород вулканогенного комплекса (1,8—2,0 м/ч), что объясняется более высокими значениями абразивности гранитоидов. Эта особенность сказалась лишь на показателях вращательного способа бурения, а при пневмоударном бурении даже несколько возросла.

26. Исследования показывают, что породы одного и того же генетического типа имеют близкие значения механических свойств. В этом случае коэффициент вариации показателей свойств пород лежит в пределах 30—40%. Отмеченное положение может быть использовано при прогнозировании и сопоставлении скоростей разведочного бурения горных пород в различных районах, близких по генетической принадлежности. Опытные данные показывают, что породы, близкие по механическим свойствам, разрушаются при одинаковых режимных параметрах практически с одинаковой скоростью.

27. Изложенный принцип типизации генетических комплексов горных пород и месторождений, в них залегающих, может служить основой для типизации условной буровой разведки с целью: планирования и рационального использования буровой техники применительно к каждому из комплексов пород; целенаправленной разработки новой техники и прогрессивной технологии

разведочного бурения с учетом специфики каждого из комплексов пород; учета уровня использования новой буровой техники и сопоставления производительности бурения скважин при разведке месторождений, залегающих в каждом комплексе пород, в результате идентичности природных условий их залегания; определения перспективных скоростей бурения пород с известными значениями механических свойств при максимальном использовании технических характеристик буровых станков; передачи передового опыта буровой разведки на месторождениях, относящихся к каждому из комплексов пород; разработки методов оптимизации проектирования и сооружения скважин на объекте работ.

28. При оптимизации режимных параметров процесса бурения скважин на базе математического моделирования и ЭВМ необходимо учитывать категории пород по буримости, установленные по ОСТ 41—89—74; в противном случае результаты расчетов будут вызывать сомнения и исключат возможность сопоставления полученных данных для разных месторождений и регионов с близкими по составу и механическим свойствам породами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров М. А. Экономика бурения скважин долотами уменьшенного диаметра. М., «Недра», 1968. 192 с. с ил.
2. Барон Л. И., Коняшин Ю. Г., Курбанов В. М. Дробимость горных пород. М., изд. АН СССР, 1963. 167 с. с ил.
3. Барон Л. И., Кузнецов А. В. Абразивность горных пород при добычании. М., изд. АН СССР, 1961, 168 с. с ил.
4. Бахчисарайцев А. Н., Медхсонян К. А. Установка для определения категории горных пород по буримости. — «Механизация тяжелых и трудоемких работ», 1958, № 1, 25 с. с ил.
5. Бубнов Е. С., Волков В. Н. Причины изменения темпов роста скорости колонкового бурения. — «Разведка и охрана недр», 1973, № 6, с. 17—21 с ил.
6. Бугаков Ю. Д., Корнилов И. И. Современное состояние и перспективы развития техники и технологии бурения. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 6, с. 18—24 с ил.
7. Бугаков Ю. Д., Любимов И. И. Выбор способов бурения и породоразрушающего инструмента при разведке различных полезных ископаемых. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 10, с. 27—30 с ил.
8. Бугаков Ю. Д., Кардыш В. Г., Мурзаков Б. В. Перспективы развития техники и технологии бурения на твердые полезные ископаемые. — «Разведка и охрана недр», 1974, № 3, с. 21—26, с ил.
9. Бугаков Ю. Д., Любимов И. И., Тузов Б. И. Механические свойства пород и расчетная скорость бурения. — «Разведка и охрана недр», 1974, № 6, с. 24—29 с ил.
10. Быхова Н. В., Виторф М. В. Опыт работы с прибором-определителем твердости горных пород. ВИТР Министерства геологии, вып. 46, 1961. 20 с. с ил.
11. Владиславлев В. С. Разрушение пород при бурении скважин. М., Гостехиздат, 1958. 239 с. с ил.
12. Властовский А. М., Козловский Е. А. Опыт алмазного бурения на повышенных скоростях вращения снаряда в организациях Министерства геологии РСФСР. ВИЭМС, 1968. 59 с. с ил.
13. Влияние механических свойств горных пород и режимов бурения на эффективность применения пневмоударников. — «Труды

ЦНИГРИ», 1967, № 78, с. 237—247. Авт.: Любимов Н. И., Пешалов Ю. А., Куликов И. В. и др.

14. Волков В. И., Зарубина А. И. Эффективность бурения геологоразведочных скважин малых диаметров. — «Разведка и охрана недр», 1969, № 6, с. 25—28 с ил.

15. Непароков Ю. В. К методике определения оптимальных размеров геологоразведочных партий на разведке рудных месторождений. В кн.: Вопросы экономики минерального сырья и геологоразведочных работ. Алма-Ата, «Казахстан», 1973, с. 47—71 с ил.

16. Грибов В. В., Сабиров К. Экономическая эффективность бурения скважин сплошным забоем с опробованием по шламу при разведке золоторудного месторождения. — «Информационное сообщение», 1969, № 75, 1969. 16 с. с ил.

17. Киселев А. Т., Круссар И. Н. Исследование и разработка рекомендаций по бурению гидроударными машинами с применением алмазного породоразрушающего инструмента. — «Экспресс-информация», 1975, № 18.

18. Козловский Е. А. Опыт применения контрольно-измерительной аппаратуры для разработки режимов разведочного бурения. ВИЭМС, 1970, 62 с. с ил.

19. Козловский Е. А., Шиншмаков В. Т. Оценка экономической эффективности технологии бурения разведочных скважин. — «Экспресс-информация», 1972, № 23. 55 с. с ил.

20. Квитка В. Г., Кузнецов П. Г. Бурение скважин коронками малых диаметров с обратной промывкой. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 5, с. 24—25 с ил.

21. Кузнецов В. Д. Физика твердого тела, т. 4. Материалы по физике внешнего трения, износа и внутреннего трения твердых тел. Томск, Полиграфиздат, 1947. 539 с. с ил.

22. Любимов Н. И. Методика и аппаратура для определения категорий буримости горных пород в геологоразведочных экспедициях. — «Бюлл. научно-технической информации Министерства геологии и охраны недр», № 2(7), с. 55—61. с ил.

23. Любимов Н. И. Принципы классификации горных пород по физико-механическим свойствам и буримости. — «Бюллетень научно-технической информации МГиОН», 1961, № 4, с. 46—51. с ил.

24. Любимов Н. И. Некоторые пути повышения качества алмазных коронок. — «Труды ЦНИГРИ», 1967, с. 77—84. с ил.

25. Любимов Н. И. Принципы классификации и эффективного разрушения горных пород при разведочном бурении. М., «Недра», 1967. 317 с. с ил.

26. Любимов Н. И., Гутников И. С. К вопросу о рациональной области применения гидроударных машин. — «Труды ЦНИГРИ», 1968, № 81, с. 230—238. с ил.

27. Любимов Н. И. Объективный метод определения категорий горных пород в геологоразведочных организациях. ВИАМС, 12 с. с ил.

28. Любимов Н. И. Рациональный породоразрушающий инструмент и способы бурения скважин при разведке месторождений твердых полезных ископаемых. ВИАМС, 1971. 81 с. с ил.

29. Любимов Н. И., Морозов В. И. Физико-механические свойства рудовмещающих горных пород. М., «Недра», 1973. 120 с. с ил.

30. Отраслевой стандарт. Породы горные. Метод контрольного определения категорий по буримости для вращательного бурения. ОСТ 41—89—74 Министерства геологии СССР.

31. Победоносцева Н. П., Егоров В. И., Мец Б. А. Экономическая эффективность алмазных долот. М., «Недра», 1972. 125 с. с ил.

32. Применение новой смазывающей добавки к промывочным растворам при алмазном бурении. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 3, с. 37—40. Авт.: Зайонц О. П., Комар В. Я., Пукас А. И. и др.

33. Протодьяконов М. М. Определение крепости угля. — «Уголь», 1950, с. 20—24.

34. Протодьяконов М. М., Логунцов Б. М. Буримость и крепость горных пород. — «Вопросы горного дела», 1958, с. 19—31. с ил.

35. Протодьяконов М. М., Бобликов В. С., Ильницкая Е. И. Методика определения прочности горных пород на образцах неправильной формы. М., изд. ИГД им. А. А. Скочинского АН СССР, 1961. 8 с. с ил.

36. Протодьяконов М. М. Научные основы классификации горных пород по механическим свойствам для оценки их буримости. Физико-механические свойства, давление и разрушение горных пород, вып. 2. М., изд. АН СССР, 1963, с. 11—15.

37. Протодьяконов М. М. Механические свойства и буримость горных пород. Механические свойства горных пород. М., Изд. АН СССР, 1963, 169 с. с ил.

38. Разведочное колонковое бурение. М. Госгеолтехиздат. 1957. 592 с. с ил. Авт.: Воздвиженский Б. И., Волков С. А., Филатов Б. С. и др.

39. Рибендер П. А. Физико-химическая механика. М., «Знание», 1958. 64 с. с ил.

40. Ржевский В. В., Новик Г. Л. Основы физики горных пород. М., «Недра», 1964. 206 с. с ил.

41. Селверстов М. И. Научно-технический прогресс на раз-

ведочном бурении и задачи объединения «Геотехника». — «Разведка и охрана недр», 1974, № 2, с. 22—24.

42. Свечников Г. Ленинские идеи неисчерпаемости материи в современной физике. — «Коммунист», 1965, № 17, с. 84—92.

43. Способ определения абразивности горных пород. Авторское свидетельство № 234305. — «Бюлл. изобретений», 1969, № 4. 13 с. Авт.: Любимов Н. И., Пешалов Ю. А., Барфоломеева Е. В. и др.

44. Справочник по алмазному бурению геологоразведочных скважин. Л., «Недра», 1975. 296 с. с ил., Авт.: Блинов Г. А., Васильев В. И., Головин О. С. и др.

45. Справочник мастера колонкового бурения. М., 1960, с. 11—23 с ил. Авт.: Авруцкий А. Л., Волков С. А., Демьянова Е. А. и др.

46. Степанова А. П. О методике определения условных пределов прочности на разрыв. — В кн.: Механические свойства горных пород. М., изд. АН СССР, 1963, с. 94—98. с ил.

47. Суханов А. Ф. К вопросу о единой классификации горных пород. М., Углетехиздат, 1947. 96 с. с ил.

48. Тимофеев Н. С., Вугин Р. Б. Экспериментальные исследования усталостного разрушения горных пород от циклических нагрузок. — «Нефтяное хозяйство», 1969, № 6, с. 21—23 с ил.

49. Тохтуев Г. В., Борисенко В. Г. Некоторые результаты исследования механической прочности горных пород и руд Кривого Рога на образцах неправильной формы. — В кн.: «Механические свойства горных пород». М., изд. ЦНТИ, 1959. 84 с. с ил.

50. Шрейнер Л. А., Гань Чжи-Цзянь. Влияние числа оборотов на скорость бурения шарошечными долотами. — «Нефтяное хозяйство», 1956, № 12, с. 13—16.

51. Шрейнер Л. А. Механические и абразивные свойства горных пород. М., Гостоптехиздат, 1958. 201 с. с ил.

52. Вигн А. Améliorations possibles de la technologie du forage.— „Ing. Petrole“, 1971, No. 416, pp. 33—36.

53. Framsen H. Versuch zur Ermittlung der Bearbeitbarkeit von Gesteinen. — „Glückauf“, 1950, No. 47/48, pp. 1129—1134.

54. Sivers H. Die Bestimmung des Bohrwiderstandes von Gesteinen. — „Glückauf“. 1950, No. 37/38, pp. 776—784.

55. Shepherd R. Physical properties and drillability of main rocks. — „Colliery Engineering“, 1950, No. 322, pp. 468—470.

56. Shepherd R. Rotary drilling in coal mines. — „Colliery Engineering“, 1952, No. 343, pp. 370—375.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие		3
<i>Глава I.</i> Физико-механические свойства горных пород и методы их определения		5
§ 1. Методы определения твердости горных пород		6
§ 2. Методы определения механической прочности горных пород		8
§ 3. Методы определения абразивности горных пород		19
<i>Глава II.</i> Физико-механические свойства и буримость горных пород		27
§ 1. Влияние структуры и минерального состава горных пород на их физико-механические свойства и буримость		27
§ 2. Состав, физико-механические свойства и буримость горных пород осадочного, изверженного и метаморфического происхождения		29
<i>Глава III.</i> Предшествующие классификации горных пород		42
§ 1. Классификация пород по техническим показателям производственных процессов		44
§ 2. Классификация пород по физико-механическим свойствам		45
<i>Глава IV.</i> Классификация горных пород по механическим свойствам для вращательного бурения		56
§ 1. Влияние абразивности и динамической прочности горных пород на их буримость		56
§ 2. Разработка объединенного показателя динамической прочности и абразивности для характеристики буримости вращательным способом		65
§ 3. Разделение горных пород на категории по механическим свойствам		75
§ 4. Определение категорий горных пород в геолого-разведочных партиях и экспедициях по физико-механическим свойствам		80
<i>Глава V.</i> Исследование и разработка основы классификации горных пород для ударно-вращательного бурения		89
§ 1. Количественная характеристика состояния горной породы в предразрушающую стадию при ударных нагрузках		89
§ 2. Установление физико-механических свойств горных пород, существенно влияющих на буримость при ударно-вращательном способе разрушения пород		98
§ 3. Разработка классификации горных пород для ударно-вращательного бурения		107

<i>Глава VI.</i>	<i>Области рационального применения буровой техники</i>	118
§ 1.	Генетические типы горных пород по составу и физико-механическим свойствам	118
§ 2.	Способы разведочного бурения и классификация породоразрушающего инструмента	125
§ 3.	Комплексы горных пород рудных полей и продуктивных толщ как основа типизации условий буровой разведки	146
§ 4.	Влияние физико-географического положения объектов разведки и физико-механических свойств пород на области рационального применения гидроударных машин и пневмоударников	160
§ 5.	Методические положения оценки эффективности применения различных способов разведочного бурения и породоразрушающих инструментов	166
§ 6.	Примерные области рационального применения различных способов разведочного бурения и породоразрушающих инструментов	176
<i>Глава VII.</i>	<i>Прогнозные скорости бурения разведочных скважин</i>	202
§ 1.	Механические свойства горных пород и расчетная скорость бурения	202
§ 2.	Перспективные скорости бурения генетических комплексов горных пород рудных полей и продуктивных толщ	209
<i>Глава VIII.</i>	<i>Контроль за планированием и рациональным использованием буровой техники</i>	221
Заключение		224

Николай Иванович Любимов

**Классификация горных пород и
рациональное применение буровой
техники**

Редактор издательства *Т. А. Чопорова*
Художник *И. В. Григорьев*
Художественный редактор *В. В. Шутько*
Технический редактор *Т. Г. Сивова*
Корректор *С. С. Борисова*

Сдано в набор 1/IV 1977 г. Подписано
в печать 17/VII 1977 г. Т-12723 Формат
84×108¹/₃₂. Бумага № 2. Печ. л. 7,5 Усл.
п. л. 12,3 Уч.-изд. л. 12,2 Тираж 3300 экз.
Заказ № 661/5583—5 Цена 60 коп.

Издательство «Недра».
Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19
Московская типография № 32 Союзполи-
графпрома при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам изда-
тельств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

