

Б. И. ВОЗДВИЖЕНСКИЙ, А. К. СИДОРЕНКО, А. Л. СКОРНЯКОВ

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ БУРЕНИЯ СКВАЖИН



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
Москва · 1970

ВВЕДЕНИЕ

Бурение скважин обычно состоит из следующих основных процессов:

- 1) разрушения горной породы на забое скважины;
- 2) удаления разрушенной породы с забоя на поверхность;
- 3) закрепления неустойчивых стенок скважины.

При проходке скважин в устойчивых породах стенки скважины не закрепляются.

При бурении глубоких скважин много времени занимают спуско-подъемные операции, которые производятся для замены износившегося породоразрушающего инструмента и взятия образцов пород.

В процессе бурения скважин в ряде случаев необходимо изолировать отдельные водоносные горизонты, замерять уровень подземных вод, измерять искривления скважин, искривлять скважину в требуемом направлении, производить различные геофизические исследования и ликвидировать аварии.

Проходка глубоких скважин является сложным процессом и должна проводиться в соответствии с проектом по заранее разработанной конструкции и технологии.

По виду применяемой энергии различают бурение ручное и механическое.

По способу разбуривания забоя бурение скважин разделяется на два вида:

- 1) бурение сплошным забоем;
- 2) бурение кольцевым забоем — колонковое.

В первом случае породоразрушающим инструментом разрушается порода по всему забою. Во втором — выбуривается только кольцевой забой, а в центре скважины остается нетронутая ко-

лонка породы, называемая *керном*. Керн периодически извлекается на поверхность.

По целевому назначению буровые скважины бывают:

1) поисково-разведочные — к ним относятся скважины съемочно-поисковые, разведочные, опробовательские, картировочные, структурные, опорные, инженерно-геологические, гидрогеологические;

2) эксплуатационные скважины, при помощи которых вскрываются и разрабатываются месторождения жидких (вода, нефть, рассолы) и газообразных полезных ископаемых и месторождения минеральных солей;

3) технические скважины, которые проходятся с различными инженерными целями (вентиляционные, замораживающие и т. д.);

4) взрывные скважины и шпуры, которые бурятся при добыче твердых полезных ископаемых.

БУРЕНИЕ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

Глава I

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ БУРИМОСТЬ. КЛАССИФИКАЦИЯ БУРОВЫХ МАШИН

§ 1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Горные породы состоят из минеральных частиц, связанных между собой силами молекулярного сцепления или цементирующим материалом.

По происхождению все горные породы делятся на магматические, осадочные и метаморфические.

Магматические породы образовались из магмы и являются продуктом ее охлаждения и затвердевания. В зависимости от условий охлаждения магматические породы делятся на глубинные (интрузивные) и излившиеся (эффузивные).

Глубинные породы обладают полнокристаллической структурой и представляют собой плотные кристаллические массивы (граниты, сиениты, диориты, габбро и пр.).

Излившиеся породы отличаются стекловидной и неполнокристаллической структурой.

Магматические породы имеют высокую прочность. По содержанию кремнезема магматические породы делятся на кислые, основные и ультраосновные. Кислые изверженные породы содержат свободный кварц.

Осадочные породы по своему происхождению делятся на следующие группы:

а) механические осадки, являющиеся результатом выветривания, разрушения, переноса и отложения мелких кусочков разрушенных пород;

б) осадки химического происхождения (минеральные соли и пр.);

в) органические осадки (известняки, доломиты, мел, угли и пр.).

По своим физико-механическим свойствам осадочные породы в зависимости от происхождения и геологических условий бывают

весьма разнообразны — от рыхлых и сыпучих до плотных и крепких.

Метаморфические породы образовались из изверженных и осадочных пород под действием больших давлений и высоких температур.

Наибольшей твердостью обладают изверженные и метаморфические породы. Из осадочных пород более высокой твердостью отличаются песчаники, доломиты и плотные окремненные известняки.

Породы, выходящие на дневную поверхность, выветриваются. При интенсивном выветривании крепкие скальные породы превращаются в рыхлую дресву и наносы.

По степени связности горные породы разделяются на три группы: скальные, связные и несвязные.

Скальные породы характеризуются наличием между частицами значительных ионных и молекулярных сил сцепления, которые после разрушения породы не восстанавливаются ни при высоком давлении, ни при увлажнении.

Скальные породы разделяются на хрупкие и пластичные.

Хрупкие породы разрушаются по достижении предела упругости. Разрушению пластичных пород предшествуют не только упругие, но и остаточные вязко-пластические деформации.

При всестороннем равномерном сжатии хрупкие породы могут проявлять также пластические свойства.

Скальные породы бывают монолитные и трещиноватые. Стенки скважин, пройденных в скальных породах, устойчивы, за исключением случаев пересечения сильно раздробленных участков.

Связные породы отличаются тем, что силы сцепления между частицами этих пород могут сильно изменяться в зависимости от степени их увлажнения и восстанавливаться после нарушения связности путем применения высокого давления и увлажнения.

Связные породы дают большие остаточные деформации без нарушения связности. Некоторые связные породы увеличиваются в объеме при увлажнении (глинистые породы, мел). В этих породах стенки скважины могут сильно выпучиваться.

Несвязные (сыпучие) породы представляют собой скопления несвязных или слабо связных между собой частиц различной формы и размеров (пески, гравий, галька, щебень и т. п.). Стенки скважин в этих породах обрушаются. Бурение в подобных породах обычно производится с одновременным закреплением стенок скважины.

Породы обладают тем большей прочностью, чем тверже минеральные зерна, слагающие породу, чем крепче связь между этими зернами, чем большей твердостью обладает цемент.

Мелкозернистые породы прочнее крупнозернистых (при одном и том же минералогическом составе).

Плотные породы обладают большей прочностью, чем пористые и трещиноватые.

Прочность горных пород по отношению к разным видам деформаций различна.

Величины относительной прочности при различных видах деформаций для некоторых пород приведены в табл. 1.

Таблица 1

Величины относительной прочности при различных видах деформаций

Порода	Одно- осное сжа- тие	Растяжение	Изгиб	Сдвиг	Вдавлив- ание шта- па (твер- дость)
Граниты	1	0,02—0,04	0,08	0,09	13—17
Песчаники	1	0,02—0,05	0,06—0,07	0,10—0,12	11—20
Известняки	1	0,04—0,1	0,08—0,1	0,15	13—17

Разрушение пород при бурении, как правило, осуществляется вдавливанием в них резцов или зубцов различной формы. Поэтому показатель твердости горной породы при вдавливании штампа имеет наибольшее значение.

Различают следующие свойства горных пород: твердость, прочность, абразивность, вязкость, упругость, хрупкость, трещиноватость и кливаж.

Твердость является свойством твердого тела оказывать сопротивление проникновению в него другого, не получающего остаточных деформаций тела. Твердость также можно определить как местную механическую прочность. В отличие от понятия прочности, характеризующего сопротивление тела полному (объемному) разрушению, твердость представляет собой сопротивление поверхностных слоев тела местному силовому воздействию.

Различают агрегатную твердость горных пород и твердость отдельных минералов, составляющих породу. Агрегатная твердость зависит от твердости отдельных минеральных зерен и от прочности цементирующего вещества и плотности горной породы (ее объемного веса). Именно агрегатная твердость породы больше всего влияет на механическую скорость бурения.

Твердость отдельных минералов влияет на износ породоразрушающего инструмента.

Измерение твердости методом вдавливания штампа. Проф. Л. А. Шрейнер предложил определить твердость горной породы путем вдавливания штампа с площадью основания от 1 до 5 мм² в образец породы, поверхность которой должна быть отшлифована.

Для пород высокой твердости применяются пуансоны со вставкой из твердого сплава в виде усеченного конуса с площадью у вершины 1—2 мм². Твердость и некоторые другие свойства измеряются на специальной установке УМГП-3 (установка для определения механических свойств горных пород) или на гидрав-

лическом прессе. Глубину внедрения штампа в образец породы определяют специальным измерительным индикатором, обеспечивающим точность отсчета до 0,001—0,002 мм.

Одновременно с твердостью можно определить предел текучести и коэффициент пластичности, который характеризует способность породы давать остаточные деформации без разрушения.

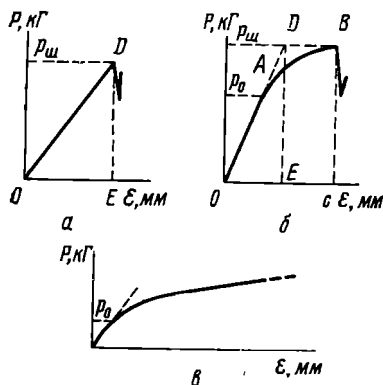


Рис. 1. Диаграммы $\varepsilon = f(P)$ при внедрении штампа (по Л. А. Шрейнеру) в породы. а — хрупкие, б — пластично-хрупкие, в — пластичные.

где $p_{ш}$ — твердость по штампу в кг/мм^2 ; P — нагрузка в момент разрушения породы в кг ; F — площадь опорной поверхности штампа в мм^2 .

На рис. 1, б показана кривая, получаемая при вдавливании пуансона в пластично-хрупкую породу, например в известняк. До некоторой нагрузки P_0 (соответствующей пределу текучести) имеют место только упругие деформации (участок OA).

При дальнейшем повышении нагрузок деформации возрастают более интенсивно, причем рост деформаций каждый раз продолжается некоторое время после прекращения повышения нагрузки (пластическое течение на участке AB). Разрушение породы происходит при некотором напряжении $p_{ш} > p_0$.

Условный предел текучести породы p_0 вычисляется по формуле

$$p_0 = \frac{P_0}{F}, \quad (2)$$

где P_0 — нагрузка, соответствующая пределу текучести (находится как точка перехода от прямолинейного участка диаграммы деформации к криволинейному, рис. 1, б).

Коэффициент пластичности горной породы k вычисляется по формуле

$$k = \frac{A_{об} - A_{ш}}{A_{уп} - A_{ш}}, \quad (3)$$

где $A_{об}$ — работа, затраченная на разрушение породы (площадь $OABC$ на диаграмме деформации), в $\kappa\Gamma \cdot мм$; $A_{уп}$ — работа приведенных упругих деформаций (площадь ODE) в $\kappa\Gamma \cdot мм$; $A_{ш}$ — работа деформации штампа в $\kappa\Gamma \cdot мм$ (вычисляется, исходя из размеров штампа и модуля упругости материала штампа).

Удельная объемная работа разрушения A_v (в $\kappa\Gamma/см^3$) вычисляется по формуле

$$A_v = \frac{A_{об} - A_{ш}}{V}, \quad (4)$$

где V — объем зоны разрушения в $см^3$;

$$V = \frac{Q}{\rho},$$

где Q — вес материала слепка лунки разрушения в $г$; ρ — плотность материала слепка в $г/см^3$.

Пластичные породы, например глины, дают кривые без хрупкого разрушения (рис. 1, в).

Пластичность может оказывать значительное влияние на процесс разрушения породы. В пластичных породах величина деформаций, необходимых для отделения частиц от массива, больше, чем в хрупких, и, кроме того, пластические деформации для своего протекания требуют определенное время. Пластичность зависит от скорости приложения нагрузок. При очень быстром приложении нагрузок многие пластичные породы ведут себя как хрупкие.

Одновременно с твердостью можно определить модуль упругости пород E , величина которого для некоторых пород такова ($\kappa\Gamma/см^2$): кварциты — до $1 \cdot 10^6$; известняки — до $8,5 \cdot 10^5$; песчаники — $5 \cdot 10^5$ и более; глинистые сланцы — $1,5 \cdot 10^5$ — $2,5 \cdot 10^5$.

Определение твердости методом истирания. Для определения твердости горных пород методом истирания может быть применен прибор М. И. Койфмана. Этот прибор состоит из цилиндра диаметром 14 см, вращаемого с постоянной скоростью (23 об/мин). Поверхность цилиндра покрыта карборундовой шкуркой. Образцы породы размером $10 \times 10 \times 30$ мм прижимают к цилиндру под определенной нагрузкой.

В качестве показателя твердости принимают величину $H_{ист}$, определяемую по формуле

$$H_{ист} = \frac{100F\gamma}{P_1 - P_2}, \quad (5)$$

где $H_{ист}$ — показатель твердости на истирание; F — площадь истирания в $см^2$; γ — объемный вес образца породы в $Г/см^3$; P_1 и P_2 — вес образца до и после истирания в $г$.

Определение твердости методом сверления. Для определения твердости производят сверление образца породы сверлом определенной формы при постоянной нагрузке и определенной скорости вращения. За меру твердости принимают глубину внедрения сверла после определенного числа оборотов.

Из других методов определения твердости горных пород следует упомянуть методы Герца и Шора.

Метод Герца основывается на вдавливании шара в испытуемый образец. Этот метод в некоторой степени воспроизводит процесс разрушения породы при дробовом бурении и бурении шарошечными долотами со сферическими штырями.

Метод Шора заключается в том, что на зашлифованную поверхность образца породы с определенной высоты свободно падает боек со сферическим наконечником. Твердость по Шору определяется высотой отскока бойка. Но высота отскока характеризует не твердость, а упругость породы. Поэтому метод Шора подходит только для таких пород, у которых твердость пропорциональна модулю упругости.

Для определения буримости горных пород наибольшее значение имеет метод вдавливания штампа. Для определения буримости вращательным способом перспективен метод сверления. Метод Шора можно рекомендовать для определения твердости хрупких пород, которые бурятся ударным способом.

Прочность. Прочностью твердого материала (породы) называют его способность сопротивляться разрушению под действием внешней нагрузки. Механическую прочность пород определяют на сжатие, скалывание и разрыв.

Прочность на одноосное сжатие определяют на гидравлическом прессе. Образцами служат цилиндры или кубики определенного размера, изготовленные из горной породы

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P}{F}, \quad (6)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ — предел прочности на сжатие в кГ/см^2 ; P — разрушающее усилие в кГ ; F — площадь поперечного сечения образца породы в см^2 .

Прочность на скалывание можно определить методом одноосного среза на приборе Гороновича. Прочность на скалывание вычисляют по формуле, аналогичной формуле (6). Предел прочности на скалывание у большинства пород составляет от 6 до 10% предела прочности на сжатие. Поэтому желательно, чтобы при бурении породоразрушающий инструмент производил в основном скалывание породы.

Абразивность. Абразивностью пород называется их способность изнашивать при трении металлы, твердые сплавы и пр.

Абразивность горных пород в значительной степени зависит от твердости породообразующих минералов: чем тверже минералы, тем больше абразивность породы. Особенно большой абразивностью обладают песчаники с кварцевыми зёрнами угловатой формы, цементированными менее твердым цементом.

Для суждения об абразивности породы были предложены следующие методы:

а) измерение износа вращающегося стального или твердо-

сплавного диска при трении под определенным давлением о поверхность горной породы. Мерой абразивности данной породы принимают весовой или объемный износ диска, отнесенный к единице длины пути трения;

б) измерение весового износа коронок стандартного типа при бурении в испытуемой породе при стандартных условиях.

В этом случае абразивность породы определяют по формуле

$$A_k = \frac{P_1 - P_2}{l}, \quad (7)$$

где P_1 и P_2 — вес коронок до и после бурения в $г$; l — глубина бурения в $м$;

в) способ износа свинцовых шариков. Анализы характера износа алмазных и твердосплавных коронок показывают, что износ их происходит в основном в результате действия бурового шлама. Чем абразивнее буровой шлам, тем более интенсивно изнашивается породоразрушающий инструмент.

Н. И. Любимов предложил метод, позволивший определять абразивность раздробленной породы по износу свинцовых шариков при помощи прибора шатунно-кривошипного типа. Для определения абразивности используется фракция $0,5\text{ мм}$ и менее раздробленной горной породы.

Об абразивности судят по износу восьми свинцовых шариков диаметром $4,25\text{ мм}$ (охотничьей дробь), помещенных вместе с раздробленной породой в рабочую камеру, при вибрации в течение 20 мин.

Коэффициент абразивности принимается

$$K_{аб} = \frac{Q}{100}, \quad (8)$$

где Q — потеря веса дробы в $мг$.

Вязкость. Вязкость характеризуется сопротивлением, оказываемым породой при отделении от массива некоторой его части. Степень вязкости зависит от состава и структуры породы, формы и размеров ее части и влажности.

Упругость. Упругость — способность породы восстанавливать свою форму и объем по прекращении воздействия на нее внешних сил. Упругость характеризуется также отскакиванием ударяющего инструмента (долота, бура) от породы.

Хрупкость. Хрупкость — способность породы сравнительно легко разрушаться на отдельные куски при ударе. Большинство скальных пород при обычных условиях деформаций относятся к телам хрупким.

Трещиноватость и кливаж. Трещиноватость и кливаж понижают сопротивляемость пород механическим воздействиям и облегчают отбойку их от массива. Однако при попадании лезвия бура в трещину возможны случаи заклинивания и скола резцов.

Следовательно, физико-механические свойства пород зависят

от твердости и размера зерен породообразующих минералов, количества и минерального состава цемента, от молекулярных связей между отдельными минеральными зернами, возникающих на их контакте.

Скальные горные породы можно разделить на две основные группы — породы, содержащие кварц, и бескварцевые породы. Скорость вращательного бурения твердосплавными коронками в породах первой группы мала, а износ коронок велик. Скорость вращательного бурения твердосплавными коронками в породах второй группы, несмотря на высокую механическую прочность этих пород, во много раз выше, чем для пород первой группы.

Физико-механические свойства горных пород, а следовательно, и их буримость зависят также и от текстуры породы, в особенности от сланцеватости. По исследованиям Е. Ф. Эпштейна, максимальная твердость сланцевой горной породы наблюдается при вдавливании в нее резцов в направлении падения или поднятия слоев и минимальная твердость наблюдается в направлении, нормальном к поверхности напластования.

§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО КРЕПОСТИ И БУРИМОСТИ

Крепостью горной породы принято характеризовать ее сопротивляемость разрушению.

Проф. М. М. Протодыяконов в 1926 г. предложил классификацию всех горных пород по их крепости. В основу этой классификации положена идея о том, что сопротивляемость горной породы любым видам разрушения (бурению различными способами, взрыванию и т. п.), а также устойчивость породы при проведении в ней горной выработки могут быть выражены определенным числом — коэффициентом крепости породы f .

Приближенно коэффициент крепости f может быть принят равным 0,01 от предела прочности горной породы при одноосном сжатии.

Крепость горной породы есть комплексная характеристика породы, определяемая целым рядом ее физико-механических свойств, оказывающих влияние на процесс ее разрушения при бурении. Крепость горной породы есть величина постоянная, не зависящая от способа бурения.

Буримость породы — это величина проходки за единицу времени чистого бурения (механическая скорость бурения).

Буримость пород устанавливается опытным путем. Так как при различных способах бурения механизм процесса разрушения горных пород различен, то и буримость одной и той же породы при различных способах бурения будет различной. Буримость горной породы характеризуется следующими показателями: механической скоростью бурения, величиной проходки до допустимого износа породоразрушающего инструмента, затратой времени на проходку 1 м скважины. Эти величины зависят не только от

**Классификация горных пород по буримости для вращательного
механического бурения**

Категория буримости	Наиболее характерные породы	Примерная твердость по Л. А. Шрейнеру, кг/мм ²	Примерный коэффициент крепости по М. М. Протодак-конову	Примерная буримость, м/ч
I	Торф, лёсс, слабый мел, песок и супеси без гальки и щебня	10	0,3—1	23,0
II	Торф, растительный слой. Песок плотный, глина средней плотности. Суглинок плотный, мергель, мел, плавун безнапорный	10—25	1—2	11,0
III	Слабо сцементированные песчаники. Мергель, известняк-ракушечник. Плотная глина. Песчано-глинистые грунты с содержанием свыше 20% мелкой гальки. Плавун напорный	25—50	2—4	5,70
IV	Сланцы глинистые, песчано-глинистые, углистые, серицитовые. Слабые песчаники. Плотные мергели. Неплотные известняки и доломиты. Сильно выветрелые дуниты, перидотиты, змевики	50—100	4—6	3,35
V	Галечно-щебнистые грунты. Сланцы хлоритовые, тальково-хлоритоые, серицитовые, слюдяные. Филлиты. Аргиллиты. Известняки. мраморы, мергелистые доломиты. Дуниты, затронутые выветриванием	100—150	6—7	2,25
VI	Сланцы глинистые, кварцево-хлоритовые, кварцево-серицитовые. Полевшпатовые песчаники. Конгломераты осадочных пород на известняковом цементе, апатиты	150—200	7—8	1,50
VII	Сланцы роговообманковые, хлорито-роговообманковые. Окварцованные известняки. Крупнозернистые диориты и габбро. Конгломераты с галькой (до 50%) изверженных пород	200—300	8—10	$\frac{1,89*}{1,15}$
VIII	Песчаники кварцевые. Сланцы окремненные, гранатовые скарны	300—400	11—14	$\frac{1,28}{0,72}$
IX	Сиениты, крупнозернистые граниты. Сильно окремненные известняки. Конгломераты изверженных пород. Базальты	400—500	14—16	$\frac{0,76}{0,40}$
X	Граниты, гранодиориты, липариты. Окремненные скарны. Жильный кварц. Валунно-галечные отложения изверженных пород	500—600	16—18	$\frac{0,48}{0,25}$
XI	Кварциты, джеспилиты. Железистые роговики	600—700	18—20	$\frac{0,32*}{0,17}$
XII	Монолитно сливные кварциты, джеспилиты, роговики, корундовые породы	Более 700	20—25 и более	$\frac{0,15*}{0,05}$

* В числителе — буримость алмазами, в знаменателе — буримость дробью.

свойств породы, но и от вида и конструкции породоразрушающего инструмента и режима бурения. По мере совершенствования породоразрушающих инструментов и технологических параметров режимов бурения буримость пород постепенно повышается.

В настоящее время существует большое количество шкал буримости различными породоразрушающими инструментами и различными способами. Эти шкалы не увязаны друг с другом.

Горные породы по буримости при вращательном механическом бурении разделены на двенадцать категорий*. Критерием отнесения породы к той или иной категории буримости является углубка скважины за 1 ч чистого бурения при определенных условиях (тип и диаметр буровой коронки, глубина скважины и т. д.). При отклонениях от установленных (стандартных) условий вводятся поправочные коэффициенты.

Эта классификация в сокращенном виде дана в табл. 2, где приведены наиболее характерные породы для каждой категории буримости и одновременно указаны примерные механические свойства пород — их твердость по Шрейнеру и коэффициент крепости по Протодяконову.

По пластичности Л. А. Шрейнер разделил породы на шесть категорий (см. формулу 3). Шкала пластичности горных пород приведена в табл. 3.

Таблица 3

Шкала пластичности горных пород

Категория	1	2	3	4	5	6
Коэффициент пластичности	1	1—2	2—3	3—4	4—5	6 и выше

Породы с твердостью по штампу $p_{\text{ш}}$ менее 100 кг/мм^2 обладают обычно большой пластичностью, породы с $p_{\text{ш}}=100\text{—}400 \text{ кг/мм}^2$ относятся к хрупко-пластичным; породы с $p_{\text{ш}} > 400 \text{ кг/мм}^2$ являются хрупкими.

§ 3. ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПОРОД ПРИ БУРЕНИИ

Бурение скважин осуществляется с помощью двух основных процессов:

- разрушения породы на забое скважины;
- транспортирования частиц разбуренной породы от забоя на поверхность.

В настоящее время известны две группы принципиально различных методов разрушения горных пород при бурении. К первой группе относятся те методы, при которых разрушение породы

* По классификации Министерства геологии СССР (ЕНВ, 1964 г.).

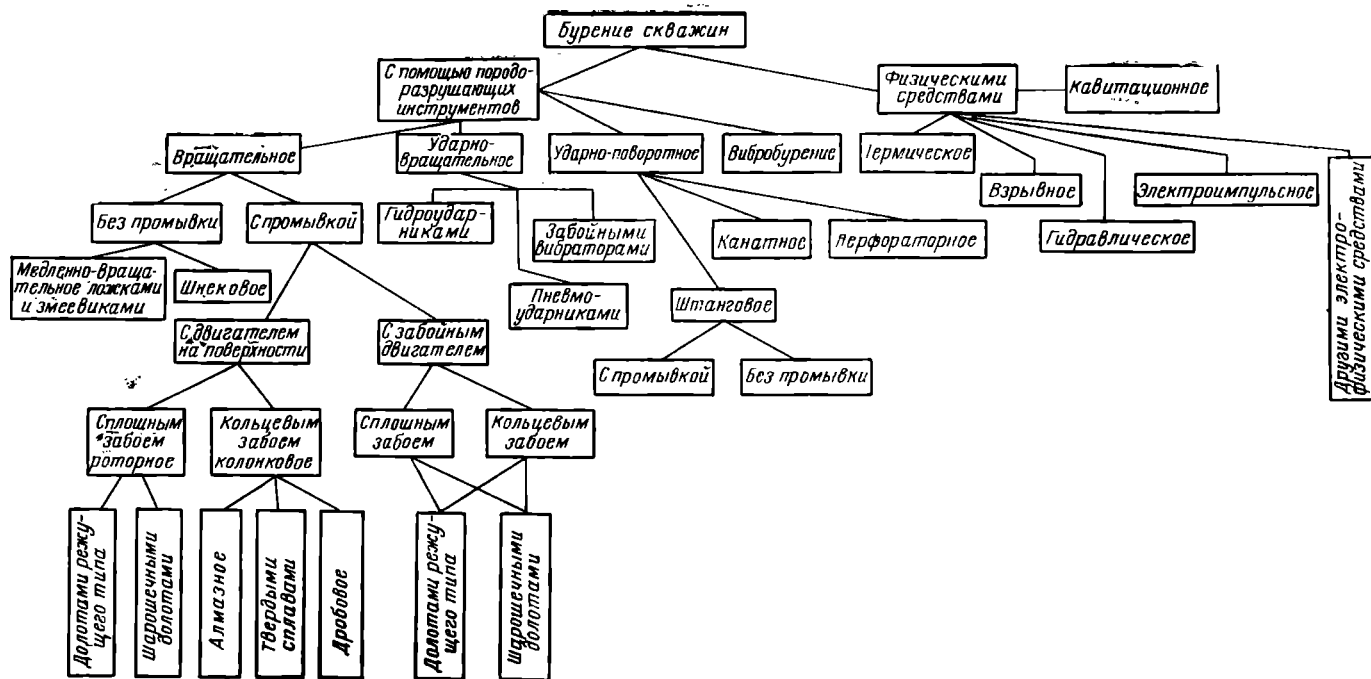


Рис. 2. Классификация буровых работ

осуществляется непосредственным воздействием породоразрушающего инструмента на породу, которое может осуществляться ударным, вращательным или совместно ударным и вращательным способами. В соответствии с этим различают способы бурения: ударный, вращательный и ударно-вращательный. Ко второй группе относятся методы бурения, при которых разрушение происходит различными физическими способами. Классификация способов бурения горных пород приведена на рис. 2.

Ныне бурение скважин в основном осуществляется породоразрушающими инструментами.

Новые методы бездолотного разрушения пород находятся в стадии изучения и экспериментирования. Из них термическое (огневое) бурение получило широкое применение при проходке взрывных скважин в весьма крепких породах.

Из перечисленных способов бурения наибольшее распространение получило вращательное бурение. Почти все бурение на нефть и газ и основной объем разведочного бурения на твердые полезные ископаемые осуществляются вращательным способом. Ударно-вращательное бурение наиболее успешно применяется в породах VII—X категорий. Ударно-канатное бурение, наоборот, постепенно сокращается. Ударно-поворотное перфораторное бурение находит наибольшее применение при бурении шпуров и взрывных скважин.

При бурении любыми породоразрушающими инструментами имеют место на забое следующие виды разрушения горных пород: объемное, поверхностное и усталостное.

Объемное разрушение происходит, когда на контакте резцов породоразрушающего инструмента с породой возникает напряжение, превосходящее твердость породы на вдавливание (критическое напряжение):

$$\frac{C}{F} \geq p_{\text{ш}}, \quad (9)$$

где C — осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент в кГ ; F — общая площадь контактов лезвий породоразрушающего инструмента с породой в мм^2 ; $p_{\text{ш}}$ — твердость породы на вдавливание штампа в кГ/мм^2 .

При соблюдении неравенства (11) породоразрушающий инструмент своими лезвиями будет внедряться и разрушать породу.

При бурении разрушается не только порода; одновременно происходит износ (затупление) лезвий резцов. Поэтому F постепенно увеличивается.

Поверхностное разрушение имеет место, когда на контакте лезвий породоразрушающего инструмента с породой возникает напряжение меньше твердости породы:

$$\frac{C}{F} < p_{\text{ш}}. \quad (9,а)$$

В этом случае разрушение породы при бурении будет происходить только вследствие сил трения, возникающих на контакте лезвий с породой.

Этот вид разрушения неэффективен.

Усталостное разрушение породы занимает промежуточное место между объемным и поверхностным.

При этом первоначально тоже $\frac{C}{F} < p_{\text{ш}}$. Но в результате многократного силового воздействия на породу в ней развивается система трещин, поэтому твердость породы $p_{\text{ш}}$ снижается и периодически на забое возникают условия для объемного разрушения.

При вращательном бурении инструментом с заточечными резцами вначале может иметь место объемное разрушение, которое вследствие затупления резцов переходит в усталостное и, наконец, в поверхностное. Надо стремиться производить бурение при объемном разрушении породы и извлекать из скважины инструмент для замены коронки на стадии усталостного разрушения.

Влияние глубины залегания пород. С увеличением глубины залегания физико-механические свойства пород могут изменяться. Это объясняется тем, что породы, залегающие на большой глубине, подвергаются значительному всестороннему сжатию, вызванному геостатическим давлением.

Под влиянием всестороннего сжатия происходит уплотнение пород.

Исследования Б. Н. Викторова и других показали, что наибольшее уплотнение пористых пород ($\gamma_{\text{п}}$ от 2,0 до 2,5 г/см³) происходит до глубины залегания ~ 1500 м.

Такое уплотнение породы, естественно, сопровождается снижением ее буримости.

В недрах земли породы, находясь в состоянии всестороннего сжатия, приобретают упруго-пластичные свойства. Проведение буровых скважин вызывает нарушение всестороннего сжатия, при этом формируется зона с разреженными нормальными напряжениями. В стенках глубоких скважин возможен саморазрушение пород в силу действия касательных напряжений, если последние превышают предел прочности пород на скалывание, сдвиг и др.

При бурении с промывкой в скважине возникает гидростатическое давление, величина которого равна

$$p_{\text{г}} = \frac{H}{10} \gamma_{\text{ж}} \text{ кг/см}^2, \quad (10)$$

где $\gamma_{\text{ж}}$ — удельный вес промывочного агента; H — вертикальная глубина скважины в м.

Давление столба промывочной жидкости оказывает отрицательное влияние на механическую скорость бурения. Если заменить глинистый раствор водой, скорость бурения увеличивается на 20—30%. Еще большее увеличение (в 2—3 раза) скорости бурения дает замена промывки продувкой газом. С увеличением

глубины бурения такая замена дает особенно ощутимые результаты.

Транспортирование разбуренной породы с забоя скважины на поверхность при штанговом бурении производится промывкой или продувкой, а также быстровращающимся ставом шнеков (винтового транспортера). В этом случае процесс бурения совмещается с процессом транспортирования частиц разбуренной породы от забоя скважины к ее устью.

При медленно-вращательном бурении без промывки разрушенная порода извлекается в породоразрушающем инструменте при его подъеме (в ложках и змеевиках).

При ударно-канатном бурении сперва разрушают породу долотом, а потом транспортируют ее с забоя на поверхность желонками.

В процессе глубокого бурения много времени занимают спуско-подъемные операции, которые производятся для замены затупившегося породоразрушающего инструмента на новый или для извлечения кернов.

Чем глубже скважина, тем больше времени затрачивается на спуско-подъемные операции.

§ 4. КЛАССИФИКАЦИЯ БУРОВЫХ МАШИН (СТАНКОВ)

Существующие буровые машины (станки) предназначаются в основном для двух видов бурения: вращательного и ударного. Станки вращательного бурения при включении над породоразрушающим инструментом (колонковым снарядом) погружного ударного механизма — пневмоударника, гидроударника, забойного вибратора — могут осуществлять ударно-вращательное бурение.

При вращательном бурении высокая скорость бурения достигается при оптимальном сочетании величин осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент, окружного усилия и скорости вращения. Процесс разрушения породы происходит при вращательном бурении непрерывно. Скорость вращательного бурения можно повысить путем применения самозатачивающегося и более стойкого породоразрушающего инструмента, уменьшения потерь на трение, увеличения общего к. п. д. процесса разрушения породы на забое.

Вращательное бурение легче автоматизировать, чем другие способы бурения.

Недостатком вращательного бурения является довольно быстрый износ породоразрушающего инструмента, особенно при бурении крепких и абразивных пород.

При ударном способе бурения разрушение породы производится клиноподобным лезвием бурового инструмента, которое под действием ударной нагрузки внедряется в породу. При этом под лезвием возникают напряжения, превосходящие предел прочности породы, вследствие чего и происходит ее отделение от

забоя. Поворот бура происходит при небольшом окружном усилии, осевое давление при повороте равно нулю или небольшой величине. Повышение скорости ударного бурения достигается за счет увеличения частоты ударов и энергии единичного удара. Процесс разрушения породы при ударном бурении имеет периодически повторяющийся прерывистый характер. Силы трения невелики, вследствие чего износ рабочего инструмента менее интенсивен, чем при вращательном бурении.

При ударно-вращательном способе бурения разрушение породы производится за счет: а) осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент; б) периодически действующей ударной нагрузки; в) окружного усилия, вращающего буровой снаряд.

Наименее энергоемким способом разрушения горных пород при бурении является ударный (см. табл. 4). По сравнению с удар-

Таблица 4

Средние затраты работы при бурении различными способами

Характеристика горной породы	Затраты работы в $\text{кГ} \cdot \text{м} / \text{см}^2$ разрушенной породы		
	ударное бурение (перфораторное)	вращательное бурение (твердыми сплавами)	ударно-вращательное бурение
Железная руда $\sigma_{сж} = 400-800 \text{ кГ} / \text{см}^2$	18—40	90—320	55—125
Гранит серый крупнозернистый $\sigma_{сж} = 800-1000 \text{ кГ} / \text{см}^2$	40—55	320—500	125—155
Гранит серый мелкозернистый $\sigma_{сж} = 1000-1200 \text{ кГ} / \text{см}^2$	55—70	500—850	155—190
Роговик плотный $\sigma_{сж} = 1200-1600 \text{ кГ} / \text{см}^2$	70—100	—	190—320
Джеспилит монолитный $\sigma_{сж} = 1600-2000 \text{ кГ} / \text{см}^2$	100—150	—	—

ным бурением энергоемкость разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении больше в 2—3 раза, а при вращательном бурении в 5—10 раз.

За последние двадцать лет в Советском Союзе создано значительное количество оригинальных, высокопроизводительных буровых машин, по своим эксплуатационным качествам не уступающих зарубежным. К таким машинам можно отнести советские турбобуры, электробуры и буровые агрегаты с погружными гидро- и пневмоударниками.

Для проходки буровых скважин в зависимости от их глубины и от горно-геологических условий применяется различное буровое оборудование. При бурении скважин с поверхности земли применяются буровые установки, монтируемые в буровых вышках или на самоходных и возимых тележках. При бурении скважин из подземных горных выработок применяется специальное буровое оборудование, приспособленное для этих условий.

Современный парк буровых машин, применяемых для бурения

скважин и шпуров, неоправданно многообразен (до двухсот наименований машин). При этом многие конструкции мало различаются между собой. В соответствии с решениями XXIII съезда КПСС ряд ведущих институтов выполняет работы по унификации и стандартизации бурового оборудования. При разработке размерных рядов конструкций бурового оборудования систематизируется и изучается все многообразие горно-геологических условий и технико-эксплуатационных требований, которым должны соответствовать создаваемые конструкции. Одновременно унифицируются и нормализуются конструктивные и технологические параметры всех видов разрабатываемого бурового оборудования, учитываются также новейшие достижения и требования науки, новой организации и экономики.

Все буровые машины можно разделить на два основных вида:

- 1) погружные (забойные) буровые машины;
- 2) непогружные буровые машины.

Погружные буровые машины могут быть:

1) полнопогружными, у которых при бурении находятся в скважине все основные рабочие механизмы, вне скважины остаются только вспомогательные. К этим машинам можно отнести турбобуры, погружные электробуры, погружные пневмоударные перфораторы;

2) неполнопогружными, у которых в скважине находятся не все основные механизмы. К таким машинам можно отнести ударно-вращательные буровые агрегаты, БА-100, НКР-100М, БС-150 и др. У этих конструкций в скважине находится только ударный механизм, пневмоударник или гидроударник.

У непогруженных буровых машин в скважине находится породоразрушающий инструмент с колонной бурильных труб или бур с буровой коронкой (при бурении шпуров).

Известны опытные конструкции буровых машин, использующих новые физические методы разрушения пород: плазмобуры, термомеханические буровые снаряды, кумулятивно-взрывные и микро-взрывные буровые устройства, электроэрозионные и электроискровые буровые наконечники; кроме того, испытываются для разрушения горных пород при бурении ультразвук и инфразвук, электрогидроэффект, токи высокой частоты, электроимпульсные и гидроимпульсные снаряды и струи воды высокого давления. Разрабатываются конструкции буровых машин, комплексно использующих механические и физические методы разрушения пород. На горно-буровых работах уже получили эффективное применение станки термического бурения.

При вращательном бурении в зависимости от конструкции применяемого бурового инструмента различают пять основных видов бурения (см. рис. 2).

Алмазное бурение обеспечивает достаточно высокие технико-экономические показатели при проходке скважин в породах не ниже VII категории по буримости (см. табл. 2). При бурении

глубоких скважин алмазное бурение эффективно применяется и в более мягких породах.

Твердосплавное бурение, осуществляемое коронками, армированными резцами из металло-керамического твердого сплава, обеспечивает удовлетворительные технико-экономические показатели при обычных режимах бурения на проходке скважин в породах не выше VII категории, а при силовых режимах бурения в породах не выше IX категории по буримости (см. табл. 2).

Дробовое бурение, производимое с помощью стальной или чугунной дроби, быстро сокращается и заменяется алмазным.

Шарошечное бурение выполняется шарошечными долотами со стальными зубьями и коническими шарошками, армированными штырями из металло-керамического твердого сплава. Первые рекомендуются для бурения пород не выше VII категории, вторые наиболее выгодно применять при бурении пород VII—IX категорий по буримости.

Шнековое бурение применяется при бурении мягких пород (II—IV категорий). Предельная глубина шнекового бурения 70—80 м.

Соответственно конструкции основного бурового инструмента (снаряда), на который спроектирован станок, часто называют: станок алмазного бурения, станок шарошечного бурения и т. п.

Ударный способ бурения более выгодно применять при проходке скважин в горных породах не ниже VIII категории буримости.

Ударно-вращательный способ бурения обеспечивает наиболее высокие технико-экономические показатели при проходке скважин в горных породах VI—IX категорий.

Главными технико-эксплуатационными параметрами буровой машины являются глубина и диаметр бурения, определяющие в основном назначение машины.

Значительное влияние на технико-эксплуатационные показатели буровых машин оказывает система подачи бурового инструмента при бурении скважин.

Известные в настоящее время конструкции подающих механизмов буровых машин по своим качествам и режиму работы можно разделить на две основные системы подачи: систему жесткой подачи и систему гибкой подачи.

Системой жесткой подачи следует называть такую, при которой подача бурового инструмента производится по строго заданному режиму, жестко сохраняя в заданных параметрах величину усилия подачи (осевого давления), скорость и характер подачи. При этом буровой инструмент не может отходить или отскакивать от забоя скважины, сохраняя все время контакт рабочих лезвий с породой. Система станок—механизм подачи—колонна бурильных труб (штанг) — породоразрушающий инструмент является жесткой, в конструкции отсутствуют гибкие амортизирующие элементы.

Система гибкой подачи характеризуется наличием возможности колебания величин — усилия подачи (осевого давления) и скорости подачи. При работе подающий механизм, сохраняя в основном заданный режим подачи, разрешает породоразрушающему инструменту свободу отхода или отскакивания от забоя скважины, поэтому контакт рабочих лезвий инструмента с породой непостоянный. Система станок-механизм подачи-бурильная колонна (штанги) и буровой снаряд имеют пружинящие, амортизирующие элементы. Чаще всего таким элементом является механизм подачи.

В зависимости от вида энергии, потребляемой приводом, различают буровые машины (станки, установки, агрегаты) электрические, пневматические, гидравлические, дизельные и т. п.

По способу транспортировки имеются конструкции буровых машин: переносные, передвижные, самоходные колесные, гусеничные и плавающие, монтируемые на понтонах.

Можно группировать буровые машины также по весу, по способу удаления разбуренной породы, направлению бурения и другим признакам в зависимости от решаемой задачи.

§ 5. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БУРОВЫХ МАШИН

Важным эксплуатационным показателем буровой машины является ее производительность, измеряемая скоростью бурения.

Производительность при бурении характеризуется механической, рейсовой, технической, коммерческой и цикловой скоростями бурения.

Механическая скорость бурения

$$v_m = \frac{l_6}{t_6} \quad (11)$$

где l_6 — проходка скважины за рейс в м. Величина l_6 тем больше, чем больше стойкость рабочих элементов породоразрушающего инструмента, выполняющих непосредственно работу разрушения горной породы на забое и чем ближе режим бурения к своему оптимальному содержанию; t_6 — время бурения в часах за рейс. Наивыгоднейшее значение t_6 определяется расчетным путем.

Рейсовая скорость бурения

$$v_p = \frac{l_6}{t_6 + t_{всп}}. \quad (12)$$

Вспомогательное время $t_{всп}$ в часах складывается из затрат времени на спуско-подъемные и подготовительно-заключительные операции, связанные с бурением. Значение $t_{всп}$ тем меньше, чем больше механизированы и автоматизированы все операции при бурении и чем больше скорости выполнения этих операций; с увеличением глубины скважины $t_{всп}$ растет. Степень использования буровой машины определяется коэффициентом ее использования $K_{и}$:

$$K_{и} = \frac{t_6}{t_6 + t_{всп}}. \quad (13)$$

Техническая скорость бурения

$$v_t = \frac{L_m}{T_б + T_{всп} + T_{доп}}, \quad (14)$$

где L_m — суммарная проходка скважины за станко-месяц в м; $T_б$ — суммарное время бурения в ч за станко-месяц; $T_{всп}$ — суммарное время в ч, затраченное на вспомогательные операции за станко-месяц; $T_{доп}$ — общее время в ч, затраченное на измерительные, исследовательские, ремонтные и другие работы за станко-месяц.

Для уменьшения величины $T_{доп}$ требуется использование наиболее передовых методов работы, оборудования и аппаратуры, обеспечивающих возможность выполнения **исследовательских и** вспомогательных работ параллельно и одновременно с основными.

Коммерческая скорость бурения

$$v_k = \frac{L_m}{T_б + T_{всп} + T_{доп} + T_n}, \quad (15)$$

где T_n — непроизводительные затраты времени в ч, вызванные простоями по разным причинам за станко-месяц.

Цикловая скорость бурения $v_{ц}$ м/ст.-мес.

$$v_{ц} = \frac{L_{ск}}{T_0}, \quad (16)$$

где $L_{ск}$ — глубина пробуренной скважины в м; T_0 — полная затрата времени в станко-месяцах на выполнение всех работ по монтажу, бурению и демонтажу оборудования, связанного с проходкой одной скважины.

Потребное количество буровых установок может быть определено по формуле

$$m = \frac{L_0}{v_{ц} n \eta}, \quad (17)$$

где m — потребное количество буровых установок; L_0 — общий заданный метраж буровых работ; n — заданные сроки работ в месяцах; η — коэффициент использования буровых установок, равный в среднем 0,70—0,85.

Если по расчету одновременно должны работать четыре-пять буровых установок, то необходимо предусматривать один резервный станок, укомплектованный необходимым инструментом и принадлежностями.

Парковая скорость бурения равна

$$v_{пар} = \frac{L_0}{m n}; \quad (18)$$

$$\frac{v_{пар}}{v_{ц}} = \eta. \quad (19)$$

Скорость бурения является основным показателем, характеризующим буровую машину и определяющим условия и область ее наиболее выгодного применения. При всех равных условиях (т. е. одинаковых мощности, буровом инструменте, режиме бурения, крепости породы и др.) более высокую скорость бурения показывают погружные буровые машины.

Кардинальной проблемой, решение которой позволило бы улучшить все показатели при бурении скважин, в том числе и скорость бурения, является создание самозатачивающегося бурового инструмента из материалов, обладающих большой твердостью и вязкостью.

Глава II

БУРЕНИЕ НЕГЛУБОКИХ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Скважины глубиной до 50 м получили наибольшее распространение при проведении геологопоисковых, инженерно-геологических и гидрогеологических исследований. Основная масса указанных выше исследований проводится в породах мягких и средней крепости. Часто бурение производится в песчано-глинистых наносах, содержащих гравий, гальку и валуны. Породы эти в большинстве случаев склонны к обрушению, поэтому часто приходится параллельно с бурением закреплять скважину обсадными трубами.

Раньше неглубокое бурение проводилось вручную. В настоящее время бурение таких скважин механизировано. Породы при проходке неглубоких скважин очень разнообразны по своим физико-механическим свойствам. Поэтому для бурения мелких скважин получили применение различные типы буровых станков, отличающиеся друг от друга способом разрушения горной породы, технологией бурения и параметрами буримых скважин (глубина и диаметры бурения).

По способу разрушения породы среди применяемых в промышленности буровых установок можно выделить следующие группы: а) легкие установки ударно-канатного бурения; б) установки вращательного бурения шнеками; в) установки вибрационного бурения; г) установки прессбурения (бурение методом задавливания); д) установки комбинированного ударно-вращательного бурения.

§ 2. УДАРНО-КАНАТНОЕ БУРЕНИЕ ЗАБИВНЫМИ СТАКАНАМИ

При проходке неглубоких инженерно-геологических скважин в связных, рыхлых и сыпучих грунтах, сухих и водонасыщенных, применяется бурение на канате с помощью ударных буровых гильз (стаканов), забивных грунтоносов и желонок.

Общий вид легкой передвижной установки для неглубокого канатного бурения с помощью ударных буровых гильз представлен на рис. 3.

Буровой снаряд, состоящий из ударной гильзы 1, ударной штанги 2, подвешивается на канате 3. Канат огибает ролик 4 на вершине мачты 5 и закреплен на барабане лебедки 7, приводимой от легкого бензинового двигателя 6. Бурильщик поднимает и отбрасывает буровой снаряд, включая и освобождая барабан 7 при помощи рукояток 8. Высота подъема 0,6—1 м, число ударов 20—25 в 1 мин. После заполнения стакана породой бурильщик производит с помощью лебедки подъем инструмента.

Для бурения в мягких породах чаще всего применяются ударные буровые гильзы (стаканы) (рис. 4, а). Ударные буровые желонки (рис. 4, б) применяются для проходки водоносных песков и разжиженных глинистых грунтов. Желонки опускаются в скважину часто вместе с тяжелой штангой.

Грунтоносы (рис. 4, в) предназначены для отбора монолитов грунтов. Грунтоносы обычно забиваются в грунт с помощью ударников (рис. 4, г).

Процесс отбора монолитов грунта с помощью грунтоноса состоит в следующем: грунтонос с ударником и ударной штангой на канате опускаются на предварительно очищенный забой, после чего ударной штангой наносятся удары по наковальне, которые передаются грунтоносу, при этом грунтонос, не отрываясь от забоя, внедряется в грунт.

При встрече неустойчивых грунтов проходка скважины осуществляется с одновременной посадкой обсадных труб (рис. 4, е).

В сыпучих и неустойчивых породах бурение производится желонкой при одновременной обсадке трубами.

Встречаемые валуны и крупную гальку разрушают долотом (4, д) с ударной штангой, нанося ~20 ударов в 1 мин.

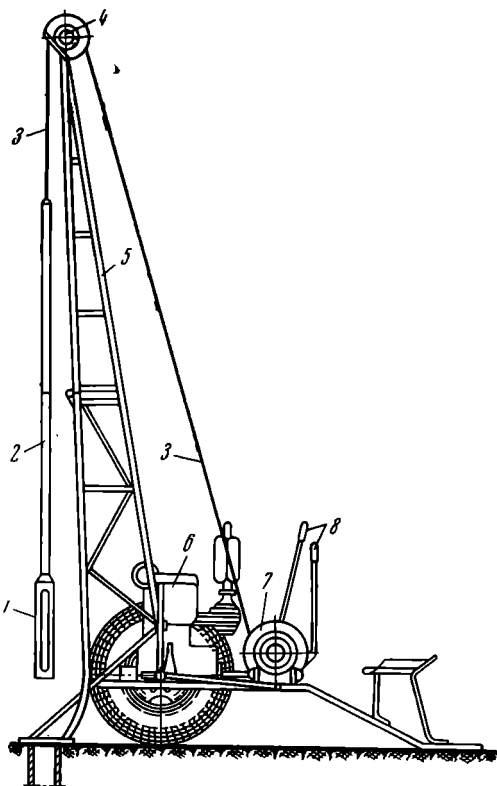


Рис. 3. Легкая установка для бурения на канате ударными стаканами и грунтоносами

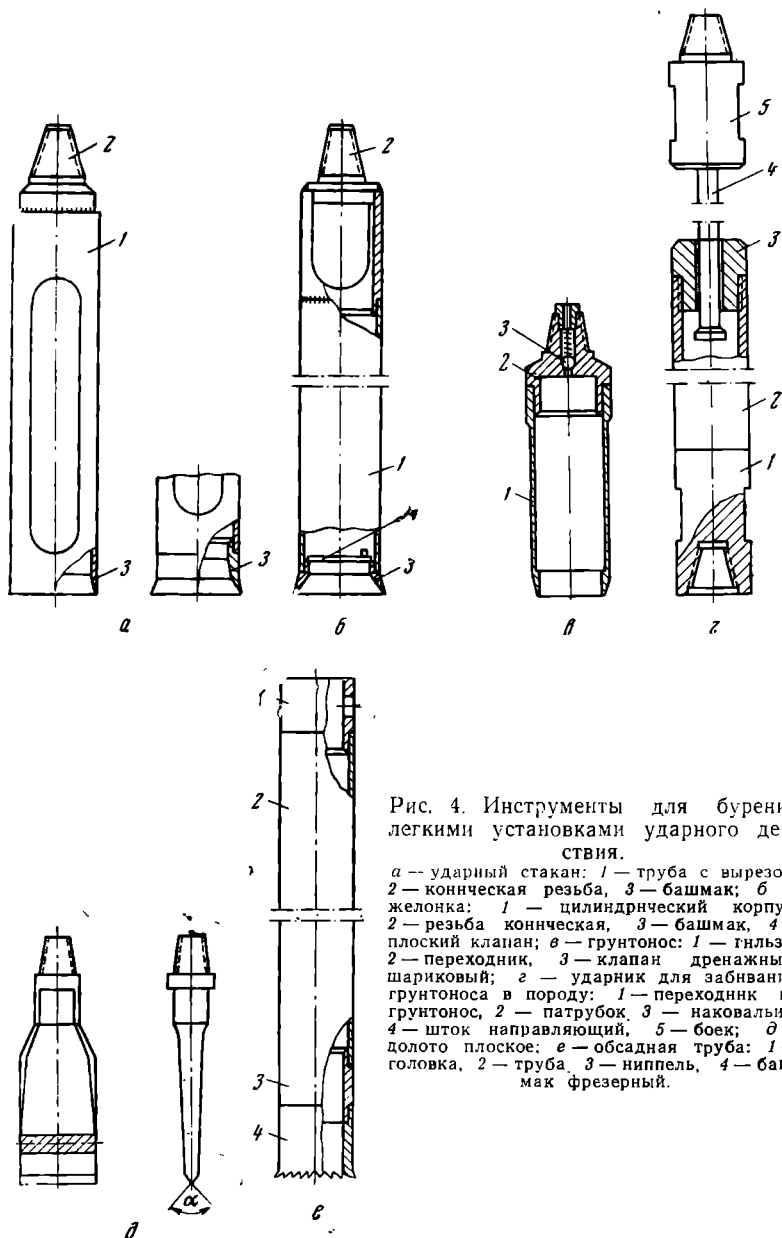


Рис. 4. Инструменты для бурения легкими установками ударного действия.

а — ударный стакан: 1 — труба с вырезом, 2 — коническая резьба, 3 — башмак; б — желонка: 1 — цилиндрический корпус, 2 — резьба коническая, 3 — башмак, 4 — плоский клапан; в — грунтонос: 1 — гильза, 2 — переходник, 3 — клапан дренажный, шариковый; г — ударник для забивания грунтоноса в породу: 1 — переходник на грунтонос, 2 — патрубок, 3 — наковальня, 4 — шток направляющий, 5 — боек; д — долото плоское; е — обсадная труба: 1 — головка, 2 — труба, 3 — ниппель, 4 — башмак фрезерный.

Буровая бригада состоит из двух человек — мастера и рабочего.

Производительность ударно-канатного бурения в 2—3 раза больше, чем ручного ударно-вращательного.

§ 3. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ ШНЕКАМИ

Сущность вращательного бурения шнеками заключается в том, что разрушенная долотом порода поднимается на поверхность в процессе бурения, одновременно с углублением забоя, с помощью вращающихся буровых штанг, на которые винтообразно навита стальная лента-реборда. Колонна этих штанг-шнеков образует винтовой транспортер.

Высокая скорость проходки скважины обуславливается быстрым разрушением породы и подъемом шнеками крупных кусков ее, сколотых долотом, без дополнительного дробления.

При движении породы от забоя к устью некоторая ее часть прижимается торцевой частью реборды к стенкам скважины, оштукатуривая и закрепляя их.

Шнековый способ бурения с большой эффективностью применяется при проходке скважин в мягких и средней крепости породах, а также в слабо сцементированных галечниках, если размеры гальки меньше шага витка реборды.

Вращательным способом шнеками бурятся скважины для сейсморазведки, при инженерно-геологических изысканиях, а также для поисков и разведки водоносных горизонтов. При открытых разработках угольных месторождений взрывные скважины бурятся шнековым способом.

Геологическая документация обеспечивается путем использования для описания поднимаемой шнеками породы. Для уточнения геологической документации переходят на шнековое бурение малыми интервалами. Например, быстро проходят 30—50 см, затем прекращают подачу инструмента, пока вся разрушенная на этом интервале порода не будет вынесена на поверхность, после чего продолжают углубление на тот же интервал.

Для взятия кернов можно применять шнековый инструмент со съемной (бросовой) грунтоносной, который обеспечивает отбор кернов без подъема шнековой колонны на поверхность.

Шнековый способ не требует применения промывочной жидкости, что упрощает организацию буровых работ, особенно в зимнее время.

Инструмент для шнекового бурения состоит из долота и колонны шнековых штанг.

Шнековые штанги (шнеки) представляют собой трубы диаметром 60 или 73 мм с навитой на них спиралью стальной ленты-реборды, имеющей толщину 5÷6 мм (рис. 5, а).

Наружный диаметр шнека меньше диаметра долота на ~15 мм, а шаг винтовой полосы реборды составляет 0,7—0,9 от наружного

диаметра шнека. Длина шнеков составляет от 1,2 до 3 м и ограничивается ходом подвижного вращателя. Диаметры шнеков 80—300 мм и более.

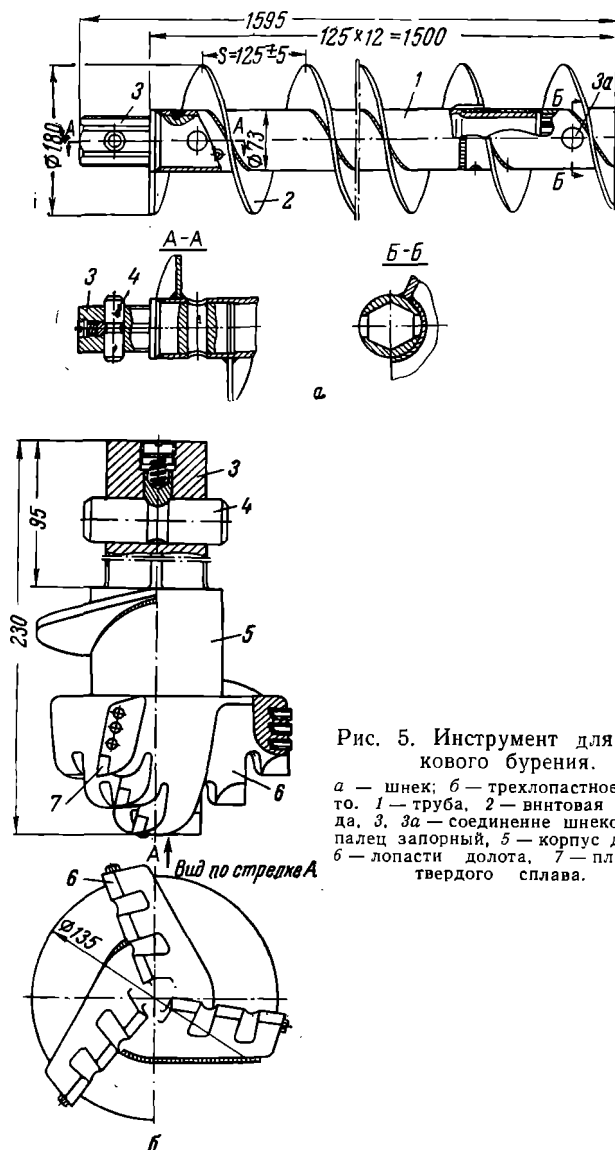


Рис. 5. Инструмент для шнекового бурения.

a — шнек; *б* — трехлопастное долото. 1 — труба, 2 — винтовая реборда, 3, 3а — соединение шнеков, 4 — палец запорный, 5 — корпус долота, 6 — лопасти долота, 7 — пластины твердого сплава.

Конструкции долот для шнекового бурения довольно многочисленны. Наибольшее распространение получили двух- и трехперые долота, преимущественно со ступенчатой режущей кромкой

(рис. 5, б). Кромки долот армируются резцами из твердых сплавов.

Для шнекового бурения разработано несколько типов буровых установок. Самым легким является мотобур М-1 (рис. 6), предназначенный для бурения скважин глубиной 7—10 м в мягких породах. Он приводится от двигателя «Дружба-4» мощностью 5 л. с. и весит всего 15 кг.

При сейсморазведочных работах и поисках применяют буровые установки, смонтированные на автомашинах и на гусеничных тракторах; они предназначены для бурения скважин шнеками глубиной до 50—75 м. Скорости вращения шнеков от 100 до 300 об/мин.

Станки (рис. 7) имеют мачту высотой 8—10 м, грузоподъемностью до 8—10 т. Мачта при транспортировке станка укладывается в горизонтальное положение.

Шнековые станки, оснащенные промывочными насосами, могут также бурить скважины колонковым способом с промывкой до глубины 200—300 м.

Технология шнекового бурения

При проходке мягких и сыпучих пород бурение производится плоским или трехперым долотом без принудительного осевого давления с максимальной скоростью вращения (до 200—300 об/мин). В этом случае давление на забой осуществляется весом шнековой колонны в совокупности с весом вращателя.

Принудительное давление бывает только в начале бурения скважины при ее забурировании.

Бурение в вязких, плотных глинах шнековым способом малоэффективно вследствие образования сальников на долоте и шнеках. Проходка облегчается путем подлива воды на забой или сообщения вибрации колонне шнеков в процессе бурения.

Бурение твердых пород сопровождается принудительной на-

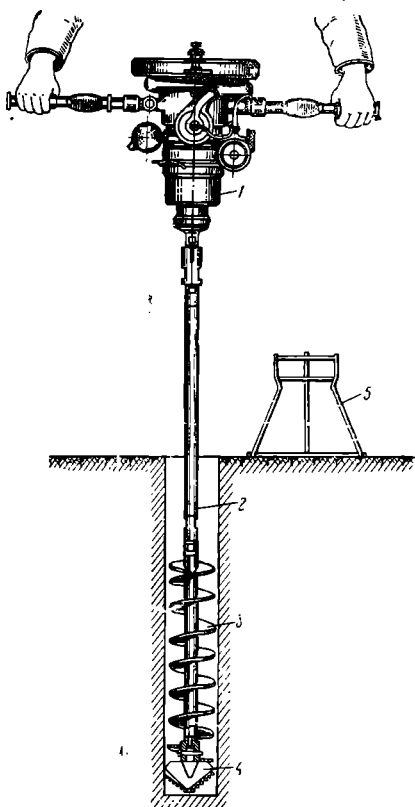


Рис. 6. Мотобур М-1.

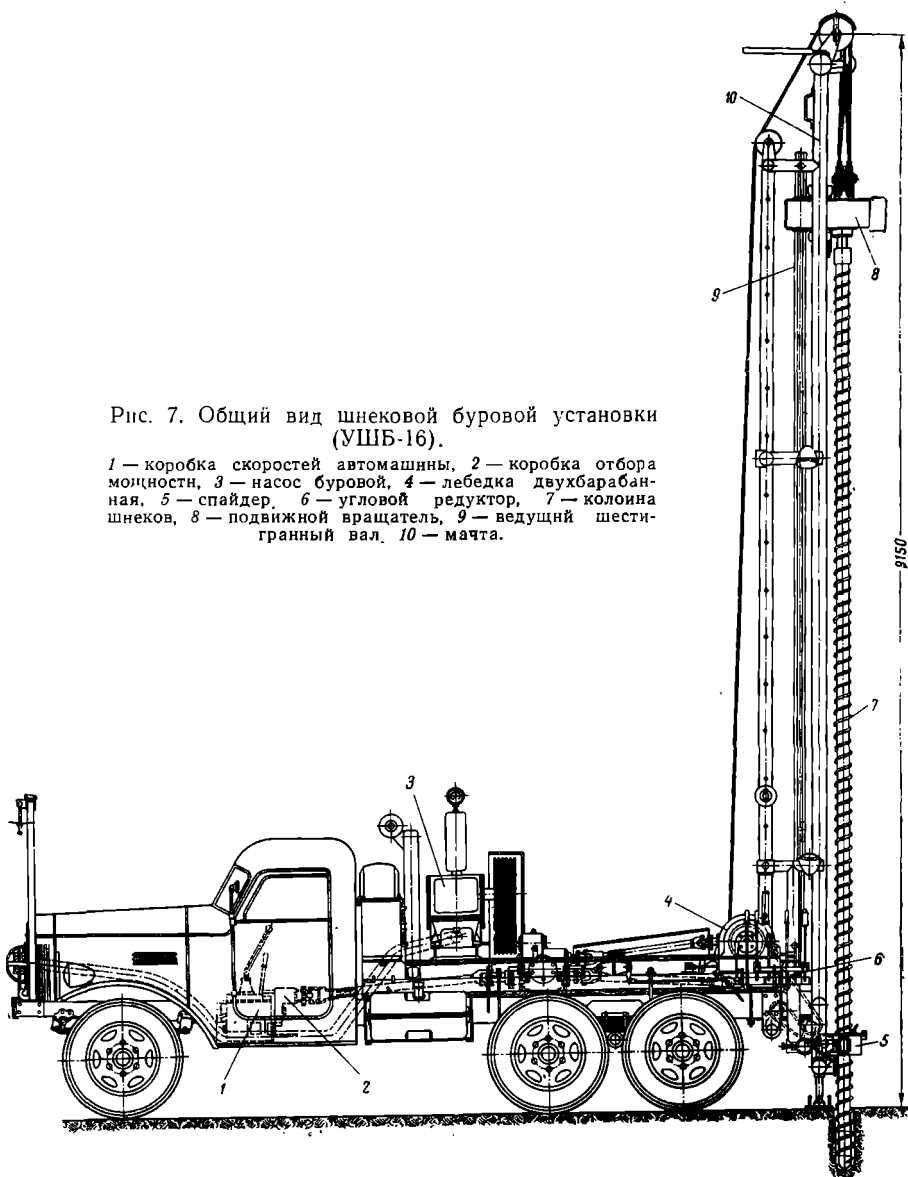
1 — мотобур с редуктором; 2 — штанга; 3 — шнек; 4 — долото; 5 — подставка под мотобур.

грузкой на долото порядка 800—1000 кг, при этом скорость вращения снижается до 80—120 об/мин.

Для проходки плавунгов и водоносных горизонтов применяют вибратор, с помощью которого одновременно опускают обсадную колонну для крепления стенок скважины.

Рис. 7. Общий вид шнековой буровой установки (УШБ-16).

1 — коробка скоростей автомашины, 2 — коробка отбора мощности, 3 — насос буровой, 4 — лебедка двухбарабанная, 5 — спайдер, 6 — угловой редуктор, 7 — колонна шнеков, 8 — подвижной вращатель, 9 — ведущий шести-гранный вал, 10 — мачта.



Для взятия керна применяются шнеки с большим проходным отверстием (рис. 8). Сверху эти шнеки на канате спускается грунтоноска, которая закрепляется в нижнем шнеке с помощью фиксаторов. После наполнения грунтоноски керном дают натя-

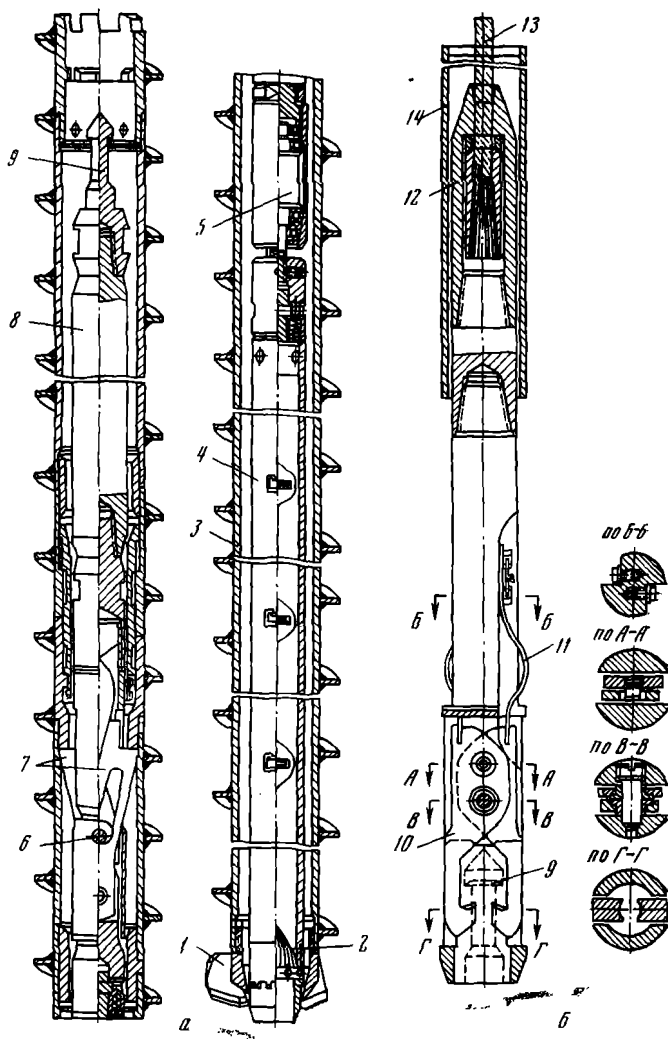


Рис. 8. Шнековый инструмент со съемной кернапримной трубой.

а — шнековый колонковый бур; б — ловитель. 1 — коронка, 2 — керна-нормаль, 3 — полый шнек, 4 — разъемная кернапримная труба, 5 — вращающее устройство, 6 — устройство, обжимающее фиксаторы при движении вверх, 7 — защелки-фиксаторы, 8 — утяжелитель, 9 — ловильная головка — грибок, 10 — захватывающие клещи, 11 — пружины, 12 — канатный замок, 13 — канат, 14 — патрубок, бросае-мый для освобождения ловителя.

жение канату, в результате чего фиксаторы выходят из гнезда и освобожденная грунтоноскa с керном поднимается на поверхность. В скважину немедленно спускается подготовленная порожняя грунтоноскa.

При шнековом бурении обычно в смене работают два человека: буровой мастер (он же шофер) и буровой рабочий.

Прходка за 1 ч чистого бурения по породам: I категории — 75,0 м; II категории — 40,0 м; III категории — 21,4 м и IV категории — 10—14,0 м.

Производительность бурения (время сооружения) скважины в значительной степени зависит от того, производится бурение сплошным забоем или с отбором образцов породы. При отборе керна производительность шнекового бурения значительно снижается.

§ 4. ВИБРАЦИОННОЕ БУРЕНИЕ

В настоящее время наметилось два направления в области использования эффекта вибрации в бурении неглубоких скважин.

Первое направление получило широкое распространение при вибрационном бурении мягких пород и называется вибропогружением. Сущность вибропогружения сводится к следующему: под действием вибрирующего бурового снаряда такие породы, как суглинки, пески, супеси в зоне контакта с буровым наконечником переходят в подвижное состояние. Это состояние характеризуется резким снижением сопротивления сдвигу, вследствие чего вибрирующий инструмент под действием своего веса погружается, как бы «тонет» в породе.

Во втором случае прижатому к забою инструменту сообщают направленные в одну сторону частые удары, которые через инструмент передаются на породу. Под действием этих ударов порода вытесняется или разрушается и происходит погружение инструмента. Этот способ бурения называется виброударным и осуществляется с помощью вибромолотов.

Оба способа получили широкое применение при бурении неглубоких скважин, особенно в мягких породах.

Скорость бурения скважин с применением вибрации по сравнению с другими методами выше в 2÷4 раза при достаточно высоком качестве отбираемых образцов. Основоположителем вибробурения является проф. Д. Д. Баркан.

На рис. 9, а приведена принципиальная схема двухблочного вибратора. От электродвигателя при помощи клиновых ремней вращение передается одному из валов вибратора. Второй вал вибратора приводится при помощи двух шестерен-синхронизаторов, заклиненных на обоих валах, на которых посажены дебалансы. Валы с дебалансами заключены в корпус 4. Для присоединения к вибратору бурового инструмента к днищу корпуса прикреплен переходник. К верхней части корпуса присоединяется

серьга (на рис. 9 не показана) для подъема и опускания вибратора. Эксцентрично расположенные грузы, вращаясь в противоположные стороны с одинаковой скоростью и одинаковым фазовым углом, создают равные центробежные силы с постоянно меняющимся направлением. При этом горизонтальные составляющие F_1 центробежных сил F при любом положении дебалансов направлены друг против друга и погашаются. Вертикальные со-

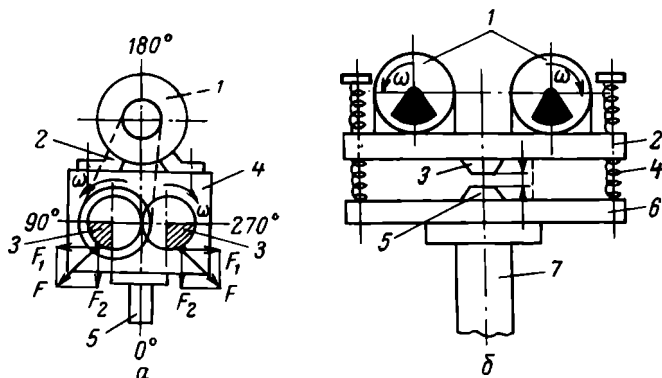


Рис. 9. Схема вибраторов для бурения.

а — вибропогружатель: 1 — электродвигатель, 2 — клиноременная передача, 3 — дебалансы, 4 — корпус, 5 — переводник на погружаемую трубу; б — вибромолот: 1 — два электродвигателя с дебалансами, 2 — ударная плита, 3 — боек, 4 — пружина, 5 — иаковальня, 6 — наголовник (ограничитель), 7 — погружаемая труба.

ставляющие F_2 по направлению всегда совпадают, поэтому результирующая этих сил равна их сумме. Эта суммарная возмущающая сила создает вертикальные колебания, направленные по оси бурового инструмента, связанного с вибратором.

Величина центробежной силы определяется по формуле

$$F_{об} = km\omega^2\epsilon, \quad (20)$$

где k — число дебалансов (у двухблочного вибратора $k=2$, у четырехблочного $k=4$; m — масса одного дебаланса в $\kappa\Gamma \cdot \text{сек}^2/\text{м}$; ω — угловая скорость в сек^{-1} ; ϵ — смещение центра тяжести дебалансов от оси вращения (эксцентриситет) в м .

Так как $m = \frac{Q_1}{g}$, где Q_1 — вес одного дебаланса, $g=9,81 \text{ м/сек}^2$

и $\omega = \frac{\pi n}{30}$ (n — число оборотов дебаланса в минуту), то, подставив эти значения в формулу (20), получим:

$$F_{об} = \frac{kQ_1\pi^2n^2\epsilon}{9,81 \cdot 30^2} = \frac{k(Q_1\epsilon)n^2}{900} = 1,1(Q_0\epsilon)n^2 \cdot 10^{-3} \approx (Q_0\epsilon)n^2 \cdot 10^{-3}, \quad (21)$$

где $Q_0\epsilon = kQ_1\epsilon$ — суммарный момент эксцентриков в $\kappa\Gamma \cdot \text{м}$.

Вертикальные составляющие центробежных сил

$$F_{\text{вер}} = F_{\text{об}} \cos \alpha = (Q_0 \epsilon) n^2 \cos \alpha \cdot 10^{-3}, \quad (22)$$

где α — угол поворота эксцентриков от вертикальной оси.

Максимальное значение возмущающей силы будет при $\cos \alpha = 1$.

Эффективность вибрационного бурения в значительной степени зависит от сочетания таких параметров вибратора, как величина возмущающей силы, амплитуда и частота колебаний.

Величина амплитуды колебаний бурового инструмента определяется по формуле

$$A = \varphi \frac{K}{Q_{\text{об}} + Q_{\text{т}}}, \quad (23)$$

где A — амплитуда колебаний в см; φ — коэффициент, учитывающий упругие свойства грунта, $\varphi = 0,80—0,95$; K — кинетический момент дебалансов в кг·см; $Q_{\text{об}}$ — вес вибропогружателя в кг; $Q_{\text{т}}$ — вес погружаемых труб в кг.

С увеличением глубины скважины увеличивается вес движущихся масс за счет увеличения длины труб, а следовательно, уменьшается амплитуда колебаний — происходит затухание вибраций.

Вибродарное бурение осуществляется путем нанесения частых ударов по буровому снаряду с помощью вибромолота (рис. 9, б).

Вибромолот — тот же вибратор, в колебательную систему которого включен ограничитель колебаний (наголовник с наковальней). С ограничителем вибратор либо вообще не связан (беспружинный вибромолот), либо связан с помощью пружин и стяжных болтов.

Вследствие наличия ограничителя, колебания корпуса вибратора сопровождаются ударами бойка корпуса по наковальне ограничителя, который жестко присоединяется к погружаемому (или извлекаемому) элементу.

В качестве вибратора на вибромолоте может быть использован любой возбудитель знакопеременных нагрузок. Нередко для этого используются два электродвигателя, закрепленных на ударной плите и несущих на обоих концах валов дебалансы.

Установки для вибрационного бурения. Установки вибрационного бурения обладают весьма высокой производительностью. Например, передовые бригады при бурении скважин глубиной до 15—20 м достигают производительности до 1500 м и более на станко-месяц при односменной работе (Мосгорпроект).

Виброустановки для бурения мягких пород на глубину 10—25 м можно разбить на следующие группы: 1) легкие переносные; 2) легкие, смонтированные на одноосном прицепе или автомашине типа ГАЗ-69; 3) смонтированные на грузовой машине высокой проходимости, автокране или двусосном прицепе; 4) смонтированные на тракторе.

Наиболее простой виброустановкой является автокран, оснащенный тем или иным вибропогружателем или вибромолотом.

Рекомендуемые параметры вибраторов и вибромолотов

Параметры	Вибратор	Вибромолот
Момент эксцентриков, $\text{кг} \cdot \text{см}$	100—200	80—150
Скорость вращения дебалансов, об/мин	1000—1500	800—1500
Частота ударов, удар/мин	—	500—1000
Вес, кг	150—500	100—300
Вес ударной части, кг	—	50—200
Мощность двигателя, квт	4—7	3—5

Вибромолоты обладают более высокой погружающей способностью по сравнению с вибраторами, но они более чувствительны к настройке.

В производственной практике известны разнообразные конструкции вибропогружателей, которые различаются весом, кинетическим моментом эксцентриков, характером возмущающей силы (направленного и ненаправленного действия) и др.

Рекомендуемые параметры вибропогружателей, применяемых в разведочном бурении, приведены в таблице 5.

Вибромолоты типа ВМГ (рис. 10) состоят из электродвигателя с насаженными на концах вала дебалансами и ударником, нижней плиты с наковальней и четырех пружин, соединенных стяжными болтами.

Наиболее совершенным является вибромолот ВМГ-7.

Для привода вибратора, установленного отдельно от двигателя, применяются гибкие валы. При таком приводе двигатель не подвергается вибрации и реже выходит из строя.

Достоинством вибратора с гибким валом является отсутствие жесткой связи с двигателем; недостатком — ограниченный выбор мощности вибратора, поскольку предельная мощность, передаваемая существующими гибкими валами, не превышает 4,5 квт.

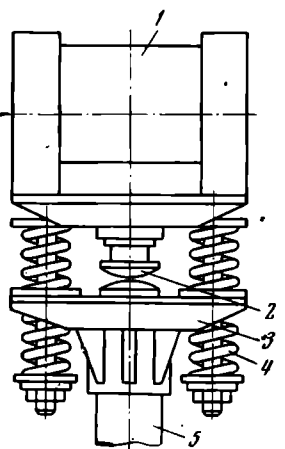


Рис. 10. Схема вибромолота.

1 — электродвигатель с двумя эксцентриками на концах вала, 2 — боек, 3 — наковальня, 4 — пружины, 5 — погружаемая труба.

Погружные вибраторы

При вибробурении амплитуда колебаний бурового инструмента определяется по формуле (23).

Вес бурового инструмента быстро увеличивается с ростом глубины скважины. Следовательно, с увеличением глубины скважины

амплитуда колебаний вибронда будет быстро падать поэтому и скорость бурения будет снижаться. Вот почему вибробурением проходятся скважины не глубже 25 м. Вибрационное бурение более глубоких скважин можно осуществлять только с помощью погружных вибраторов. В этом направлении ведутся исследовательские и конструкторские работы.

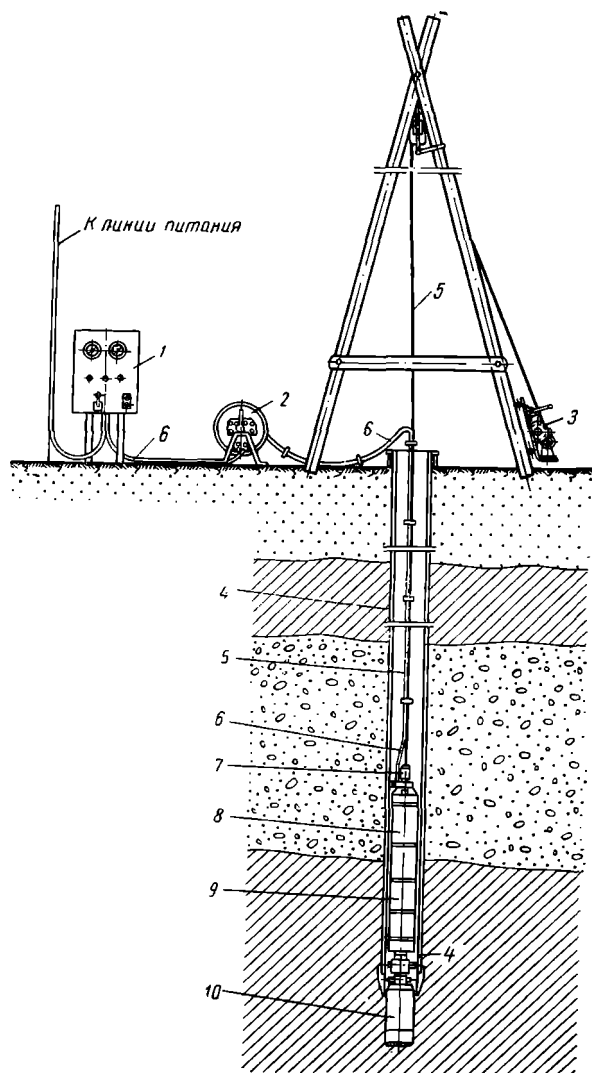


Рис. 11. Схема бурения погружным вибробуром.
 1 — пусковое устройство, 2 — кабельный барабан, 3 — лебедка, 4 — обсадные трубы, 5 — трос, 6 — электрокабель, 7 — канатный замок, 8 — электродвигатель, 9 — вибратор, 10 — грунтонос.

Погружные вибраторы устанавливаются непосредственно над забойным инструментом (рис. 11). Ввиду того что возбудитель колебания все время находится непосредственно над породоразрушающим инструментом, механическая скорость бурения с увеличением глубины скважины почти не снижается.

Погружной вибратор опускается в скважину на кабель-канате, что исключает применение бурильных труб, облегчает и ускоряет спуско-подъемные операции. Погружные вибраторы весьма перспективны.

Инструмент для вибробурения

При вибробурении целесообразно применять в качестве штанг тонкостенные трубы увеличенного диаметра.

В качестве рабочего наконечника применяются виброноты (рис. 12). Виброноты изготовляются из труб длиной 1,5—3 м.

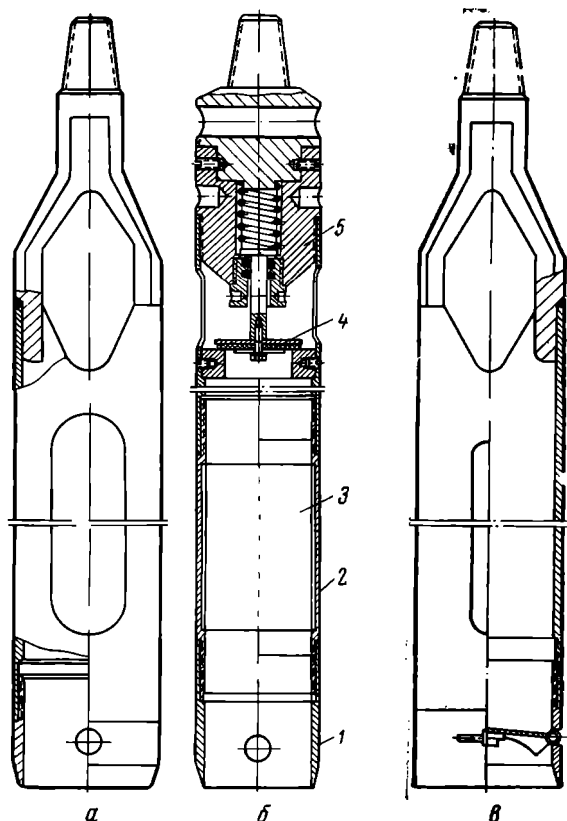


Рис. 12. Инструмент для вибробурения.

а — вибронот; *б* — грунтонос: 1 — башмак, 2 — разъемная труба, 3 — вкладыш для приема керна, 4 — клапан, 5 — переходник, *в* — виброжелонка.

К нижнему концу трубы прикрепляется башмак. Верхний конец зонда несет переводник под штанги. Зонд по всей длине имеет один или два прореза. Ширина прореза тем больше, чем плотнее и более вязок грунт. Для слабых грунтов (супеси) ширина прореза уменьшается. Прорез служит для очистки зонда от породы. Для того чтобы не нарушать структуры взятого образца, применяются разъемные зонды с откидной стенкой и грунтоносы (рис. 12, б). При бурении в песках применяются желонки (рис. 12, в). Зонды оснащаются режущими башмаками, конструкция которых подбирается в соответствии со свойствами грунта.

Технико-экономические показатели вибробурения

При бурении в мягких породах скважин глубиной до 10—15 м вибробурение весьма эффективно.

С увеличением глубины скважин производительность вибробурения быстро падает.

При бурении скважин глубиной до 10 м сменная производительность достигает 50—60 м, а при глубине скважин 25 м — снижается до 15—20 м.

Средняя сменная производительность бурения скважин в породах I—III категорий (по ЕНВ) различными способами приведена в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

Средняя сменная производительность бурения скважин в породах I—III категорий

Наименование способа бурения	Средняя проходка за смену, м	
	с отбором керна	без отбора керна
Вибрационный (глубина скважины до 15 м)	50	50
Шнековый (глубина до 40 м)	19	57
Колонковый	10	20
Ручной ударно-вращательный	4,5	4,5

§ 5. БУРЕНИЕ СКВАЖИН МЕТОДОМ ЗАДАВЛИВАНИЯ

Самоходная установка для глубинного поиска СУГП-10 (рис. 13) предназначена для скоростной проходки поисковых скважин методом задавливания в рыхлых отложениях на глубину до 24 м.

Установка обеспечивает проведение комплекса исследований: каротаж, взятие проб воздуха, воды и горных пород.

Основным ее рабочим механизмом, задавливающим буровой снаряд в породу, является гидравлический цилиндр двустороннего действия с полым штоком и захватывающими патронами.

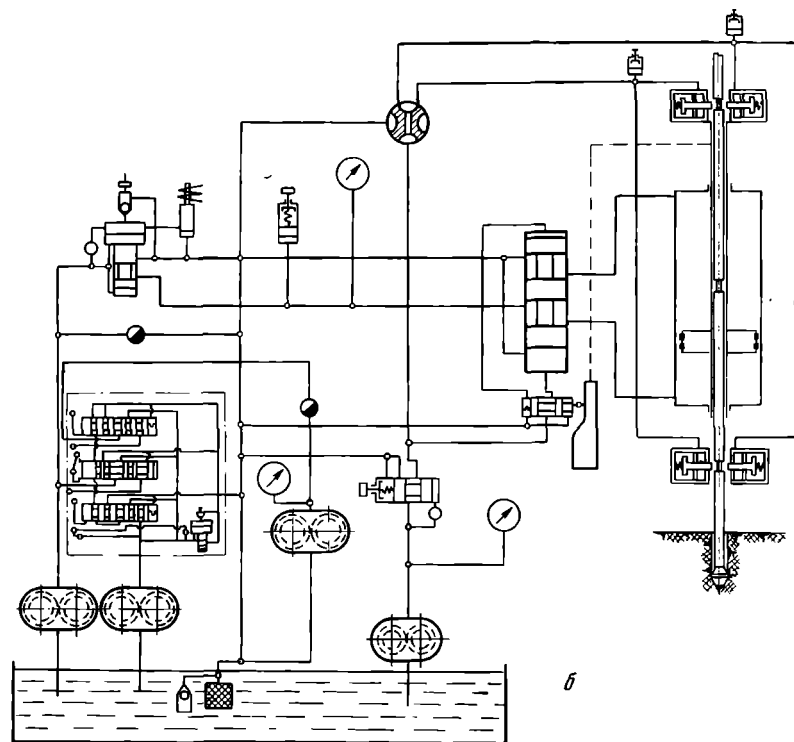
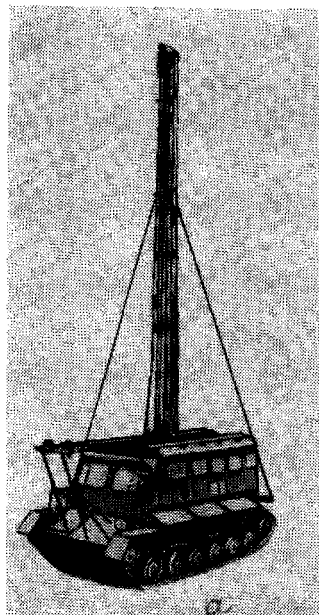


Рис. 13. Установка СУГП-10 для проходки скважин методом задавливания.

а — общий вид; *б* — гидравлическая схема установки.

Вращение от двигателя через раздаточную коробку передается двум маслонасосам. Насосы подают масло в верхнюю или нижнюю полость гидроцилиндра, в результате чего шток движется вниз или вверх.

К верхнему концу штока гидроцилиндра привернут специальный патрон с двумя парами захватов: одна предназначена для задавливания штанг, вторая — для извлечения.

К нижнему концу штанги крепится гильза — зонд со специальной геофизической аппаратурой, на конце которой привернут пробоотборник для грунта, газа и воды.

Гидравлический цилиндр смонтирован в средней части машины, он может развивать осевое усилие до 10 Т. Кузов установки, кроме укрытия, является несущей частью мачты. На мачте укреплена кассета с комплектом буровых штанг (три свечи длиной по 8 м) и размещены кабель и другие детали каротажного прибора.

В транспортном положении мачта закреплена в горизонтальном положении на швеллерах кузова. При переездах от скважины к скважине мачта не опускается. Вес буровой установки 10 т, скорость передвижения до 15 км/ч.

Установка обслуживается бригадой в составе: бурового мастера высшей квалификации; помощника бурового мастера (он же водитель) и техника-геофизика (оператора).

При полном комплексе геофизических исследований производительность установки при бурении песчано-гравийных грунтов, супесей и суглинков составляет за станко-смену.

При бурении скважин глубиной	8 м	80—100	скважин
» » » »	16 м	35—40	»
» » » »	24 м	20—25	»

§ 6. КОМБИНИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ БУРЕНИЯ

Проходка скважин в породах, обладающих разными механическими свойствами, может быть эффективной в том случае, если применяется соответствующий проходимой породе технологический процесс.

Поскольку геологические условия в верхних толщах многообразны, то при бурении неглубоких скважин иногда целесообразно применять не один, а несколько способов, комбинируя их последовательно в соответствии со свойствами пород.

В практике бывает комбинирование не более трех способов. Комбинированные станки сочетают в основном следующие способы бурения: ударный с вращательным и шнековый с ударным и колонковым. Такие станки применяются для бурения гидрогеологических, инженерно-геологических и разведочных скважин в породах малой или средней твердости, включая (в определенных условиях) рыхлые отложения россыпей. Комбинированные буровые станки значительно расширяют область применения буровых работ в различных геологических условиях. Но надо иметь в виду,

что создание комбинированных станков связано с увеличением их габаритов и веса. Поэтому вопросы целесообразности комплексования тех или иных способов бурения в одном агрегате долж-

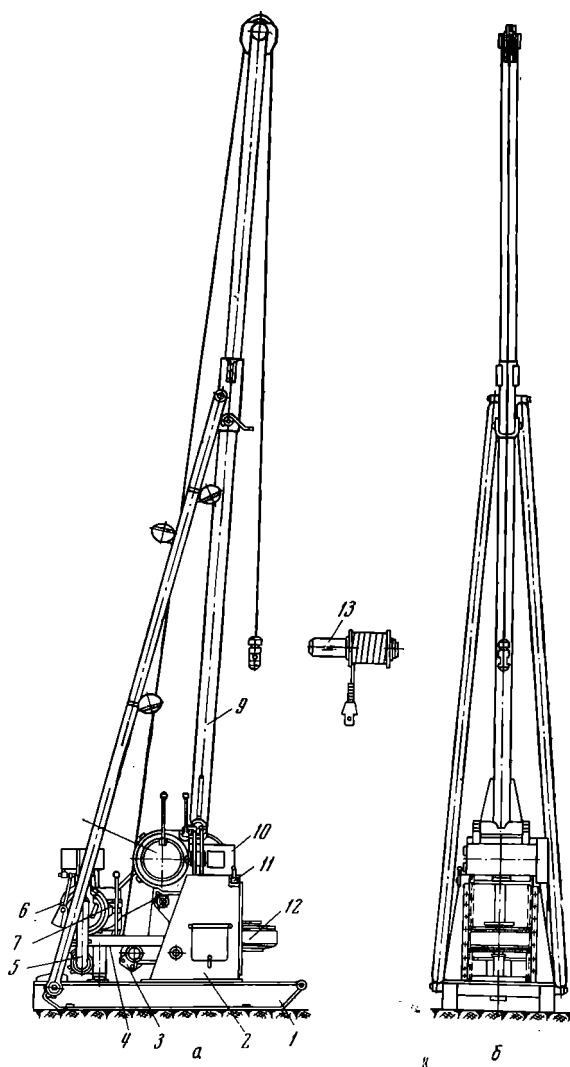


Рис. 14. Установка УБР-1 для разведки россыпных месторождений.

а — вид сбоку; б — вид спереди. 1 — рама установки, 2 — вертикальная стойка, 3 — ударный механизм, 4 — рама коробки скоростей, 5 — генератор, 6 — двигатель, 7 — коробка скоростей, 8 — лебедка, 9 — мачта, 10 — раздаточная коробка, 11 — вал, 12 — вращатель, 13 — катушка передвижения.

ны решаться на основании всестороннего анализа всех факторов и, прежде всего, геологических условий разведки.

В настоящее время внедряется ряд комбинированных установок для неглубокого разведочного бурения в рыхлых породах, содержащих валуны и гальку.

Буровая установка УБР-1

Предназначены для замены комплекта Эмпайр при поисках и разведке россыпных месторождений золота (рис. 14).

Установка УБР-1 бурит скважины глубиной до 15 м диаметром 121 мм. Рабочие механизмы этой буровой машины позволяют сочетать ударно-канатный и медленно-вращательный способы бурения в любой последовательности с одновременным креплением скважины обсадными трубами.

Ударное бурение производится долотами, желонками и забивными стаканами. Медленно-вращательное бурение ($n=7$ и 12 об/мин) осуществляется ложками, змеевиками, обуривающими грунтоносами, шнеками и желонками специальной конструкции, опускаемыми на бурильных трубах.

Обсадка труб производится забивкой их ударами при одновременном вращении их ротором.

Привод всех механизмов осуществляется от бензинового двигателя Д-300 мощностью 6 л. с. при $n=$

Рис. 15. Установка для механизации ручного бурения РБУ-50АС.

$=3000 \text{ об/мин}$. Мачта высотой 6,5 м рассчитана на грузоподъемность 3 Т. Установка УБР-1 показала повышение производительности по сравнению с комплектом Эмпайр: а) при бурении в мерзлых грунтах на 30%; б) при бурении в талых грунтах на 70—100%.

Качество опробования россыпей при бурении установкой УБР-1 оказалось выше по сравнению с опробованием комплектами эмпайр.

Установка РБУ-50АС предназначена для бурения скважин в породах I—IV категорий буримости, оснащена комплектом инстру-

мента ручного бурения 152 и 114 мм, а также инструментом для ударно-канатного бурения (рис. 15).

Станок состоит из двигателя, фрикциона, коробки скоростей, лебедки, ротора, рамы и мачты. Наличие лебедки и мачты позволяет осуществлять ударно-канатное бурение и бурение забивным стаканом. С помощью ротора производится вращательное бурение.

Достоинства станка РБУ-50АС небольшие габариты, разборность на узлы весом до 60 кг облегчает транспортировку и позволяет применять установку РБУ-50АС в труднодоступных местах.

Краткая техническая характеристика РБУ-50АС

Глубина скважин, м	до 50
Диаметры бурения, мм:	
начальный	195
конечный	130
Скорость вращения ротора, об/мин	10; 27; 50
Грузоподъемность лебедки, Т	1,5
Высота мачты, м	7,2
Мощность двигателя Д-300, л. с.	6
Вес установки, т	0,75

Применение установки РБУ-50АС в Северном Казахстане вместо ручного бурения позволило при разведке нерудного сырья сократить численность буровой бригады в 2 раза и значительно снизить стоимость бурения.

Буровая установка ЛБУ

Для бурения на воду создана самоходная установка ЛБУ. Бурение в основном производится с применением шнеков. Крепкие прослои и валуны проходят ударным способом.

Для бурения шахтных колодцев диаметром 1050 мм глубиной до 15 м установка ЛБУ оснащена специальным буром, который спускается на забой и поднимается с забоя на тросе лебедки по гладкой бурильной колонне. Разгрузка бура на поверхности, уборка породы от устья и крепление колодца железобетонными и дерево-металлическими кольцами механизированы.

Установка ЛБУ смонтирована на шасси автомашины ЗИЛ-157К с лебедкой и укомплектована двумя специальными прицепами для перевозки комплектов бурового инструмента и приспособлений: один — для бурения артезианских скважин, второй — шахтных колодцев.

Глубины и диаметры бурения следующие:

Вид бурения	Диаметр бурения, мм	Глубина бурения, м
Полыми шнеками	240	50
Обычными шнеками	200	50
Забивными стаканами	180	20
Специальным буром	1050	15

Глава III

КОЛОНКОВОЕ БУРЕНИЕ.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Колонковое бурение является основным средством разведки месторождений твердых полезных ископаемых.

Оно также широко применяется при инженерно-геологических, гидрогеологических, структурно-картировочных исследованиях,

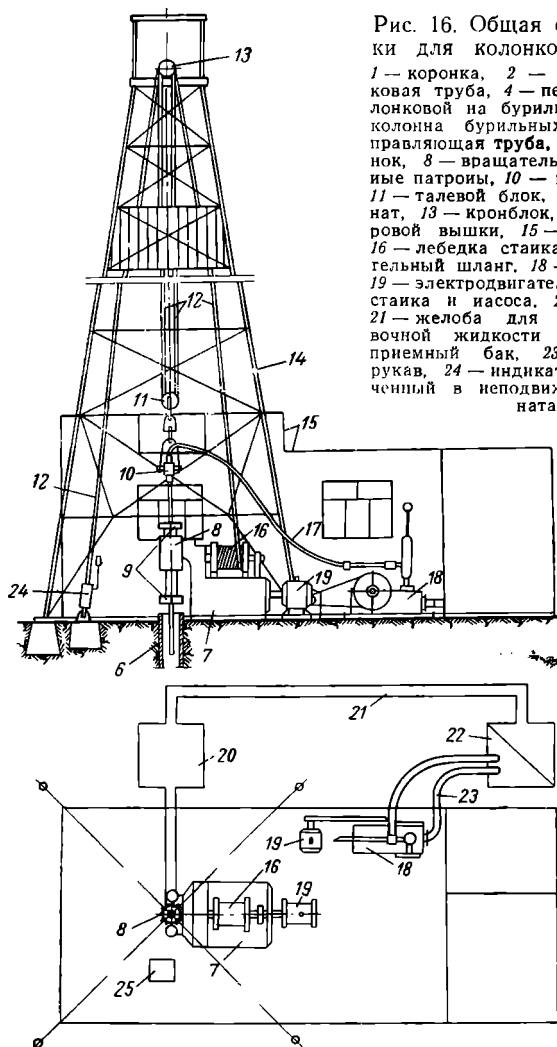
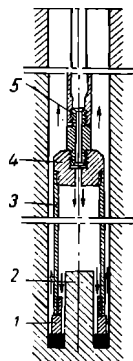


Рис. 16. Общая схема установки для колонкового бурения:

1 — коронка, 2 — керн, 3 — колонковая труба, 4 — переходник с колонковой на бурильную трубу, 5 — колонна бурильных труб, 6 — направляющая труба, 7 — буровой станок, 8 — вращатель, 9 — зажимные патроны, 10 — вертлюг-сальник, 11 — талевой блок, 12 — талевой канат, 13 — кронблок, 14 — ноги буровой вышки, 15 — откос (сарай), 16 — лебедка стаика, 17 — нагнетательный шланг, 18 — буровой насос, 19 — электродвигатели для привода стаика и насоса, 20 — отстойник, 21 — желоба для очистки промывочной жидкости от шлама, 22 — приемный бак, 23 — всасывающий рукав, 24 — индикатор веса, включенный в неподвижный конец каната.



при поисках нефтяных и газовых месторождений и для различных инженерных целей. За последнее время колонковым бурением стали проходить шурфы и шахты.

Общий вид установки для колонкового бурения приведен на рис. 16.

Колонковое бурение ведется, как правило, с извлечением кернов. Но если скважины пересекают уже изученные породы, то на участках, где полезное ископаемое отсутствует, целесообразно перейти на бескерновое бурение, которое в породах мягких и средней твердости позволяет существенно повысить производительность бурения за счет сокращения времени на спуско-подъемные операции, а также за счет повышения механической скорости бурения.

Глубины колонковых скважин бывают различны — от нескольких метров до нескольких тысяч метров. Самая глубокая колонковая скважина была пробурена в Южной Африке. Ее глубина ~4500 м. Она бурилась алмазными коронками диаметром 59 и 48 мм.

Диаметры колонковых скважин зависят от целей их проходки и от типа бурового накопника.

При алмазном бурении скважины проходятся коронками диаметром 36, 46, 59 и 76 мм. Твердосплавными коронками чаще всего бурят скважины диаметром 76, 93, 112 и реже 59, 132 и 152 мм. При дробовом бурении применяются коронки диаметром 91, 110, 130 и 150 мм. При инженерно-геологических и гидрогеологических работах про-

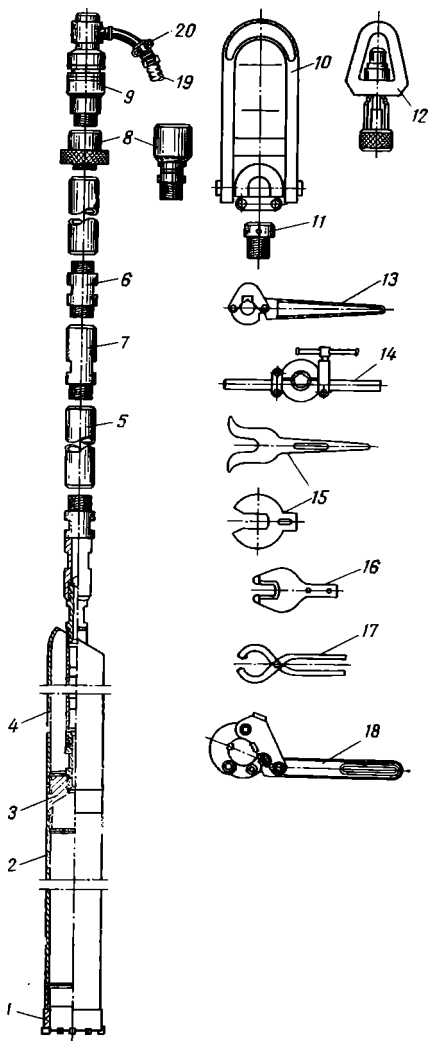


Рис. 17. Набор инструмента для колонкового бурения.

1 — коронка, 2 — колонковая труба, 3 — переходник тройной, 4 — шламовая труба, 5 — колонна бурильных труб, 6 — ниппель с ключевыми выемками, 7 — замок штанговый, 8 — переводник с бурового сальника на бурильную колонну, 9 — буровой сальник, 10 — элеватор полуавтоматический, 11 — пробка (грибок) для подъема бурильных труб элеватором, 12 — простой элеватор, 13 — шарнирный ключ для бурильных труб, 14 — шарнирный хомут, 15 — вилки подкладные, 16 — вилка ведущая, 17 — клещи короночные, 18 — шарнирный ключ под колонковую и обсадные трубы, 19 — шланг нагнетательный, 20 — хомуты для крепления шланга к горловине сальника.

ходятся колонковым способом шурфоскважины диаметром от 300 до 1300 мм. За последнее время появились установки для бурения колонковым способом шахт диаметром более 5 м.

Бурение алмазными и твердосплавными коронками может производиться в любом направлении. Скважины, которые бурятся дробью, должны быть направлены только вниз.

§ 2. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

Колонковое бурение осуществляется инструментом, состоящим из колонкового снаряда, колонны бурильных труб и бурового (промывочного) сальника или вертлюга-сальника.

Для производства спуско-подъемных операций применяются элеваторы, подкладные вилки и различные ключи.

Набор основного и вспомогательного инструмента для колонкового бурения представлен на рис. 17.

Основные размеры колонковых наборов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Основные размеры колонковых наборов

Наружный диаметр коронки по резцам, мм	Наружный диаметр короночного кольца, мм	Внутренний диаметр короночного кольца, мм	Наружный диаметр колонковой трубы, мм	Толщина стенки колонковой трубы, мм	Внутренний диаметр колонковой трубы, мм
152	150	136	146	4,5	137
132	130	116	127	4,5	118
112	110	96	108	4,25	99,5
93	91	77	89	4,0	81
76	75	61	73	3,75	65,5
59	58,5	45	57	3,75	49,5
46	45,5	32,5	44	3,5	37,0
36	35,5	22,5	34	3,5	27,0

Для дробового и гидроударного бурения часто применяются колонковые трубы с толщиной стенки 6—7 мм.

Колонна бурильных труб представляет собой упругую систему, которая в процессе бурения воспринимает нагрузки, меняющиеся по величине и направлению; к тому же эти нагрузки неодинаковы в разных частях колонны. Если представить себе колонну бурильных труб, работающую в скважине глубиной 500 м в масштабе 1 : 50, то это будет полая стальная нить с внешним диаметром, равным 1 мм, и длиной 10 м, подвергающаяся растяжению, сжатию, кручению и изгибу.

Напряжения растяжения зависят от длины работающей колонны бурильных труб, т. е. от глубины скважины, и меняются по длине колонны, достигая максимума у устья скважины.

Длина сжатого участка труб, а также величина напряжений сжатия зависят от величины нагрузки на забой. Гидростатическое давление промывочной жидкости, заполняющей скважину, вызы-

вает добавочное сложное трехосное напряжение в материале труб.

Напряжения кручения возникают в бурильных трубах вследствие того, что колонна является передатчиком крутящего момента от вращателя к породоразрушающему инструменту на забое. При этом значительная часть мощности от устья скважины к забою постепенно поглощается сопротивлением жидкости, наполняющей скважину, и трением труб о стенки скважины. Потеря мощности тем больше, чем глубже скважина и чем быстрее вращается колонна. Мощность, передаваемая на забой, частично расходуется на преодоление трения породоразрушающего инструмента о породу, и лишь часть ее расходуется на полезную работу разрушения породы.

Напряжения изгиба находятся в прямой зависимости от той формы, какую примет изогнутая ось колонны под действием центробежных сил, собственного веса и нагрузки на забой.

Прочность бурильных труб при изгибе зависит не только от величины изгибающих напряжений, но и от их характера.

В зависимости от прямолинейности и интенсивности искривления скважины колонна бурильных труб может вращаться либо относительно оси скважины, либо относительно своей собственной оси. В последнем случае материал труб, если они искривлены, будет испытывать переменные напряжения, обратно пропорциональные величине радиуса кривизны изогнутой оси колонны.

Чем выше скорость вращения колонны, тем больше частота переменных напряжений. При этом прочность бурильных труб существенно снижается.

Вращающаяся колонна под совместным действием центробежных сил инерции, собственного веса и нагрузки на забой принимает волнообразную форму. С увеличением числа оборотов влияние центробежных сил возрастает, а длина волны изогнутой оси колонны уменьшается и увеличивается ее кривизна. Так как колонна помещается в стволе скважины, возможная стрела прогиба труб ограничивается стенками скважины.

Сила реакции забоя, сжимая бурильную колонну, действует аналогично центробежным силам, вызывая вместе с ними искривление колонны.

Сила собственного веса бурильных труб, наоборот, стремится выпрямить колонну.

В результате совместного действия разнообразных сил длина волн изогнутой оси колонны уменьшается от устья к забою и одновременно увеличиваются напряжения, сопутствующие деформации изгиба.

В процессе глубокого бурения верхнее сечение колонны является наиболее опасным в отношении совместного растяжения и кручения.

Нижнее сечение колонны испытывает максимальное напряжение от совместного сжатия и изгиба.

Кроме перечисленных нагрузок колонна бурильных труб подвергается случайным и периодическим нагрузкам, имеющим динамический характер: внезапное скручивание колонны при заклинивании долота или коронки, влияние сил инерции при спуско-подъемных операциях, прихват инструмента.

При больших скоростях вращения колонна может вибрировать. На прочность бурильных труб оказывают влияние также дефекты изготовления, концентрация местных напряжений в резьбе, которые могут вызывать развитие трещин усталости и интенсификации процесса коррозии.

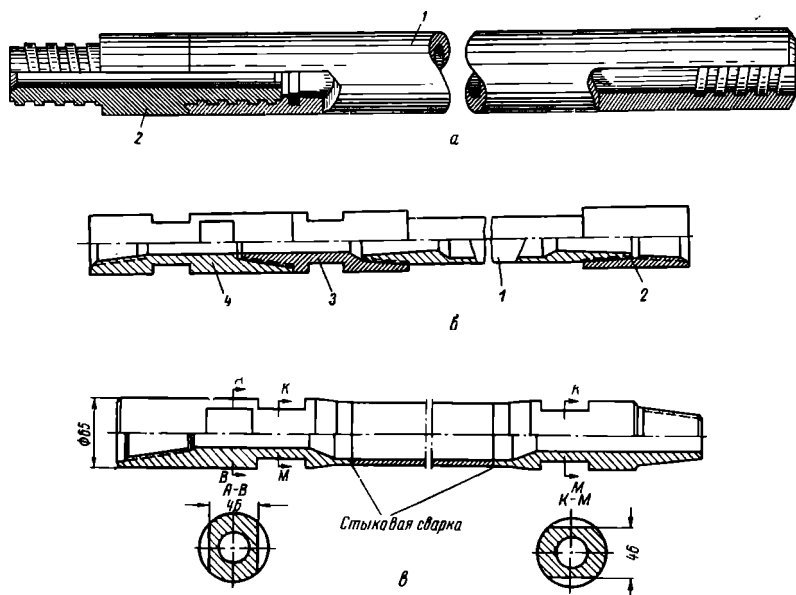


Рис. 18. Бурильные трубы для разведочного бурения (штанги).

а — с ниппельным соединением; б — с муфтово-замковым соединением; в — с приваренными замками. 1 — труба, 2 — ниппель или муфта, 3 — конус (ниппель) замка, 4 — муфта замка.

Тяжелые условия работы бурильной колонны вызывают необходимость изготавливать ее из высококачественных цельнотянутых труб.

Бурильные трубы для колонкового бурения изготавливаются из стали марок Д и 36Г-2С с пределом текучести 38 и 50 кг/мм² соответственно.

Кроме того, начали выпускаться бурильные трубы повышенной прочности из сталей марок 40Х и 30ХГС.

Для того чтобы трубы не были ослаблены в резьбовом соединении, концы их утолщаются высадкой внутрь при температуре нагрева 1170—1230°. Сами трубы подвергаются нормализации и

закалке с высоким отпускком. Бурильные трубы в процессе бурения трутся о стенки скважины и подвергаются поверхностному износу. Для поверхностного упрочнения труб целесообразно производить поверхностную закалку труб токами высокой частоты.

Поверхность труб должна быть гладкой, без раковин, трещин, пленок и расслоений металла, без шлаковых и других включений.

В зависимости от способа соединений бурильные трубы выпускаются:

1) с ниппельными соединениями (рис. 18, а), которые широко применяются при алмазном бурении;

2) с муфтово-замковыми соединениями, при которых трубы соединяются в свечи при помощи муфт, а свечи в колонну — при помощи замков (рис. 18, б);

3) с приваренными замками (рис. 18, в).

В табл. 8 приведены основные размеры бурильных труб для колонкового бурения.

Таблица 8

Бурильные трубы для колонкового бурения

Наружный диаметр труб, мм	Внутренний диаметр труб, мм	Длина труб, мм	Наружный диаметр ниппеля, мм	Внутренний диаметр ниппеля, мм	Наружный диаметр замка, мм	Наименьший диаметр отверстия в высаженном месте, мм
33,5	24	1500 3000	34	14	—	—
42	32	1500 3000	44	16	—	—
50	39	4500	52	22	—	—
42	32	1500 3000 4500	—	—	57	22
50	39	1500 3000 4500	—	—	65	28
63,5	51,5	3000 4500 6000	—	—	83	40

Несмотря на некоторое улучшение качества бурильных труб, обрывы колонны бурильных труб происходят довольно часто при переходе на форсированные режимы бурения и на большие скорости вращения. Обычно трубы рвутся по резьбовому соединению и по месту посадки.

Для снижения аварийности из-за обрыва бурильной колонны необходимо: а) уменьшать зазор между стенками скважины и колонной труб; б) улучшать механические свойства материала труб;

в) повышать прочность соединений труб; г) применять утяжеленные бурильные трубы.

Хорошие результаты показали замки повышенной прочности ЗПП-50 для бурильных труб диаметром 50 мм.

Эти замковые соединения (рис. 19) изготавливаются из стали 40Х. Муфта и ниппель соединяются между собой замковой резьбой с конусностью 1:5 (6 ниток на 1"), а с трубами — резьбой по ГОСТ 7909—56.

Обе половинки замка подвергнуты объемной закалке с высоким отпуском. На ниппеле до и после резьбы делаются цилиндрические шейки, а в муфте — расточки под эти шейки. Шейки центрируют соединения при свинчивании и развинчивании.

Наружная поверхность замков подвергнута закалке токами высокой частоты.

Поверхность резьбы и прилегающие к ней участки оцинкуются или омедняются. Это предохраняет резьбу от задиrow и «холодной сварки».

Испытание промышленной партии замков ЗПП-50 показало, что износ боковых сторон профиля резьбовых соединений у замков ЗПП-50 был меньше, чем у серийных, в 8,5—11 раз, износ наружной поверхности замков был меньше в 2,5—6 раз. Поломок и заеданий резьбы было в несколько раз меньше.

Утяжеленные бурильные трубы — УБТ. Утяжеленные трубы применяются для увеличения

веса и жесткости нижней части бурильной колонны. Колонна бурильных труб с утяжеленным низом работает более спокойно, возможность обрыва труб уменьшается, а скважины менее искривляются. Утяжеленный низ включается между колонковым снарядом или долотом и колонной бурильных труб. Вес УБТ должен превосходить нагрузку на забой на 25—50%.

Для колонкового бурения УБТ выпускаются длиной 4,5 м, наружного диаметра 73, 89 и 108 мм. Соответствующие веса УБТ — 110, 145, 235 кг (при $l=4,5$ м).

Наиболее прочны УБТ-У, которые изготавливаются из толстостенных труб из стали 40Х с высаженными концами с объемной закалкой, высоким отпуском до нарезки резьб и закалкой поверхности труб ТВЧ.

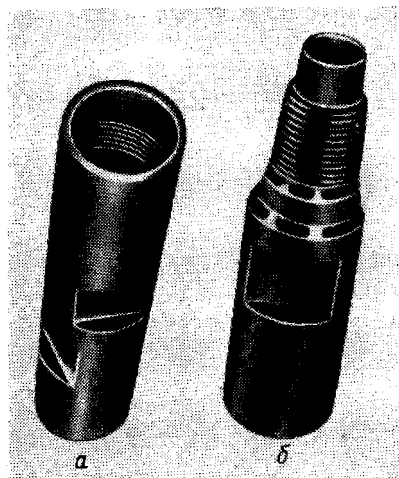


Рис. 19. Замковое соединение ЗПП-50.
а — муфта; б — ниппель.

Легкосплавные бурильные трубы (ЛБТ)

Для успешного развития разведочного бурения в труднодоступных районах необходимо снижать веса бурового оборудования инструмента и, прежде всего, бурильных труб.

Снижения веса бурильной колонны легче всего достичь путем изготовления труб из легких сплавов.

Бурильные трубы, изготовленные из легких сплавов, примерно в 2,5 раза легче, чем стальные трубы такого же размера.

При погружении в промывочную жидкость стальные трубы теряют ~13% от своего веса, а трубы из алюминиевых сплавов облегаются на ~36%.

Соответственно уменьшается мощность при извлечении бурильной колонны из скважины.

Исследования, проведенные в Азербайджане, показали, что мощность на вращение бурильной колонны в процессе бурения изменяется примерно пропорционально весу бурильных труб.

Вот почему в последнее время стоит вопрос о выпуске бурильных труб на основе алюминия, магния и титана. Трубы на основе титана, вероятно, будут применяться для сверхглубокого бурения, так как они не боятся высоких температур и обладают высокими механическими свойствами, их удельный вес $\gamma=4,5 \text{ Г/см}^3$.

Для разведочного колонкового бурения должны найти применения ЛБТ на основе алюминия. Опытная партия ЛБТ диаметром 24 и 34 мм из алюминиевого сплава была изготовлена институтом ВНИИметмаш методом прессования, техническая характеристика этих труб следующая.

Наружный диаметр, мм	24; 34
Толщина стенки, мм	4,0; 5,0
Тип резьбы	ленточная, 4 нити на 26 мм
Вес 1 м труб, кг	0,70; 1,55*
Вес ниппеля и полуниппеля, кг	0,48; 1,75

Эти ЛБТ испытывались при алмазном бурении в породах IX и X категорий по буримости.

Испытания показали:

- 1) мощность, затрачиваемая на подъемные операции и на вращение бурильной колонны, уменьшается;
- 2) облегчается труд и повышается производительность буровой бригады;
- 3) легкосплавные трубы не подвергаются коррозии.

Успешно испытана опытная партия ЛБТ диаметром 50 и 60,3 мм.

Новый стандарт бурильных труб

При бурении пород VII—XII категорий по буримости (по ГНВ) основным породоразрушающим инструментом являются алмазные коронки.

* Вес 1 м стальной бурильной трубы диаметром 33,5 мм равен 3,37 кг.

Алмазное бурение наиболее эффективно при высоких скоростях вращения. Но при больших скоростях вращения бурильной колонны может возникать вибрация, снижающая износостойкость алмазных коронок. Для уменьшения вибрации полезно уменьшать зазор между бурильной трубой и стенками скважины.

Поэтому ныне установлен следующий ряд бурильных труб ниппельного соединения специально для алмазного бурения (табл. 9).

Таблица 9

Размеры бурильных труб ниппельного соединения

Диаметр бурильных труб, мм . .	24	32	38*	42	50*	54	68
Толщина стенки труб, мм	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Рекомендуемый диаметр алмазной коронки, мм	26	36	46	46	59	59	76

* Для бурения алмазами глубоких скважин.

Кроме того, установлен следующий размерный ряд бурильных труб с муфтово-замковыми соединениями: 50, 63,5 и 73 мм. Толщина стенок этих труб 5,5 мм.

§ 3. БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

1. Буровые вышки и мачты

Колонковое бурение производится установками, состоящими из буровой вышки или мачты, бурового станка, двигателя и насоса (см. рис. 16).

Буровая вышка состоит из копра, предназначенного для спуска и подъема инструмента, и откоса для защиты буровых рабочих и механизмов от атмосферных влияний.

Высота копров и мачт подбирается в соответствии с глубиной скважины и способом бурения. Она превышает длину свечи* на величину, необходимую для маневрирования с колонковым снарядами, УБТ и свечами.

Обычно на колонковом бурении принимаются вышки следующих размеров:

Глубины скважин, м . . .	100—150	150—400	400—800	800 и более
Длина свечи, м	6	9	12—13,5	18
Высота копра, м	9	12—13	15—18	22—26

Копер состоит из нижнего и верхнего оснований, ног, поясов и раскосов (рис. 20). Верхние рабочие полати устраивают на 1—1,25 м ниже длины свечи.

* Свеча — несколько бурильных труб, свинченных вместе и не разъединяемых при спуско-подъемных операциях.

Грузоподъемность буровых копров выбирают в соответствии с весом наиболее тяжелых колонн труб, спускаемых в скважину.

Вышки строят бревенчатые, дощатые и металлические.

Вышки с деревянными копрами применяют обычно в таежных районах.

Чаще применяются металлические копры, ноги которых изготавливаются или из обсадных труб, или из профилированного проката.

На верхней раме вышки устанавливается кронблок, являющийся неподвижной частью талевой системы. Число роликов на кронблоке и его грузоподъемность выбираются в соответствии с грузоподъемностью лебедки и максимальным усилием на крюке.

Талевый блок является подвижной частью талевой системы. Ролики кронблока и талевого блока устанавливаются на шарикоподшипниках. Оснастку талей обычно производят с неподвижным концом каната; в этот конец включают индикатор веса. Максимальная нагрузка на крюке определяется по формуле

$$Q_{кр} = 2m_p P_{л} \eta, \quad (24)$$

где m_p — число роликов талевых блоков; $P_{л}$ — грузоподъемность лебедки; η — к. п. д. талевой системы.

Часто применяются передвижные вышки с металлическими мачтами (рис. 21). Эти мачты готовятся для буровых установок:

МР-1 для буровых станков ЗИФ-300-М;
МР-2 » » » ЗИФ-650-А;
МР-5 » » » СБА-500 и ЗИФ-300-М

Установка МР-5 предназначена для бурения вертикальных и наклонных скважин, МР-1 и МР-2 — только для вертикальных скважин.

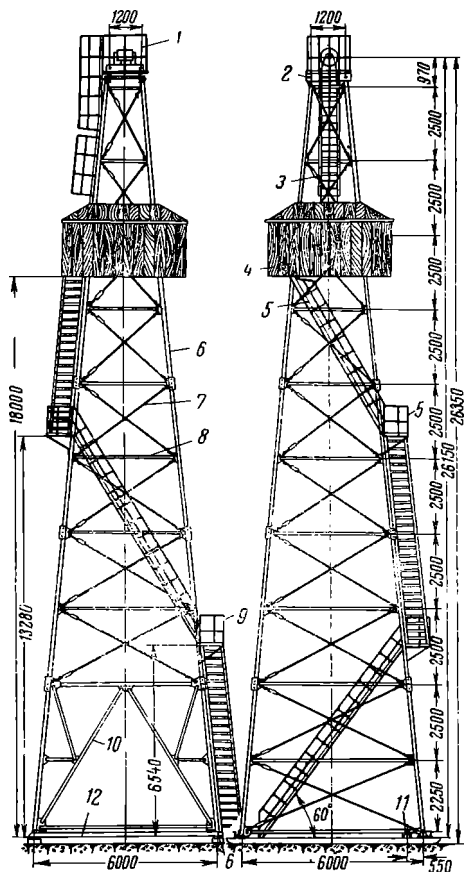


Рис. 20. Буровая вышка.

1 — фонарь, 2 — кронблочная рама, 3 — лестница туннельного типа, 4 — закрытые полаты для верхового рабочего, 5 — маршевая лестница, 6 — ноги вышки, 7 — раскосы, 8 — пояса, 9 — переходная площадка к лестницам, 10 — ворота для затаскивания в вышку длинных труб, 11 — место для крепления неподвижного конца каната, 12 — нижняя рама вышки.

Мачты монтируются на общем основании со зданием, в котором размещается буровое оборудование, и устанавливаются на металлические полозья санного типа. Для перевозки ферма мачты укладывается в горизонтальное положение.

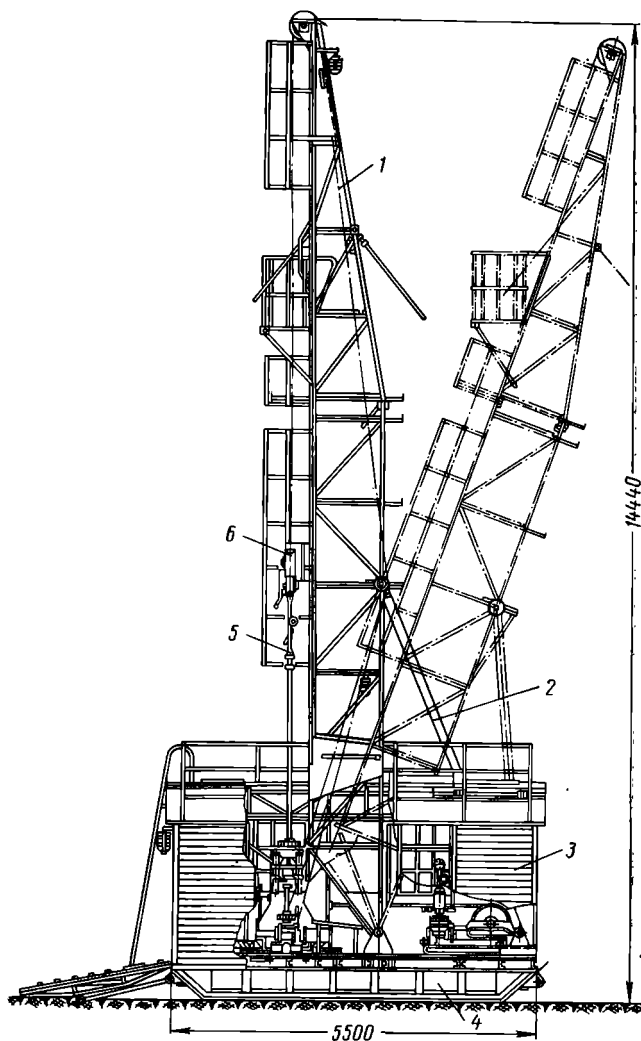


Рис. 21. Мачта МР-5А.

1 — ферма мачты, 2 — подкос с винтовым домкратом, 3 — буровое здание, 4 — основание, 5 — элеватор, 6 — каретка.

Мачты в неразборном виде транспортируются тракторами. В вышке буровой станок должен устанавливаться на жестком

основании, при этом точно фиксируют горизонтальность и вертикальность осей станка.

При бурении вертикальной скважины вертикальность шпинделя вращателя проверяют по отвесу.

Если станок устанавливают для наклонного бурения, то ось шпинделя должна быть направлена по азимутальному направлению скважины под запроектированным углом наклона.

После установки оборудования в вышке приступают к забуриванию скважины и установке направляющей трубы.

Скважину углубляют до коренных пород и врезаются в них на 1,0—1,5 м, после чего опускают направляющую трубу, предназначенную для предохранения устья скважины от размыва и направления изливающейся из скважины жидкости в желоба.

При глубоком бурении всю толщу верхних неустойчивых и водоносных пород перекрывают следующей колонной обсадных труб, называемой кондуктором.

Затрубное пространство за кондуктором на всю глубину или в нижней части должно быть зацементировано.

2. Буровые станки

Для колонкового бурения применяются буровые станки различных конструкций. По системе подачи буровые станки различаются: 1) с гидравлической подачей; 2) с винтовой дифференциальной подачей; 3) с рычажной подачей*; 4) роторные станки с ведущей штангой.

В первых трех типах станков вращение и подача буровой колонны осуществляются с помощью шпинделя. Эти станки могут бурить скважины как вертикальные, так и наклонные.

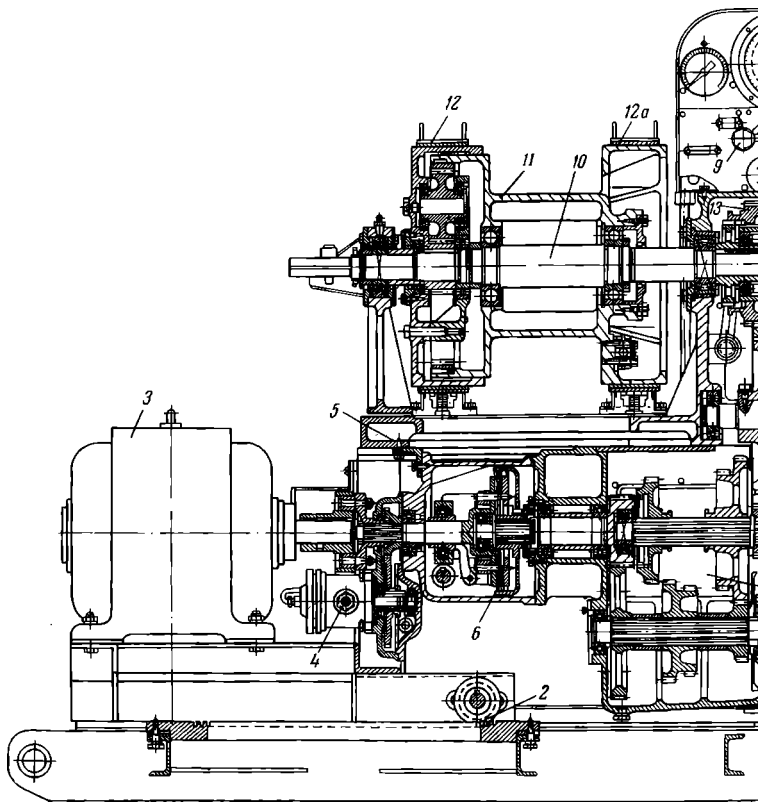
В станках роторного типа шпиндель отсутствует и вращение бурового инструмента происходит ротором с помощью длинной рабочей штанги квадратного или шестигранного сечения. Подача бурового инструмента в этом случае идет с барабана лебедки.

Легкие передвижные роторные станки в основном предназначены для бурения вертикальных скважин в породах I—VI категорий буримости.

На проходку скважин глубиной до 200—300 м в породах невысокой твердости затрачивается мало времени. Для ускорения переброски с одного места на другое станки для бурения в осадочных породах монтируют на автомашинах или прицепах и оснащают мачтами.

Для бурения неглубоких скважин из подземных выработок буровые станки монтируются на колонках, которые раскрепляются между кровлей и почвой выработки.

* Этот тип подачи применяется редко.



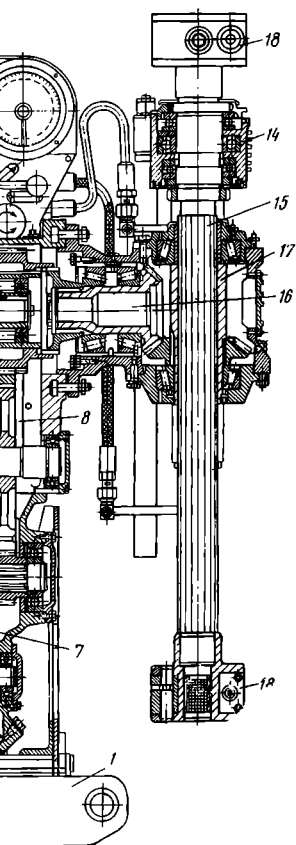


Рис. 22. Буровой станок ЗИФ-300М с приводом от электродвигателя.

1 — рама, 2 — механизм перемещения станка от устья скважины и обратно (реечно-шестеренчатый). 3 — электродвигатель, 4 — маслонасос, 5 — станина, 6 — главный фрикцион, 7 — четырехступенчатая коробка передач, 8 — редуктор, 9 — прибор гидроуправления, 10 — барабанный вал, 11 — барабан планетарной лебедки, 12 — тормоз пусковой, 12а — тормоз грузовой, 13 — механизм включения лебедки и вращателя, 14 — траверса, соединяющая штоки гидравлических цилиндров со шпинделем, 15 — шпindel, 16 — приводной вал вращателя, 17 — вращатель с гидравлической подачей шпинделя, 18 — зажимные патроны.

Буровые станки с гидравлической подачей

Колонковое бурение в основном осуществляется станками с гидравлической подачей.

В настоящее время станки с гидравлической подачей изготавлиются для бурения скважины глубиной от 20—30 до 2000—5000 м.

Общий вид станка с гидравлической подачей типа ЗИФ-300М показан на рис. 22.

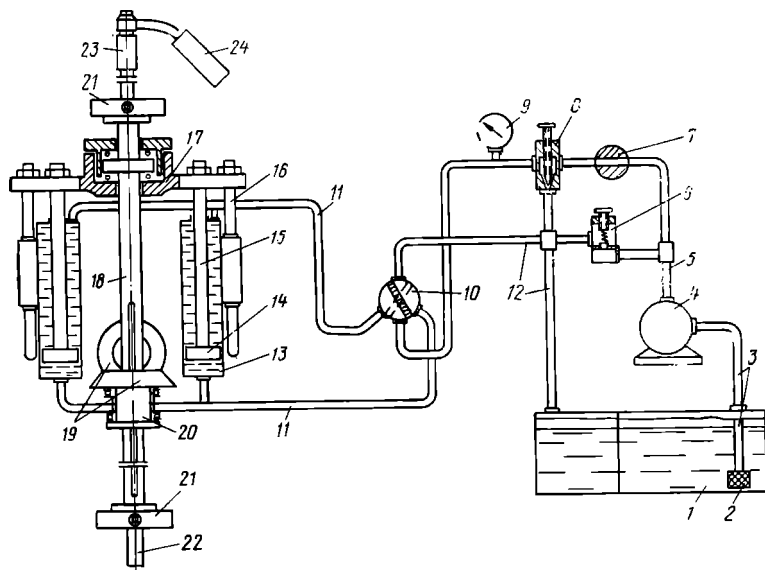


Рис. 23. Схема гидравлической подачи.

1 — маслябак, 2 — фильтр, 3 — всасывающая труба, 4 — маслонаос, 5 — нагнетательный маслопровод, 6 — предохранительный клапан, 7 — кран для отключения маслонаоса, 8 — дроссель, 9 — индикатор веса — манометр, 10 — распределительный кран, 11 — маслопроводы гидроцилиндров, 12 — сливной трубопровод, 13 — цилиндры, 14 — поршни, 15 — рабочие штоки, 16 — направляющие штоки, 17 — траверса с упорными шарикоподшипниками, 18 — шпиндель, 19 — коническая передача вращателя, 20 — втулка вращателя, 21 — зажимные патроны, 22 — ведущая бурильная труба, 23 — промывочный сальник, 24 — шлаиговый нагнетательный.

От двигателя через главный фрикцион, четырехскоростную коробку передач и редуктор с помощью двусторонней зубчатой муфты вращение передается или вращателю с гидравлической подачей, или барабану планетарной лебедки. Через вращатель проходит шпиндель с зажимными патронами. На основной раме расположен механизм передвижения станка. Лебедка с помощью двух рукояток управляется тормозами: пусковым и грузовым.

Вращатели оснащены двумя гидравлическими цилиндрами — регуляторами подачи (рис. 23).

При помощи распределительного крана масло, нагнетаемое

насосом, направляется в верхнюю или нижнюю полость цилиндров. Усилие, развиваемое поршнями, передается с помощью штоков и траверсы через упорные шарикоподшипники на вращающийся шпиндель. Сквозь шпиндель пропущена бурильная труба, зажатая в патронах.

Когда скважина имеет небольшую глубину и вес колонны бурильных труб недостаточен для создания необходимой нагрузки на породоразрушающий инструмент, повышенное давление создают в верхних полостях цилиндров, а нижние полости цилиндров при помощи распределительного крана сообщают с атмосферой. Давление в верхних полостях цилиндров регулируют с помощью дросселя.

При значительной глубине скважины вес колонн бурильных труб превосходит требуемую нагрузку на коронку. Тогда создают повышенное давление под поршнями, а верхние полости сообщают с атмосферой. В этом случае верхняя часть колонны бурильных труб будет в растянутом состоянии. Если закрыт дроссельный кран, шпиндель и бурильная колонна будут подниматься. Величина хода поршней, а следовательно, и бурового шпинделя в разных станках составляет от 400 до 1500 мм. Индикатор веса (специальный манометр) позволяет буровому мастеру постоянно контролировать нагрузку на коронку. Шпиндель имеет четыре-пять скоростей вращения в пределах от 80 до 450 — 500 об/мин. Станки для алмазного бурения более быстроходны (до 800—2000 об/мин).

Грузоподъемность гидравлических цилиндров

$$P = \varphi qL, \quad (25)$$

где P — грузоподъемность гидравлических цилиндров в кг; q — вес 1 м бурильных труб в кг; L — предельная глубина скважины в м; φ — коэффициент, учитывающий возможный прихват колонны,

$$\varphi = 1,5 \div 2.$$

Максимальное давление жидкости $p_{\max}$, на которое рассчитывается гидравлическая система, определяется по формуле

$$p_{\max} = \frac{\varphi qL}{mF}, \quad (26)$$

где m — число цилиндров (1 или 2); F — площадь поршня снизу в см².

Давление масла p в гидравлических цилиндрах должно поддерживаться, исходя из следующих расчетов.

В начале бурения, когда требуемая нагрузка на коронку $C > kqL$, дают дополнительную нагрузку и давление масла над поршнями должно быть

$$p = \frac{C - kqL}{mF_1}, \quad (27)$$

где F_1 — площадь поршня сверху (за вычетом площади сечения штока), k — коэффициент, учитывающий потерю веса труб, погруженных в жидкость, $k=0,87 \div 0,85$.

Когда $kqL > C$, тогда только часть веса бурильной колонны должна передаваться на забой и давление под поршнями должно быть

$$p = \frac{kqL - C}{mF}. \quad (28)$$

При установке утяжеленного низа формула (28) имеет вид

$$p = \frac{k[q(L-l) + q_T l] - C}{mF}, \quad (29)$$

где q_T — вес 1 м УБТ (утяжеленных бурильных труб); l — длина УБТ.

Если коронка приподнята над забоем, вес колонны штанг определяют по формуле

$$mFp_0 = kqL, \quad (30)$$

где p_0 — давление масла под поршнем при вращающейся колонне, приподнятой над забоем.

Нагрузка на коронку при бурении будет

$$G = mF(p_0 - p). \quad (31)$$

На манометрах станков с гидравлической подачей цифры указывают силу mFp (с учетом к. п. д. поршней).

При бурении с разгрузкой увеличение давления масла в гидравлических цилиндрах свидетельствует об уменьшении нагрузки на коронку, что происходит автоматически при переходе коронки из твердой породы в более мягкую. Наоборот, резкое уменьшение давления под поршнями будет указывать на увеличение нагрузки на коронку, что наблюдается при смене мягкой породы крепкой. Постепенное уменьшение давления жидкости под поршнями обуславливается затуплением резцов коронки.

При наличии густого шлама у забоя индикатор давления покажет при подъеме бурильной колонны силу, превосходящую вес инструмента, а при опускании — силу, меньшую чем вес инструмента. Индикатор давления позволяет отмечать обрыв бурильной колонны и определять примерную глубину обрыва.

Масло, заполняющее систему гидропривода, должно быть маловязким, обладать хорошими смазывающими способностями, не содержать кислот, щелочей, смол и механических примесей.

Перед заполнением гидросистемы масло необходимо профильтровать.

Основной недостаток гидравлической подачи, изображенной на рис. 23, характерной для станков типа ЗИФ, заключается в том, что скорость ее резко изменяется при бурении пород, переме-

жающихся по твердости. Особенно это проявляется при бурении с дополнительной нагрузкой. При неравномерной подаче процесс кернообразования ухудшается в результате скалывания крупных частиц породы, что способствует самозаклиниванию керна в колонковом снаряде, а также неблагоприятно сказывается на износостойкости коронок. В связи с этим такую гидравлическую подачу нецелесообразно применять при бурении алмазными коронками в сильно трещиноватых и перемежающихся по твердости породах.

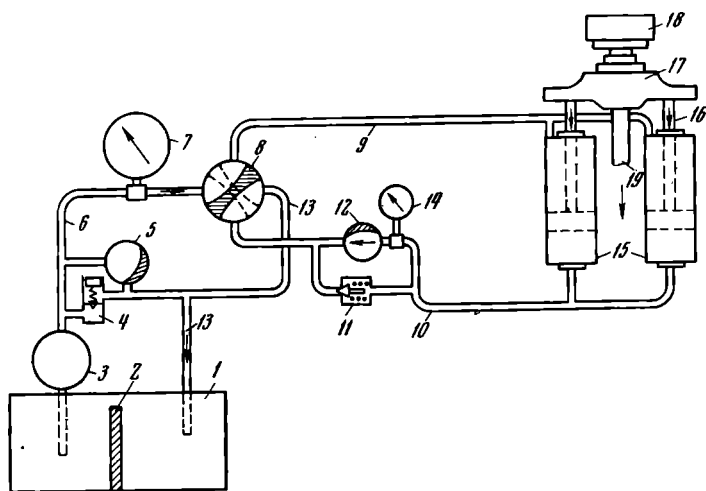


Рис. 24. Схема гидроподдачи с дросселированием масла в нижних полостях цилиндров.

1 — маслябак, 2 — фильтр, 3 — маслонасос, 4 — предохранительный клапан, 5 — основной дроссельный кран, 6 — нагнетательная линия, 7 — индикатор веса и нагрузки, 8 — четырехходовой распределительный кран, 9 — трубопровод верхней полости цилиндров, 10 — трубопровод нижней полости цилиндров, 11 — обратный клапан, 12 — дроссель для дросселирования масла, вытекающего из нижних полостей цилиндров, 13 — сливная линия, 14 — манометр, 15 — цилиндры подачи, 16 — шток поршня, 17 — траверса, 18 — зажимной патрон.

Отечественные станки БСК-2М-100, буровые станки фирмы «Лонгир», некоторых австралийских и японских фирм выпускаются с гидравлической подачей, в которой регулирование давления масла производится дополнительно за счет дросселирования жидкости, вытекающей из нижних полостей гидравлических цилиндров (рис. 24).

При бурении с дополнительной нагрузкой создается небольшое противодействие под поршнями, что повышает плавность подачи инструмента, уменьшает вибрацию бурильной колонны и увеличивает работоспособность алмазных коронок.

При бурении перемежающихся по твердости или трещиноватых

ных горных пород подача второго типа обеспечивает более равномерную скорость осевого перемещения породоразрушающего инструмента, что способствует предотвращению самозаклинок керна и улучшает условия работы буровых коронок. Буровые установки, имеющие гидравлическую подачу этого типа, обычно оснащают масляными насосами с регулируемой производительностью.

В США гидравлическую подачу имеют станки, предназначенные для бурения глубоких скважин, а также скважин средней глубины в трещиноватых и перемежающихся по твердости породах. Как правило, они имеют гидравлические зажимные патроны и гидромеханизмы для развинчивания труб.

Станки для бурения скважин глубиной до 100—250 м и станки для бурения подземных скважин обычно оснащают дифференциальной подачей, применение которой позволяет уменьшить вес станка.

Значительное количество выпускаемых в США и Канаде станков для бурения скважин глубиной от 100—150 м до 600 м комплектуется сменными вращателями с гидравлической и дифференциальной подачей. Целесообразность применения того или другого вида подачи определяется в зависимости от степени однородности пород, условий транспортировки станка и типа породоразрушающего инструмента.

Характерной особенностью многих зарубежных станков для разведочного бурения является их универсальность, позволяющая эффективно использовать эти станки для бурения в разнообразных геологических условиях различными породоразрушающими инструментами — шарошечными и лопастными долотами, алмазными и твердосплавными коронками, а также с успехом применять погруженные пневмоударники. Универсальность станков достигается за счет применения многоскоростных коробок передач, обеспечивающих расширенный диапазон скоростей вращения инструмента. Так, буровой станок фирмы «Лонгир» модели № 34 для бурения на глубину 420 м имеет восьмискоростную коробку передач, станок HS-42 (ФРГ), рассчитанный на глубину бурения до 800 м, имеет диапазон скоростей вращения инструмента от 60 до 800 об/мин. Благодаря широкому диапазону скоростей вращения и мощной гидравлической системе, позволяющей создавать высокие осевые нагрузки на инструмент, такие станки дают возможность успешно проходить скважины в сложных геологических условиях, чередуя породоразрушающие инструменты для бурения сплошным и кольцевым забоем.

Характеристика новых отечественных станков с гидравлической подачей дана в табл. 10.

Дадим краткое описание станков с гидравлической подачей новых конструкций.

Станок БСК-2М-100 предназначен для бурения алмазами и твердыми сплавами вертикальных, восстающих и наклонных сква-

Характеристика отечественных станков с гидравлической подачей

Тип станка	БСК-2М-100	УКБ-500-С	СБА-500	СБА-800
Глубина бурения, <i>м</i>	100	Диаметр 110 <i>мм</i> —300 Диаметр 59 <i>мм</i> —500	Диаметр 93 <i>мм</i> —300 Диаметр 59 <i>мм</i> —500	Диаметр 93 <i>мм</i> —500 Диаметр 59 <i>мм</i> —800
Диаметры бурения, <i>мм</i> : начальный	92	132	151	151
конечный	36	59	59 (46)	59 (46)
Диаметр бурильных труб, <i>мм</i>	33,5	50	42 и 50	42; 50 и 63,5
Угол поворота шпинделя, <i>град</i>	0—360	Вертикальное вниз	90—45	0—360
Скорость вращения шпинделя, <i>об/мин</i>	300, 600	104; 190; 280; 380; 700; 1015	104; 190; 280; 380; 700; 1015	130; 230; 340; 450; 600; 800
Подача инструмента	Гидравлическая		Гидравлическая с автоматическим перехватом	
Ход подачи, <i>мм</i>	450	400	400	500
Усилие подачи вверх, <i>кГ</i>	1200	6000	6000	8000
Лебедка: диаметр барабана, <i>мм</i>	Нет	260	260	300
Грузоподъемность, <i>кГ</i>	Спуск инструмента пружинным тормозом	2000	2000	3500
Скорость навивки на барабан, <i>м/сек</i>	Подъем инструмента при помощи двух штангоподъемников	0,9; 1,6; 2,3	0,9; 1,6; 2,3	0,7; 1,24; 1,86; 2,43; 3,28; 4,30
Тип насоса	2НБ-7Э	ГР 16/40	ГР 16/40	ГР 16/40
Мощность привода, <i>квт</i>	7,5*; 1,7**	40 л. с., (Д-37М)	22; 22	30; 22
Вес, <i>кг</i>	480*+130**	Без шасси 4530. В транспортном положении 11 500	1450	2400

Примечание: * Станка.

** Насоса.

Насос ГР 16/40

Максимальная производительность, *л/мин* 267

Число степеней регулирования 14

Минимальная производительность, *л/мин* 32

Число поршней 2

Максимальный ход поршня, *мм* 48

жин из подземных горных выработок и с поверхности (рис. 25), легко разбирается на узлы весом до 90 кг. Этот станок не имеет лебедки. Спуск инструмента осуществляется пружинным тормозом, а подъем — с помощью гидравлики путем перехвата двух штангоподъемников.

Станок БСК-2М-100 имеет достаточно большую приводную

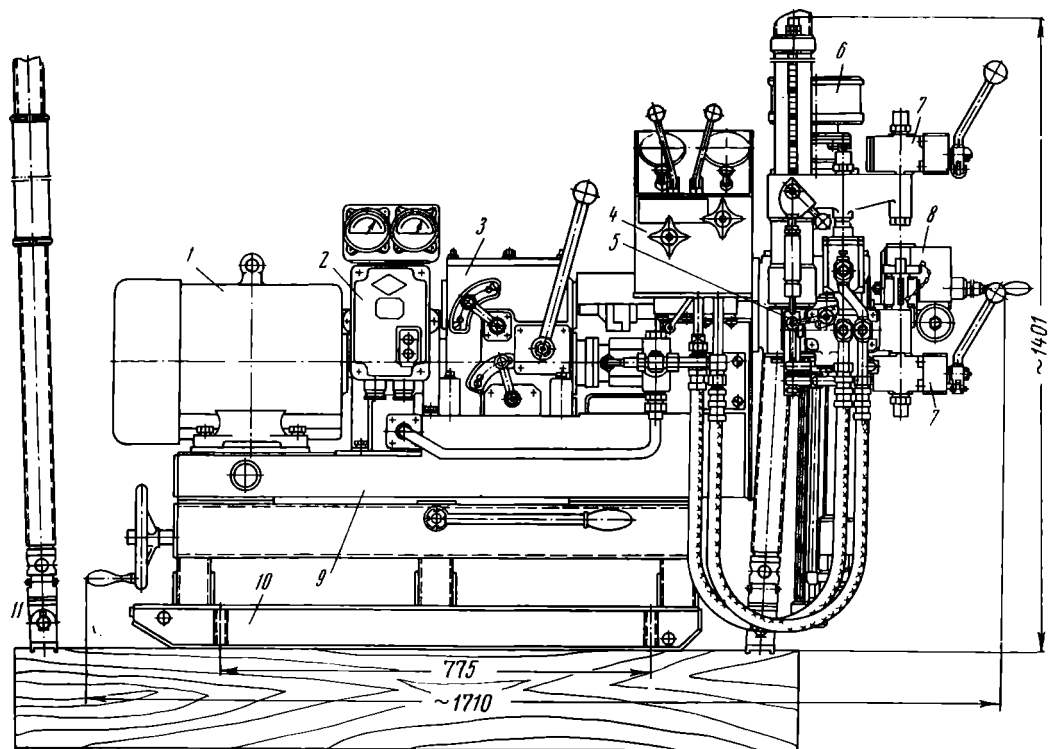


Рис. 25. Буровой станок БСК-2М-100.

1 — электродвигатель, 2 — пусковой автомат с электроприборами, 3 — коробка скоростей, 4 — пульт управления гидросистемой, 5 — вращатель, 6 — зажимной патрон, 7 — штангоподъемник, 8 — тормоз спуска, 9 — верхняя рама, 10 — нижняя рама, 11 — распорная стойка,

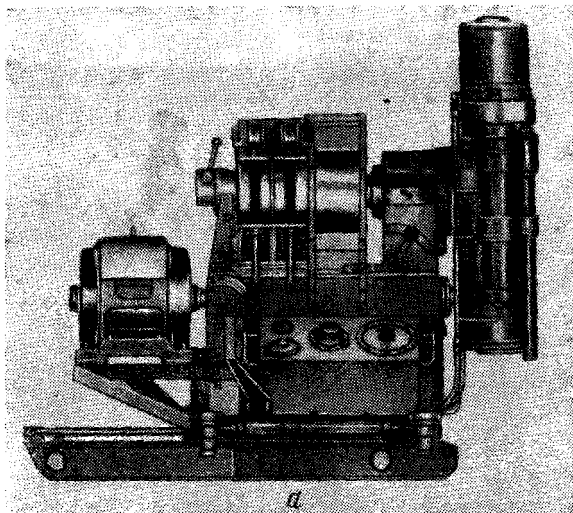
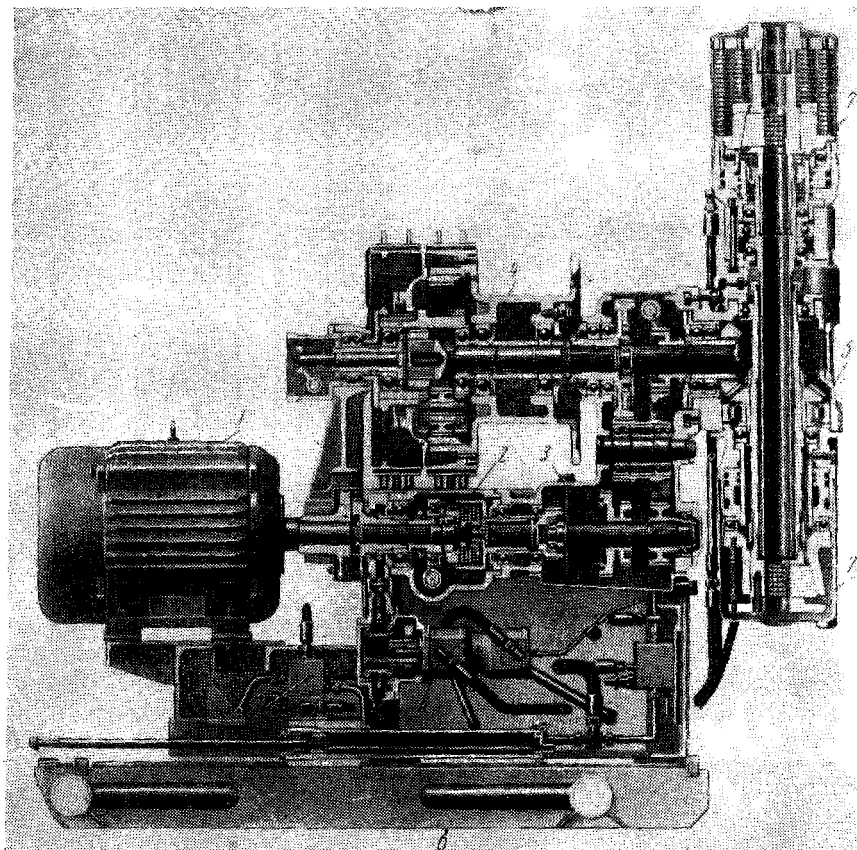


Рис. 26. Буровой станок СБА-500.

a — общий вид; *б* — продольный разрез; 1 — электродвигатель, 2 — главный фрикцион, 3 — коробка передач, 4 — лебедка, 5 — вращатель, 6 — маслосос, 7 — гидравлический патрон.



мощность и повышенную надежность в работе. Дополнительный дроссель на сливной линии гидравлических цилиндров (см. рис. 24) смягчает ударные нагрузки, возникающие при бурении трещиноватых и кавернозных пород, в связи с чем увеличивается проходка на алмазные коронки.

Станок оснащен двумя маслонасосами, что позволяет увеличить скорости спуско-подъемных операций и срок службы гидросистемы станка.

Буровой станок СБА-500 (рис. 26 а, б) обеспечивает бурение скважин под любыми углами наклона. Значительная мощность двигателя и широкий диапазон скоростей вращения шпинделя позволяет производить бурение алмазными и твердосплавными коронками на наиболее рациональных режимах.

Вращатель оборудован двумя гидравлическими патронами, что позволяет производить перехват бурильных труб автоматически, без остановки станка.

Станок СБА-500 оснащен КИП, позволяющими осуществлять контроль за процессом бурения. Перемещение станка по раме производится гидроцилиндром, а закрепление и освобождение — специальным автоматическим устройством, блокированным с ним.

Для свинчивания и развинчивания бурильных труб станок оснащен механизмом ПО-47-Б. Станок СБА-500 имеет высокую транспортабельность, облегчает условия труда буровых рабочих, обеспечивает повышение производительности на 30% (по сравнению с производительностью ЗИФ-300М).

Станок СБА-800 имеет по сравнению с ЗИФ-650А более широкий диапазон скоростей вращения шпинделя. Вращатель станка оборудован гидropатронами и системой автоматического перехвата рабочей штанги без остановки станка.

В комплект станка СБА-800 входят:

1) станок с электроприводом, с пультом управления и магнитной станцией;

2) механизм свинчивания и развинчивания РТ-1200;

3) буровой насос ГР 16/40 с электродвигателем 22 кВт.

Вес станка с пультом управления и магнитной станцией 2400 кг. Станок оснащен КИП для контроля за технологическим режимом бурения.

Станки с дифференциальной винтовой подачей

Станки с дифференциальной винтовой подачей применяются для бурения неглубоких скважин алмазными и твердосплавными коронками.

Устройство дифференциальной подачи показано на рис. 27.

От вала 1, на конце которого закреплена малая коническая шестерня 2, приводится во вращение коническая шестерня 3, заклиненная на втулке 4, которая при помощи скользящих шпо-

нок вращает винтовой шпиндель 5 с крупной левой ленточной резьбой. Шпиндель имеет несколько длинных канавок под шпонки втулки, поэтому он не только вращается, но и имеет осевое перемещение. Сквозь шпиндель пропущена штанга 12 с промывочным сальником 13, зажатая в патроне 6. На втулке заклинена цилиндрическая шестерня z_1 , находящаяся в зацеплении с шестерней z_2 . Последняя свободно сидит на валике подачи 7, который включается фрикционом 8 путем сжатия пружины 9 при помощи нажимной гайки 10. На валике 7 посажены шестерни z_3, z_3', z_3'' и z_3''' , находящиеся в зацеплении с шестернями z_4, z_4', z_4'' и z_4''' соответственно. Последние заклинены на гайке подачи 11, навинченной на шпиндель 5. Все шестерни z_3 свободно сидят на валике подачи 7 и включаются поочередно при помощи скользящей шпонки, передвигаемой рукояткой 14. Если шпиндель делает n_1 об/мин, то гайка будет вращаться в том же направлении, совершая $n_2 = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}$ об/мин.

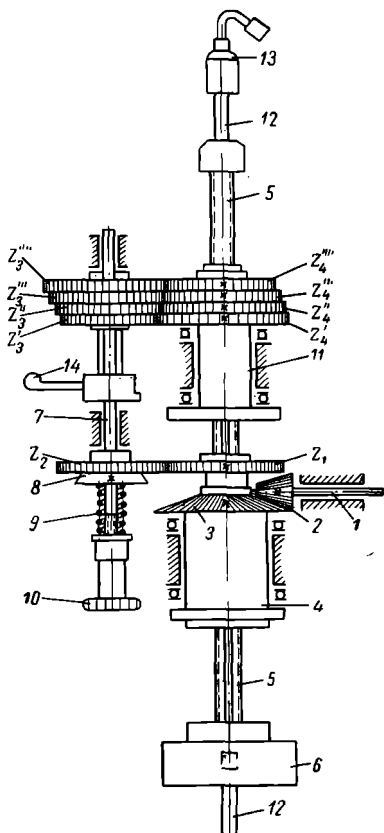


Рис. 27. Схема винтовой дифференциальной подачи.

Гайка вращается быстрее шпинделя. Если шпиндель и гайка имеют резьбу с шагом t , то подача шпинделя за 1 мин будет:

$$h = t(n_2 - n_1) = t \left(n_1 \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} - n_1 \right) = t n_1 \left(\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} - 1 \right). \quad (32)$$

Подача шпинделя за один оборот будет:

$$h_{c6} = t \left(\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} - 1 \right). \quad (33)$$

По схеме, изображенной на рис. 27, шпиндель имеет четыре скорости подачи, которые должны подбираться в соответствии с буримостью пород. Если фактическая скорость бурения меньше скорости подачи шпинделя, то осевая нагрузка и крутящий момент будут возрастать до тех пор, пока не начнет проскальзывать конус или диски фрикциона подачи.

Для быстрого подъема шпинделя надо отключить шестерню z_2 .

затормозить гайку подачи и включить вращатель. Так как в этом случае n_2 равно нулю, то

$$\dot{h}_{об} = -tn_1, \quad (34)$$

т. е. шпindel будет быстро двигаться вверх.

На рис. 28 показан легкий станок для подземного бурения с дифференциальной винтовой подачей и приводом от пневматического двигателя.

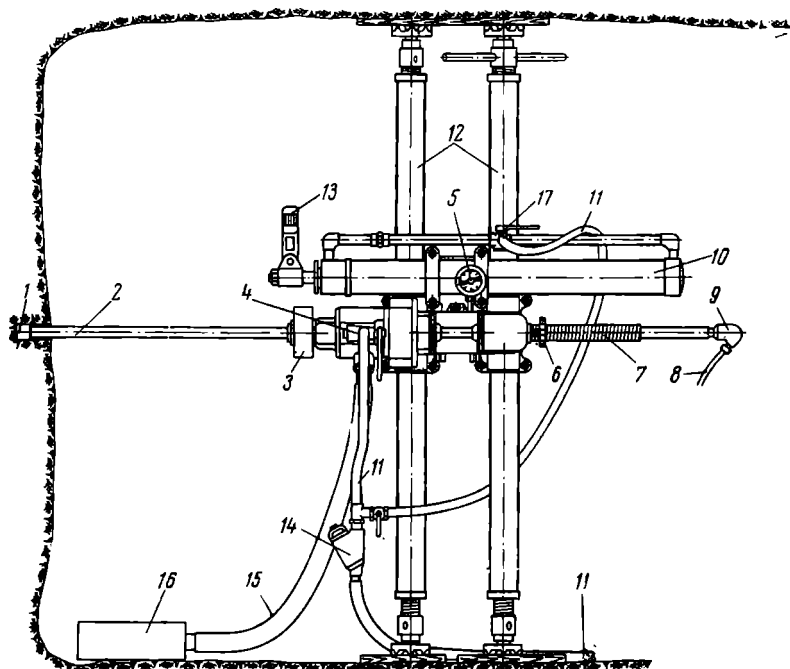


Рис. 28. Буровой станок с дифференциальной винтовой подачей и штангоизвлекателем для подземного бурения

1 — коронка, 2 — штанга, 3 — зажимной патрон винтового шпинделя, 4 — пусковое устройство вращателя, 5 — индикатор осевого усилия, 6 — штурвал регулятора подачи, 7 — шпindel винтовой, 8 — шланг водяной, 9 — буровой промывочный сальник, 10 — пневматический штангоизвлекатель, 11 — шланг для сжатого воздуха, 12 — распорные колонки, 13 — штангозахватчик, 14 — автоматическая масленка, 15 — выкидной шланг, 16 — глушитель, 17 — кран управления штангоизвлекателем.

Угол бурения — от нуля до 360° . Станок укреплен на распорных колонках и может бурить скважины под любым углом. Вместо лебедки имеется пневматический экстрактор, шток которого, передвигаемый под давлением сжатого воздуха, при помощи захвата извлекает из скважины или заталкивает в скважину колонну штанг. Управляется экстрактор распределительным краном.

ПРОМЫВКА И ПРОДУВКА СКВАЖИН

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Промывка при бурении скважин производится для:

- а) очистки забоя от разбуренной породы и выноса ее на поверхность или в шламовую трубу;
- б) охлаждения породоразрушающего инструмента;
- в) закрепления неустойчивых стенок скважины (промывка глинистым раствором).

При проходе поглощающих горизонтов применяются специальные промывочные жидкости, способные закрывать трещины и поры поглощающих пород.

Существует два способа промывки скважин: прямая и обратная (рис. 29).

При прямой промывке жидкость насосом 1 по нагнетательному шлангу 2 подается к забою по бурильной колонне 3 (рис. 29, а), охлаждает породоразрушающий инструмент 4, оmyвает забой и поднимается по кольцевому пространству между стенками скважины и колонной бурильных труб, транспортируя на поверхность разбуренную породу.

По выходе из скважины промывочный раствор пропускают по системе желобов 5 и отстойников 6 для очистки его от частиц породы. Очищенный раствор вторично нагнетается в скважину. При поглощении промывочной жидкости в пористых породах в емкость 8 добавляют новые порции раствора.

При обратной промывке (рис. 29, б) раствор нагнетается к забою скважины по кольцевому зазору между бурильной колонной 3 и стенками скважины и поднимается к поверхности вместе с выбуренной породой внутри бурильных труб. В этом случае устье скважины должно быть герметизировано и оборудовано специальным сальником 7, позволяющим колонне труб 3 вращаться и иметь поступательное движение, но в то же время не пропускающим жидкости.

Раствор вследствие малого сечения бурильных труб поднимается с большой скоростью и быстро выносит на поверхность частицы породы. Однако такая промывка не применима, если происходит поглощение промывочной жидкости. В настоящее время при бурении применяется в основном прямая промывка, а для лучшего выноса разбуренной породы употребляют глинистые растворы.

Промывочная жидкость выбирается в зависимости от свойств буримых пород. При бурении скважин в устойчивых породах применяется вода. При бурении в малоустойчивых породах безаварийная проходка скважин возможна только при применении правильно подобранных глинистых растворов.

Глубокое бурение по мощным толщам слабых и пучащихся пород требует применения утяжеленных и химически обработанных растворов.

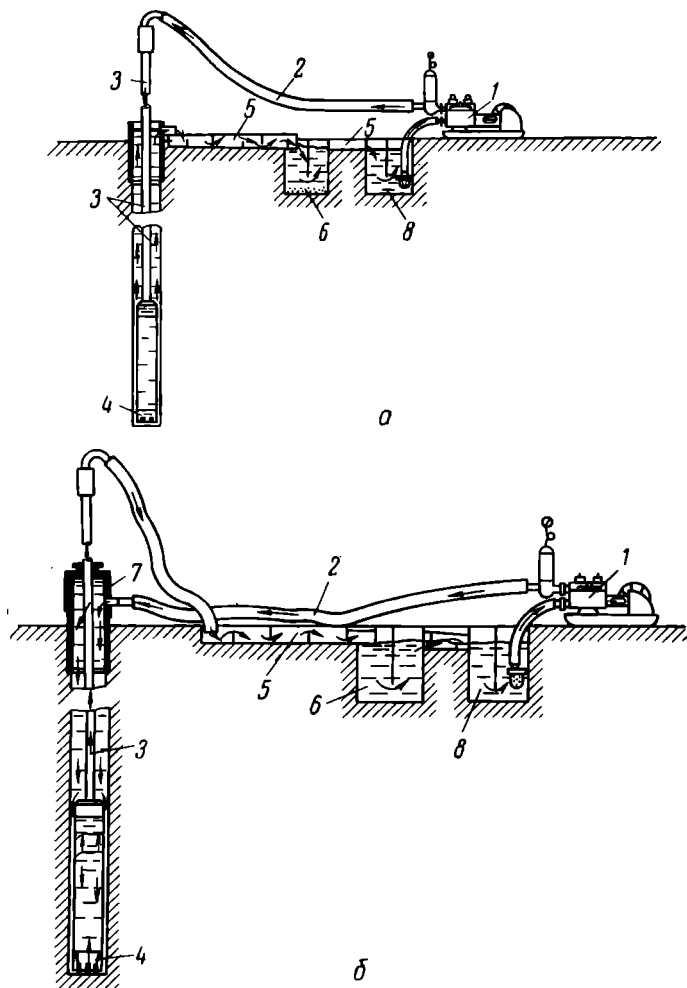


Рис. 29. Схема промывки скважины.
а — прямая промывка; б — обратная.

Бурение в крепких и очень крепких породах наиболее эффективно при промывке скважины слабыми растворами понизителей твердости.

Проходка скважин в толще минеральных солей производится с промывкой насыщенными растворами этих солей, в противном

случае возможно размывание и растворение керна и стенок скважины.

При бурении в безводных скважинах и в мерзлых льдистых породах с успехом применяется продувка скважин воздухом.

§ 2. ПОНЯТИЕ О ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРАХ

Глинистым раствором называется водная суспензия различных глин.

Наилучшими для приготовления глинистых растворов являются бентонитовые глины, содержащие большое количество минерала монтмориллонита. Характерной особенностью бентонитовых глин является сильное набухание и легкая распускаемость их в воде. Глины каолинового типа плохо распускаются, их растворы неустойчивы и быстро разделяются на твердую фазу и жидкость.

Для бурения применяются глинистые растворы, обладающие определенными свойствами (удельный вес, вязкость, водоотдача и т. п.).

Технологические качества глинистых растворов в значительной степени зависят от различных добавок к ним химических реагентов; мероприятия по изменению технологических качеств глинистых растворов реагентами называются химической обработкой.

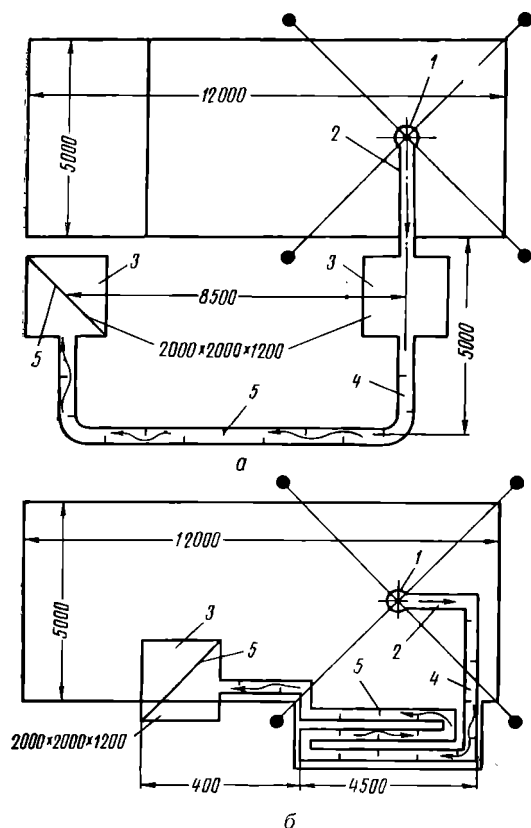


Рис. 30. Желобные системы для очистки промывочного раствора.

а — летняя; б — зимняя. 1 — устье скважины, 2 — прямой желоб, 3 — отстойники, 4 — желоба с перегородками, 5 — перегородки.

склонны к обрушениям, разбуханию, водопоглощению.

При бурении в неосложненных условиях применяются нормальные глинистые растворы с удельным весом около $1,2 \text{ Г/см}^3$. При

бурении в породах, поглощающих промывочную жидкость, применяются для промывки глинистые растворы с малым удельным весом и повышенной вязкостью.

Снижение удельного веса может достигаться аэрацией промывочной жидкости.

Для борьбы с выбросами (нефти, газа, воды) и обвалами применяются утяжеленные растворы.

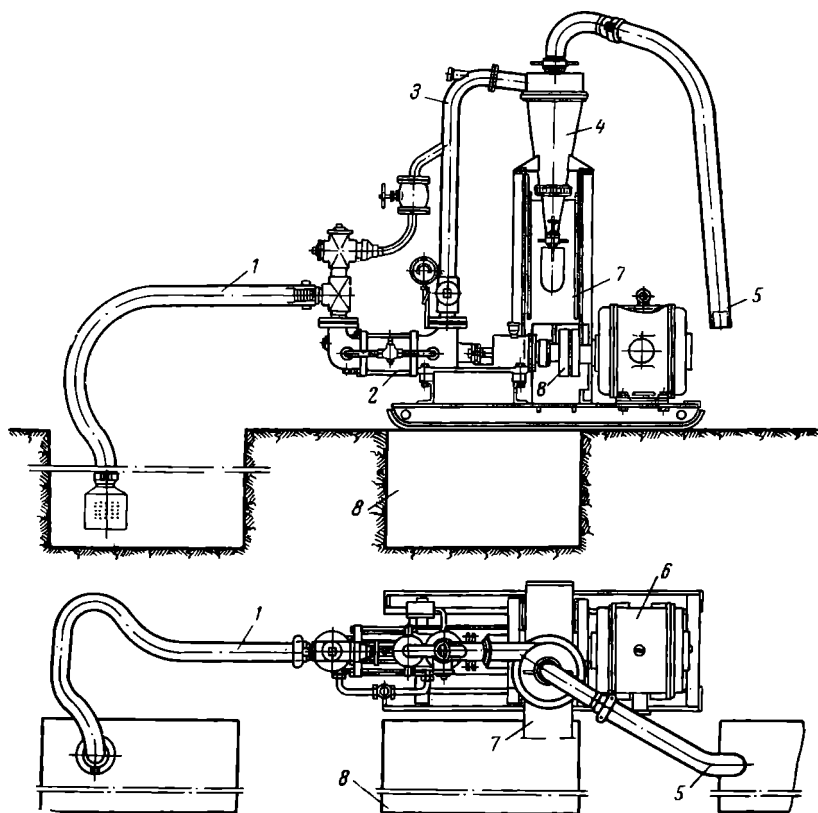


Рис. 31. Очистка глинистого раствора гидроциклоном.

Утяжеление растворов достигается путем добавок в раствор тяжелых порошков барита или гематита.

Глинистые растворы готовят двумя способами: 1) механическим и 2) гидравлическим. При механическом способе применяются глиномешалки одновальные и двухвальные, горизонтальные и вертикальные. При гидравлическом способе глинистый раствор готовится в специальных гидравлических мешалках или с помощью гидромониторов.

При бурении отдельных изолированных скважин пригото-

ние глинистых растворов и их обработка производятся непосредственно на буровых вышках. При больших объемах буровых работ строят глинозаводы.

Промывочный раствор по выходе из скважины на поверхность содержит частицы разбуренной породы (шлам). Очистка раствора от шлама осуществляется в желобах, ситах и гидроциклонах. Схема установки желобов и отстойников показана на рис. 30.

Желоба устанавливают с уклоном 1,0—1,5 см на 1 м длины, ширина желобов ~30 см, высота ~25 см. По дну желоба через 1,5—2,0 м друг от друга ставят перегородки. Длина желобов при промывке глинистым раствором — не менее 15 м. При глубоком колонковом бурении (свыше 500 м) длину желобов доводят до 25—30 м.

В желобную систему включают отстойники и отстойные баки. Желоба и отстойники должны периодически очищаться от шлама.

Более удобны и компактны очистные устройства, основанные на принципе центрифугирования, — гидроциклоны, в которых отделение шлама осуществляется под действием центробежных сил.

На рис. 31 показана установка гидроциклонного шламоотделителя. Глинистый раствор, содержащий песок, забирается винтовым насосом 2 из отстойника через всасывающий шланг 1 и поступает в гидроциклон 4 по трубе 3. Очищенный раствор вытекает по отводу 5 в другой отстойник, а отходы отводятся по желобу 7 в грязевой зумпф 8. Насос приводится в движение электродвигателем 6.

§ 3. ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПРОМЫВОЧНЫЕ РАСТВОРЫ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

Глинистые растворы имеют ряд недостатков, а именно ухудшение их качества при воздействии на них минерализованных подземных вод и способность загустевать при проходке глинистых пород. Кроме того, разработка глин, изготовление и транспортировка растворов требуют значительных затрат средств, рабочей силы, а в осенне-зимнее время бывают затруднительны.

Одним из перспективных направлений в разработке новых видов промывочных жидкостей является создание растворов в процессе бурения из разбуриваемых пород.

Использование в качестве дисперсной фазы бурового раствора глин стратиграфического разреза известно давно. Другие виды осадочных пород для создания промывочных жидкостей до последнего времени не использовались.

Работами П. А. Ребиндера, С. И. Ятрова, К. Ф. Жигача, Н. Г. Шевалдина доказана целесообразность получения естественных растворов при бурении таких пород, как известняки, аргиллиты, сульфатные и сульфатно-галоидные отложения.

Создание естественных промывочных растворов происходит в процессе бурения с использованием воды в качестве промывочной

жидкости. При разбурировании неглинистых пород в стволе скважины образуется неустойчивая, неконцентрированная водная суспензия. Использование поверхностно-активных веществ и активных добавок дает возможность решить задачу создания естественных промывочных растворов из выбуриваемых пород почти любого литологического состава. Поверхностно-активные вещества и активные добавки позволяют достигнуть высокой стабилизации естественного промывочного раствора и регулировать его свойства в необходимом направлении.

Диспергирование выбуриваемых пород происходит при воздействии породоразрушающего инструмента на забой и при движении промывочной жидкости по циркуляционной системе.

Поверхностно-активные вещества не только стабилизируют имеющиеся в суспензии мелкодисперсные частицы выбуренных пород, но и способствуют стабилизации и более тонкому диспергированию новых порций выбуриваемых пород. При этом процесс диспергирования облегчается, так как поверхностно-активные вещества и добавки, как правило, являются понизителями твердости.

Наиболее эффективными стабилизаторами и регуляторами свойств неглинистых суспензий являются: а) сульфат целлюлозы (СЦ); б) этансульфонат целлюлозы (ЭСЦ); в) смеси сульфатно-натриевых солей сланцевых смол (СНС).

Исследованиями установлено, что эти синтетические поверхностно-активные вещества часто действуют более эффективно, чем химические реагенты, распространенные в бурении.

Так, при оптимальной концентрации СЦ (1,0—1,5%) достигается полная седиментационная устойчивость карбонатных и сульфатных суспензий. Эффективность действия, например, синтетических ПАВ усиливается при увеличении минерализации дисперсионной среды (15—20% NaCl и CaCl₂).

Как показали исследования, окисленный лигнин, гипан, полиакриламид (в сочетании с CaCl₂ и NaOH) также являются весьма эффективными стабилизаторами и регуляторами реологических и структурно-механических свойств неглинистых суспензий.

Фильтрационные показатели этих суспензий имеют минимальные значения (7,5—5,0 см³ за 30 мин).

Также разработаны принципы регулирования свойств промывочных жидкостей большой плотности из неглинистых пород с помощью широко применяемых в бурении химических реагентов (КМЦ, ССБ, КССБ, крахмала, электролитов) при оптимальном их сочетании.

Доказана возможность получения в промышленных условиях естественных утяжеленных промывочных жидкостей с применением новых синтетических ПАВ ($\gamma_{\text{ж}} = 1,7 \text{ Г/см}^3$).

Исследовательские работы, проведенные на ряде месторождений с применением естественных растворов, подтверждают перспективность и эффективность их применения.

На основании фактического материала, полученного при бурении скважин в сопоставимых интервалах с промывкой естественными карбонатными растворами, показано, в частности, что механическая скорость повышается в 1,5 раза, а проходка на долото — на 19% по сравнению с бурением при промывке глинистым раствором.

Таким образом, естественные промывочные жидкости, получаемые в процессе бурения из неглинистых пород, весьма перспективны, особенно при разведке угольных месторождений, минеральных солей и руд, залегающих в карбонатных породах.

§ 4. ВЫБОР НАСОСА ДЛЯ БУРЕНИЯ

Промывка скважин должна обеспечивать вынос всех частиц разбуренной породы с забоя на поверхность или в шламовую трубу.

Скорость восходящего потока должна превышать скорость погружения частиц в нем. Если скорость восходящего потока недостаточна, крупные частицы будут скопляться возле забоя скважины и подвергаться дополнительному измельчению. В результате производительность бурения будет снижаться, а износ бурового инструмента увеличиваться. При прекращении промывки частицы, скопившиеся в нижней части скважины, могут осесть на колонковый снаряд и вызвать прихват инструмента.

Глинистые растворы застудневают и обладают сопротивлением сдвигу. Благодаря этому в глинистом растворе не тонут частицы породы, удельный вес которых больше, чем удельный вес раствора.

Скорость восходящего потока промывочного раствора должна быть больше, чем скорость падения наиболее крупных и наиболее тяжелых частиц.

При больших скоростях бурения и малых скоростях выноса частиц может произойти: а) зашламование скважины; б) значительное повышение удельного веса восходящего потока жидкости и в) увеличение давления насоса, вызванное повышением удельного веса восходящего потока.

При колонковом бурении твердыми сплавами скорость восходящего потока должна быть более 0,25 м/сек. При бурении алмазами $v > 0,6$ м/сек, при бурении трехшарошечными долотами скорость восходящего потока должна быть $\sim 0,8$ м/сек.

В процессе дробового бурения промывку приходится сильно ограничивать, чтобы не вымывать дробь из-под торца коронки. Иногда промывку ограничивают также для улучшения выхода зерна. В процессе глубокого разведочного колонкового бурения (под кондуктор большого диаметра) производительность насоса иногда не может обеспечить достаточной скорости восходящего потока. Во всех этих случаях для улавливания крупного шлама необходимо применять шламовую трубу, устанавливаемую над колонковой трубой.

Производительность насоса определяется по формуле

$$Q = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) v \text{ л/сек}, \quad (35)$$

где D — диаметр скважины в дм ; d — наружный диаметр бурильных труб в дм ; v — скорость восходящего потока в кольцевом зазоре в дм/сек .

Давление, на которое рассчитывается буровой насос, подбирается в зависимости от глубины скважины.

Примерные давления буровых насосов приведены в табл. 11.

Мощность двигателя для привода насоса определяется по формуле

$$N = \frac{QH}{75\eta} = \frac{10Qp}{75\eta} \text{ л. с} \quad (36)$$

или

$$N = \frac{QH}{102\eta} = \frac{10Qp}{102\eta} \text{ кВт.} \quad (36.а)$$

Таблица 11
Давление буровых насосов

Глубина скважины, м	Примерное давление насосов, кг/см^2
До 150	20
» 300	40
» 600	50
» 1200	60

где Q — производительность насоса в л/сек ; H — полное давление насоса в м вод. ст. ; p — то же, в кг/см^2 ; η — к. п. д. насоса ($\eta = 0,8 \div 0,75$)

§ 5. БУРЕНИЕ СКВАЖИН С ПРОДУВКОЙ

Бурение с продувкой забоя сжатым воздухом целесообразно.

1) при бурении в льдистых мерзлых породах, которые при промывке скважин могут оттаивать и оползать;

2) при бурении в породах, которые впитывают воду и набухают;

3) в устойчивых породах, где отсутствуют водопритoki или они незначительны.

В скважинах, где имеются значительные водопритoki, бурение с продувкой не рекомендуется.

При колонковом бурении с продувкой применяются передвижные компрессоры производительностью от 5 до 12 $\text{м}^3/\text{мин}$, развивающие давление до 8 кг/см^2 . В США применяются специальные компрессоры для буровых работ с давлением до 20—50 кг/см^2 .

Чем выше давление компрессора, тем глубже можно бурить скважину с продувкой даже при наличии водопритокков.

На рис. 32 показана схема расположения оборудования для бурения с продувкой скважин в мерзлых породах (в Якутии). Эта схема обеспечивает возможность быстрого перехода на промывку.

Во избежание выноса вредной каменной пыли из устья скважины следует устье оборудовать герметизирующим устройством.

Полезно на отводной линии установить вентилятор, который обеспечивает отсос каменной пыли от устья скважины даже в том случае, если герметизирующее устройство не дает полного уплотнения (рис. 32). Вентилятор должен выдувать каменную пыль в подветренную сторону.

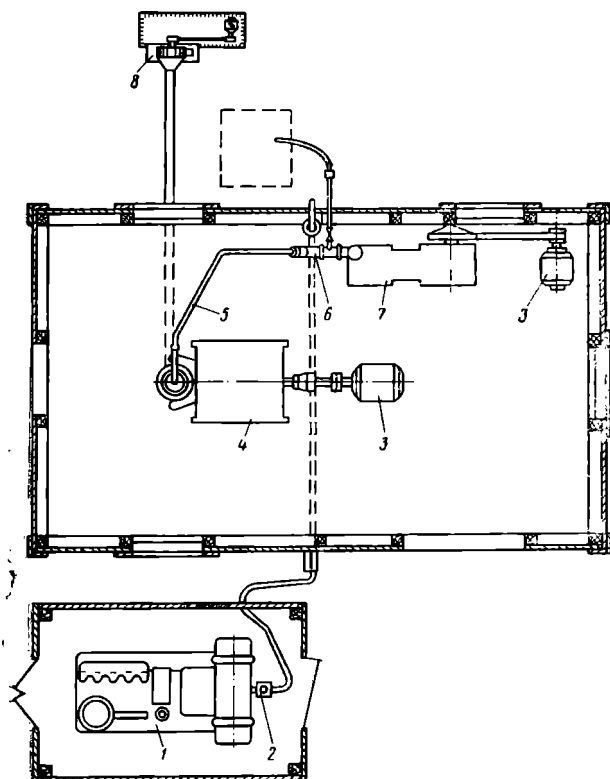


Рис. 32. Схема установки для бурения с продувкой и промывкой.

1 — компрессор; 2 и 6 — вентили; 3 — двигатель; 4 — станок буровой; 5 — нагнетательная линия; 7 — насос; 8 — отсасывающий вентилятор.

Если нельзя шлам выбрасывать в атмосферу, устанавливаются шламоуловители циклонного типа, которые предназначены для отделения шлама от потока воздуха и сбора шлама.

Исследования бурения разведочных скважин с продувкой показали следующее.

1. При колонковом бурении коронками, армированными твердыми сплавами, скорость восходящего потока воздуха в кольцевом зазоре между стенками скважины и колонной штанг должна быть в пределах 10—12 м/сек.

2. При бурении долотами, разрушающими весь забой, скорость восходящего потока воздуха должна быть в пределах 14—20 м/сек.

3. При дробовом бурении коронками диаметром 112 мм на бурильных трубах диаметром 50 мм в начале рейса подают около 2—2,5 м³/мин воздуха с постепенным снижением расхода воздуха в течение рейса.

4. Скорость вращения снаряда 150—300 об/мин.

5. Коронки применяются ребристые, обеспечивающие расширение воздуха при выходе его из колонкового снаряда.

6. При водопроявлениях в воздушный поток приходится вводить различные поверхностно-активные вещества (ПАВ) или переходить на промывку аэрированными растворами.

В этом случае в напорный воздушный трубопровод надо ввести смесительное устройство, предназначенное для смешения жидкости, вводимой в напорный воздухопровод, с потоком сжатого воздуха и предотвращения попадания жидкости в компрессор, а воздуха — в насос.

Умелое применение поверхностно-активных веществ позволяет успешно бороться с небольшими водопритоками.

Для уменьшения потерь давления необходимо применять бурильные трубы большого диаметра с широкими проходными отверстиями.

В процессе бурения с продувкой при встрече мощных водоносных горизонтов обычно переходят на промывку.

§ 6. ПРОМЫВКА СКВАЖИН ПОГРУЖНЫМИ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ НАСОСАМИ

Если статический уровень водоносного горизонта значительно ниже устья скважины, может иметь место полное поглощение промывочной жидкости. При встрече мощных водоносных горизонтов, крупных каверн и т. п. иногда не удается ликвидировать катастрофическое поглощение промывочной жидкости.

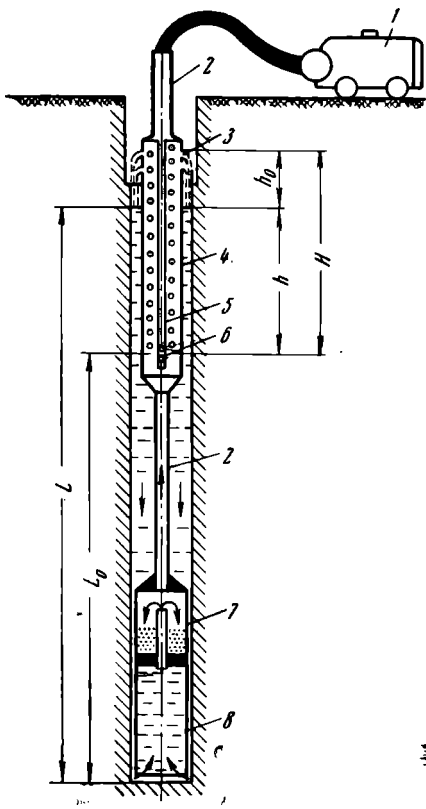


Рис. 33. Схема колонкового бурения с применением внутренней циркуляции с помощью эрлифта.

В этом случае целесообразно применять погружные насосы для создания местной (призабойной) циркуляции промывочной жидкости в процессе бурения.

Погружные насосы бывают с гидравлическим и пневматическим приводами.

Наиболее надежно работают эрлифтные насосы. Их можно применять при бурении с местной обратной циркуляцией, когда высота столба жидкости в скважине более 50—60 м.

Схема такой эрлифтной установки представлена на рис. 33.

К бурильной колонне 2 присоединяются водоподъемные трубы 4. Сверху в трубы 4 спускают воздухоподающий шланг 5. Смеситель 6 погружается на глубину ~ 50 м ниже уровня воды в скважине.

Буровой снаряд собирается из колонкового снаряда 8 с закрытой шламовой трубой 7.

При подаче воздуха компрессором 1 происходит обратная циркуляция промывочной жидкости, при этом жидкость, находящаяся в кольцевом пространстве, омывая забой, поднимается со шламом в шламовую трубу 7, затем в очищенном виде движется по колонне 2 и по трубам 4, достигает сливных отверстий 3, откуда изливается в скважину.

Погружные эрлифтные насосы снижают стоимость буровых работ, позволяют бурить скважины с местной обратной промывкой до глубины 350—500 м, при использовании для их привода компрессоров с давлением воздуха 6—8 кг/см² (при расходе воздуха 0,75—3 м³/мин).

Установлено положительное влияние местной промывки на устойчивость стенок скважины и выход керна.

Глава V

ТЕХНОЛОГИЯ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

§ 1. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

При вращательном бурении внедрение резцов в породу происходит под действием осевого усилия. Под действием вращающих усилий разрушение породы распространяется по всему забою. Непрерывное и одновременное действие осевых и вращающих усилий приводит к разрушению породы забоя спиральными слоями.

Скорость вращательного бурения зависит от глубины внедрения резцов коронки в породу и скорости ее вращения. Глубина внедрения резцов зависит:

- а) от физико-механических свойств породы;
- б) от геометрической формы резцов и расположения их по рабочему торцу коронки;

- в) от осевого усилия, передаваемого на каждый резец;
- г) от скорости вращения коронки.

При бурении не только разрушается порода, но и изнашиваются резцы, что приводит к снижению скорости бурения. Скорость износа резцов зависит прежде всего от соотношения между твердостью резцов и разрушаемой горной породой, а также от ее абразивности, вязкости, трещиноватости и т. п. Потеря резцами первоначальной формы зависит также от расположения резцов по торцу коронки, от их геометрии, а также от режима бурения.

При бурении весьма твердых пород необходимо или вставлять в коронку особо твердые и изнosoустойчивые резцы-алмазы, или применять такой способ бурения, при котором можно было бы, не поднимая коронки, в процессе бурения непрерывно заменять быстроизнашивающиеся истирающие материалы новыми, как при дробовом бурении.

Рассмотрим работу заточенного резца (рис. 34). Пусть резец с лезвием в виде одностороннего клина под влиянием осевой нагрузки C_0 внедряется в породу. Необходимым условием этого внедрения должно быть

$$C_0 > pF_0, \quad (37)$$

где F_0 — опорная поверхность лезвия резца, находящегося в контакте с породой, в $см^2$; p — твердость породы на вдавливание в $кг/см^2$.

У заточенного, незатупившегося резца опорная поверхность мала, поэтому будет объемное разрушение породы. Глубина внедрения в породу незатупившегося резца может быть выражена формулой

$$h_0 = \frac{\eta C_0}{bp \operatorname{tg} \beta}, \quad (38)$$

где C_0 — осевая нагрузка на резец в $кг$; b — длина лезвия резца в $см$; β — угол заточки лезвия резца; p — твердость породы на вдавливание в $кг/см^2$; η — коэффициент, учитывающий влияние сил трения.

Если бы резцы коронки не затуплялись, то бурение происходило бы с постоянной скоростью:

$$v_0 = h_0 m n, \quad (39)$$

где m — число резцов в коронке (или рядов мелких резцов); n — число оборотов в 1 мин.

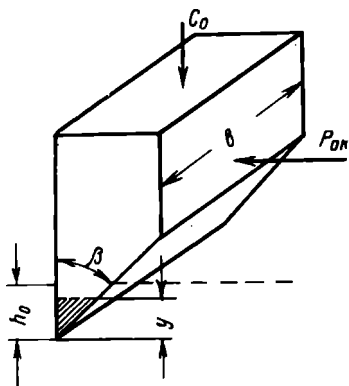


Рис. 34. Схема работы резца.

Вследствие затупления резцов проходка будет постепенно замедляться и тем скорее, чем быстрее затупляются резцы. Особенно быстро затупляются твердосплавные резцы при бурении абразивных пород на больших скоростях вращения и низких нагрузках на резец.

Коронку следует так армировать, чтобы работа разрушения производилась одновременно и в равной степени всеми резцами коронки при равномерном изнашивании коронки. Периферийные грани резцов производят работу не только по разрушению забоя,

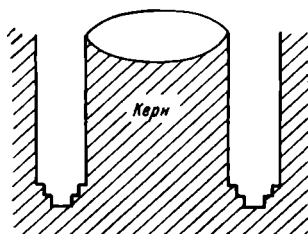


Рис. 35. Ступенчатый забой.

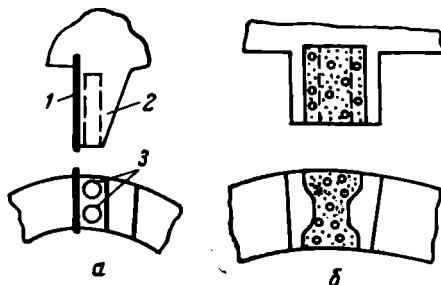


Рис. 36. Самозатачивающиеся резцы.

а — тонкопластинчатый твердосплавный резец; *1* — тонкая пластинка твердого сплава, *2* — стальной зуб, ослабленный отверстиями *3*; *б* — резец зерненого твердого сплава.

но и по отделению частиц породы от стенок скважины и керна, в связи с чем они изнашиваются более интенсивно. Поэтому необходимо усиливать именно периферийные части коронки. Для увеличения износостойчивости целесообразно располагать торцовые резцы коронки таким образом, чтобы забой имел ступенчатую форму (рис. 35). В этом случае работа верхнего ряда резцов будет происходить при наличии второй обнаженной плоскости, что облегчает разрушение породы.

Для износостойчивости коронок важно, чтобы резцы были прочно закреплены в торце коронки. Давление на породу должно быть больше твердости породы. Поэтому, чем крепче порода, тем меньшей опорной поверхностью, большей твердостью и износостойчивостью должны обладать резцы. Боковые стенки коронки (наружные и внутренние) должны быть хорошо защищены подрезными резцами.

В крепких породах бурение осуществляется алмазными, дробовыми и в последнее время самозатачивающимися твердосплавными коронками. Для того чтобы обеспечить самозатачивание коронки, к тупым зубьям из мягкой стали припаивают тонкие лезвия твердого сплава (рис. 36, *а*). В процессе бурения мягкая сталь изнашивается быстрее твердого сплава, поэтому тонкое лезвие все время несколько выступает из зуба. Для усиления этого эффекта в зубе просверливают отверстия.

Для бурения в абразивных породах могут быть применены коронки, зубья (резцы) которых армированы зернами твердого литого сплава, сцементированными относительно мягким цементом (рис. 36, б). Такие коронки могут работать как самозатачивающиеся в крепких абразивных породах при относительно малой подаче промывочной жидкости при больших скоростях вращения и осевой нагрузке.

В табл. 12 приведены сравнительные данные расхода различных истирающих материалов на 1 м бурения по базальтам.

Т а б л и ц а 12

Расход истирающихся материалов на 1 м бурения по базальтам

Истирающие материалы	Алма- зы	Твердые сплавы	Дробь	
			сечка	чугунная
Расход истирающих материалов, г на 1 м . . .	0,1	4	2 500	12 000
Относительный	1	40	25 000	120 000

Из табл. 12 видно, что дробь чугунной истирается в 12 000 раз, а твердых сплавов в 40 раз больше, чем алмазов. Бурение чугунной дробью в крепких породах возможно только потому, что под торец коронки непрерывно подается дробь. Бурение твердыми сплавами в крепких породах можно осуществить в том случае, если коронки будут самозатачивающимися.

Рассмотренный процесс работы коронки в действительности протекает значительно сложнее. Коронка прижимается к забою упругой, вибрирующей колонной бурильных труб, поэтому она раскачивается, ослабляя или усиливая нажим на забой; пульсация насоса также усиливает вибрацию штанг и коронки.

При вращательном бурении в крепких и абразивных породах твердосплавные резцы быстро затупляются. Поэтому в крепких и абразивных породах чаще применяют алмазные коронки или дробовое бурение.

Твердосплавными коронками тоже можно успешно разрушать крепкие породы, если перейти на ударно-вращательный способ бурения.

При ударно-вращательном бурении вращение коронки производится с небольшой окружной скоростью при относительно небольшой осевой нагрузке. При этом одновременно наносят по коронке большое количество ударов.

Следовательно, при ударно-вращательном бурении разрушение породы происходит как за счет энергии ударов, так и за счет статических сил — осевого и окружного усилий.

Динамическая твердость породы ниже статической, поэтому при ударах происходит более эффективное разрушение породы.

В то же время работа трения при ударно-вращательном бурении играет меньшую роль, ибо статическое усилие (усилие подачи) и окружные скорости относительно невелики, поэтому затупление резцов при ударно-вращательном бурении происходит медленнее, чем при вращательном.

§ 2. БУРЕНИЕ КОРОНКАМИ, АРМИРОВАННЫМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ РЕЗЦАМИ

Около 70% всего объема разведочного колонкового бурения осуществляется коронками, армированными твердосплавными резцами. Все породы, относимые к I—VII категориям по буримости, бурятся твердосплавными коронками. Бескварцевые изверженные породы VIII и IX категорий тоже могут буриться твердыми сплавами (особенно коронками малых диаметров).

Для колонкового бурения применяются вольфрам-кобальтовые металло-керамические сплавы типа ВК, основой которых является карбид вольфрама — WC.

Сравнительная характеристика металло-керамических сплавов, применяемых в бурении, приведена в табл. 13.

Таблица 13

Характеристика металло-керамических сплавов

Марка сплава	Ориентировочный состав (без учета примесей), %		Физико-механические свойства		
	карбид вольфрама WC	кобальт Co	предел прочности на изгиб, кг/мм ²	удельный вес, г/см ³	твердость HRC не менее
ВК-6	94	6	120	14,6—15	88
ВК-8	92	8	140	14,4—14,8	87,5
ВК-15	85	15	165	13,9—14,1	86,0
ВК4В	96	4	135	14,9—15,1	88,0
ВК6В	94	6	140	14,6—15,0	88,0
ВК8В	92	8	155	14,4—14,8	87,5
ВК11В	89	11	160	14,1	86,0

Из табл. 13 видно, что твердые сплавы с индексом «В» обладают повышенной прочностью на изгиб.

Для колонкового бурения наиболее подходят сплавы ВК6В и ВК8В.

Для армирования буровых коронок выпускаются резцы различных конфигураций.

В короночное кольцо закрепляют объемные (торцовые) и подрезные резцы. Они припаиваются латунью. Основные резцы должны перекрывать торец и выступать за наружную и внутреннюю боковые поверхности корпуса коронки, а также возвышаться над торцом.

Величина выхода резцов за наружную и внутреннюю поверхности корпуса коронки принимается в зависимости от твердости пород, их устойчивости и скорости углубления. Для бурения в твердых породах резцы в коронке устанавливаются с таким расчетом, чтобы они выступали за наружную и внутреннюю поверхности на 0,5—1,0 мм, а над торцом — на 1,5—2,5 мм. Для

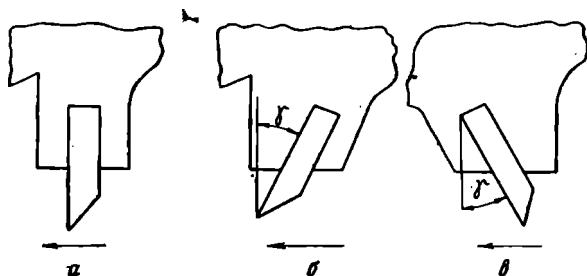


Рис. 37. Расположение резцов в торце коронки.
а — вертикальный; б — наклонное с положительным углом;
в — наклонное с отрицательным углом.

бурения мягких пород резцы должны выступать за боковые поверхности на 3—6 мм и возвышаться над торцом на 5—6 мм.

Выпуск резцов над торцом короночного кольца может быть одинаковым или ступенчатым. В зависимости от расположения резцов над торцом коронки забой скважины приобретает плоскую, одно- или многоступенчатую форму. Ступенчатая форма забоя обеспечивает более эффективное разрушение породы (см. рис. 35).

Относительно оси вращения коронки расположение резцов в торце короночного кольца может быть параллельным (рис. 37, а), наклонным в сторону вращения коронки с положительным передним углом (рис. 37, б) и наклонным — против направления вращения (отрицательным передним углом — рис. 37, в). При положительных углах резания наблюдается повышение скорости бурения в мягких породах, а при отрицательных — в твердых породах.

Рекомендуется применять резцы: а) с углом заострения 45—50° — для бурения нетрещиноватых пород I—IV категорий; б) с углом заострения 65° — для бурения пород V—VII категорий.

Резцы самозатачивающихся коронок не имеют начальных углов заострения и не затачиваются.

В настоящее время в основном применяются коронки, которые выбираются в зависимости от физико-механических свойств пород (табл. 14 и рис. 38).

Режим бурения этими коронками подбирается исходя из следующих соображений.

Основные типы коронок с резцами из твердых сплавов

№ группы	Конструкция коронки	Тип коронки	Область применения
1	Коронки с большим зазором между колонковым снарядом и стенкой скважины	КР-4 КР-5	Мягкие неустойчивые породы (глины, пески, мергели, мел и др.) Мягкие породы малой абразивности (пески, глины, суглинки, мел, мергель, слабо сцементированный песчаник, слабые алевролиты и глинистые сланцы, известняки)
2	Коронки с резцами, выбуривающими ступенчатый забой	СМ-1 (ГОСТ 11108—64), МР2НП-1 СМ-2 (ГОСТ 11108—64)	Горные породы малой и умеренной абразивности (известняки, доломиты, глинистые сланцы, алевролиты, аргиллиты, песчаники, амфиболиты, пироксениты, змеевики, перидотиты и др.) Монолитные породы умеренной и средней абразивности (известняки, доломиты, перидотиты, змеевики, аргиллиты, пироксениты, порфириты, и др.)
3	Коронки с самозатачивающимися резцами	СА (ГОСТ 11108—64), БТ-4, 1К-93-Т, БТ-45А	Породы средней абразивности (песчаники, песчаные сланцы, алевролиты, скарны, габбро, пироксениты, амфиболиты и др.)
4	Коронки для бурения трещиноватых пород	СТ-1, СТ-6 (ГОСТ 11108—64)	Породы средней абразивности, неоднородные и трещиноватые

Нагрузка на коронку задается, исходя из количества торцовых (объемных) резцов, их размеров и твердости пород (от 30 до 150 кГ на резец).

Общая нагрузка на коронку должна быть равна

$$C = tq \text{ кГ}, \quad (40)$$

где t — число объемных (торцовых) резцов; q — рекомендуемое давление на 1 резец в кГ/см².

Число оборотов коронки должно быть

$$n = \frac{60v_0}{\pi D_0} \approx \frac{20v_0}{D_0} \text{ об/мин}, \quad (41)$$

где $D_0 = \frac{D_n + D_v}{2}$ — средний диаметр коронки в м; v_0 — окружная скорость коронки, которая при бурении твердыми сплавами принимается в пределах 0,6—1,2 м/сек.

Подача промывочной жидкости определяется, исходя из скорости восходящего потока $v_n = 0,3 \div 0,5$ м/сек [см. формулу (35)]. Чем больше скорость бурения, тем больше v_n .

В трещиноватых и абразивных породах надо уменьшать окружную скорость вращения твердосплавной коронки.

В настоящее время внедряются следующие новые типы коронок.

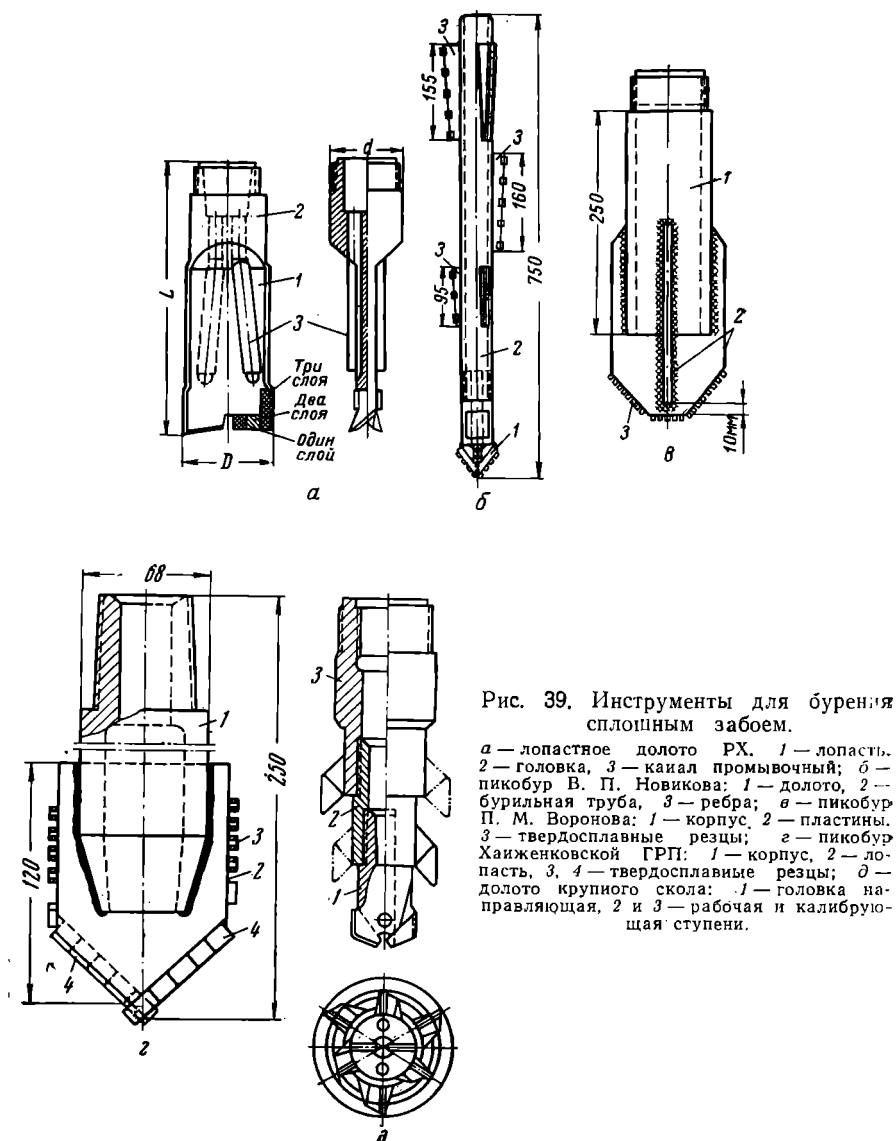


Рис. 39. Инструменты для бурения сплошным забоем.

а — лопастное долото РХ. 1 — лопасть, 2 — головка, 3 — канал промывочный; б — пикобур В. П. Новикова: 1 — долото, 2 — бурильная труба, 3 — ребра; в — пикобур П. М. Воронова: 1 — корпус, 2 — пластины, 3 — твердосплавные резцы; г — пикобур Хайженковской ГРП: 1 — корпус, 2 — лопасть, 3, 4 — твердосплавные резцы; д — долото крупного скола: 1 — головка направляющая, 2 и 3 — рабочая и калибрующая ступени.

1. Коронка твердосплавная 1К-93Т (КН-1) самозатачивающаяся с усиленной калибровкой и неперекрытым забоем, предназначенная для бурения абразивных пород VI—VIII категорий. По сравнению с серийной коронкой БТ-4 она дает увеличение

механической скорости бурения на 25% и увеличение проходки на коронку на 30—35%.

2. Коронка СТ-6 предназначена для бурения трещиноватых пород V—VII категорий. По сравнению с коронками СТ-1 она увеличивает скорость бурения на 30% и проходку на коронку на 70%.

3. Мелкорезцовые твердосплавные коронки типов 1НМ и 16НА предназначены для бурения пород IV÷VI и VI÷VII категорий соответственно. Эти коронки должны заменить коронки СМ-2 и превосходят последние по износостойкости на ~40% и по механической скорости на 30—35%.

Если не требуется извлекать керн, то в мягких породах целесообразно применять бурение сплошным забоем с помощью долот РХ и пикобуров. В породах I—III категорий можно применить лопастное долото типа РХ (рис. 39, а). Это долото изготовляют из углеродистой стали, лопасти и ребра этого долота укрепляют твердым сплавом.

Лезвие долота РХ заправляют под углом резания 80—85°.

В породах III—V категорий эффективно бурят долотами типа пикобуров, режущие и боковые кромки которых армируют заточенными твердосплавными резцами. На рис. 39, б, в, г и д показаны различные типы пикобуров, успешно применявшихся при детальной разведке угольных месторождений. При бурении долотами типа РХ и пикобурами придерживаются следующих параметров режима бурения.

1. Количество подаваемой жидкости подбирается по формуле (35), при этом скорость восходящего потока должна быть не менее 5 *дм/сек*.

2. Скорость вращения долота 150—250 *об/мин*.

3. Осевая нагрузка подбирается по формуле

$$C = qD, \quad (42)$$

где *D* — диаметр долота в *см*; *q* — нагрузка на 1 *см* диаметра долота.

Обычно принимают *q* в пределах от 50 до 150 *кг/см*. Чем крепче порода, тем больше *q*.

При бурении сплошным забоем нагрузка на долото может достигать величины 2,0—2,5 *Т*. Чтобы не искривить скважину, необходимо между долотами и колонной бурильных труб устанавливать УБТ.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЯ АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ

Общие сведения

В Советском Союзе до 1960 г. алмазное бурение было мало распространено. В крепких породах VII—XII категорий в основном применяли дробовое бурение. В 1958 г., с началом добычи

якутских алмазов, появилась возможность внедрения мелкоалмазных буровых коронок в практику геологоразведочных работ.

В 1959 г. алмазным бурением было пройдено около 30 тыс. м разведочных скважин. В 1965 г. объем алмазного бурения повысился до 770 тыс. м. В 1966 г. алмазными коронками было пробурено свыше 1 млн. м. Алмазным способом начали бурить нижние интервалы глубоких разведочных скважин на уголь, нефть и газ.

К 1970 г. намечено резко сократить объемы малопроизводительного дробового бурения и проходить разведочные скважины в твердых породах в основном алмазным способом.

1. Физико-механические свойства алмазов

Алмаз — минерал, состоящий из чистого углерода. Часто в алмазах встречаются примеси окислов железа, алюминия, кремния, магния, кальция, титана и ряда других минералов, что придает алмазам определенную окраску. Алмазы кристаллизуются в кубической сингонии и встречаются в виде кубов, октаэдров и ромбододекаэдров. Кристаллы часто имеют округлые грани. Удельный вес прозрачных и хорошо окристаллизованных алмазов в среднем равен 3,50—3,55. У пористых кристаллов удельный вес колеблется от 3,0 до 3,45. По шкале Мооса алмаз занимает десятое место, а карбид вольфрама примерно девятое. Однако способность алмаза противостоять истиранию во много раз превышает стойкость корбида, вольфрама и корунда.

За единицу веса алмаза принят метрический карат — 0,2 грамма. В природе очень редко встречаются крупные алмазные камни, весящие сотни каратов. В технике обычно находят применение мелкие алмазы весом от одного до сотых долей карата.

Алмаз стоек к химическим воздействиям. Самые сильные кислоты и щелочи при обычной температуре не действуют на алмаз. Однако при температуре свыше 600—700°С в щелочной среде алмаз способен растворяться.

Алмаз сгорает при высокой температуре в присутствии кислорода. При высокой температуре в отсутствии кислорода алмазы графитизируются.

3. Классификация алмазов по группам

Алмазы классифицируются на следующие группы: 1) ювелирные алмазы; 2) технические борты; 3) черные алмазы или карбонадо; 4) балласы; 5) синтетические алмазы.

Ювелирные алмазы

Ювелирные алмазы представляют собой прозрачные свободные от трещин, включений и изъянов камни, так называемые алмазы «чистой воды».

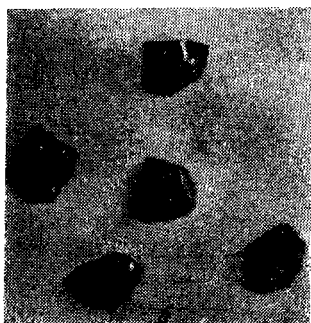
Ювелирные алмазы обрабатываются по определенной форме огранки, известной под названием «бриллиант». Камень должен быть огранен так, чтобы большая часть вошедших в него лучей света не прошла насквозь, а вернулась обратно, многократно преломившись в его гранях, благодаря чему возникает бриллиантовый блеск.

Технический борт

Очень высокая твердость алмазов сорта борт (синоним — борте), его сравнительно низкая стоимость обусловили широкое применение его в бурении и других областях техники. В настоящее время не менее 95% общего объема алмазного бурения выполняется алмазами сорта борт.



a



б

Рис. 40. Технические алмазы.

a — борты; *б* — карбонадо.

Для алмазов сорта борт характерны совершенная спайность и не заметная для невооруженного глаза трещиноватость. По этой причине борты не могут выдерживать значительные давления и удары. Общий вид бурового борта приведен на рис. 40, *a*.

По своим физическим свойствам к бортам близки алмазы типа «Конго», добываемые в Конголезской республике (Киншас).

Алмазы «Конго» состоят из мельчайших кристалликов или частиц алмазов неправильной формы. Первоначально алмазы «Конго» находили применение только в импрегнированных коронках и шлифовальных кругах. В последние годы они стали применяться для изготовления однослойных алмазных коронок и долбт.

Черные алмазы — карбонадо (синоним — карбонаты) добывают в Бразилии только из россыпных месторождений. Карбонадо состоят из очень мелких кристаллов, расположенных в общей массе алмаза в беспорядке (рис. 40, *б*). Удельный вес карбонадо колеблется от 2,90 до 3,45. Такие значительные колебания удельного веса объясняются его пористостью.

Наилучшими для бурения считаются карбонадо с удельным весом от 3,3 до 3,40.

Карбонадо отличаются высокой стойкостью к истиранию и ударным нагрузкам. Камни с сильным смоляным блеском обладают наивысшей твердостью, а алмазы сажисто-черного цвета, без блеска менее тверды.

Для бурения применяются натуральные и колотые карбонадо. Камни с прочной эмалевой оболочкой хорошо работают до ее истирания. Применяются карбонадо только в однослойных коронках ручной чеканки.

Карбонадо иногда подвергают искусственному улучшению — обкатыванию на специальных машинах для придания им округлой формы. Такие камни называются «тестед».

Балласы

Они имеют сферическую форму без плоскостей спайности. Очень твердая оболочка, равномерно окружающая центральное крупнокристаллическое ядро, обуславливает высокую твердость балласа. После истирания оболочки камень быстро разрушается. Балласы применяются в алмазных расширителях и однослойных коронках в качестве подрезных алмазов.

Синтетические алмазы

В Советском Союзе синтетические алмазы были получены впервые в 1961 г. В настоящее время ряд заводов освоил их массовое производство, что позволило высвободить значительную часть естественного алмазного сырья для применения в буровых коронках и обеспечило значительное увеличение объемов алмазного бурения. Ведутся опытные работы по выявлению возможности применения синтетических алмазов для изготовления импрегнированных буровых коронок.

После выпуска институтом сверхтвердых материалов (синтетических алмазов марки АСКС) были изготовлены импрегнированные коронки с очень мелкими алмазами (до 10 000 зерен на 1 карат). Эти коронки в породах X категории по буримости дали механическую скорость 1,5—2 м/ч при проходке на коронку до 12—13 м.

Алмазы — карбонадо и балласы в бурении почти не применяются вследствие высокой их стоимости и сравнительно ограниченного распространения в недрах. Наиболее широкое применение в бурении имеют алмазы сортов борт.

Результаты исследований прочности бортов показали следующее:

1) наибольшую прочность при статическом сжатии имеют округлые октаэдры, шпинелевые двойники октаэдров и ромбододекаэдры округлоступенчатые;

2) наибольший предел прочности алмазов при ударе имеют округлые алмазы и шпинелевые двойники октаэдров;

3) плоскогранные остросереберные октаэдры имеют значительно меньший предел прочности на раздавливание и удар;

4) опыты по раздавливанию поврежденных и трещиноватых кристаллов с включениями показали, что их прочность снижается почти в 2 раза по сравнению с прочностью целых кристаллов;

5) имеется общая тенденция к повышению удельной прочности кристаллов алмазов с уменьшением их зернистости.

Алмазы борт имеют в различных направлениях различную твердость. Интересно отметить следующее:

1) в промышленных коронках, армированных бортами, при вставке которых не соблюдалась ориентировка камней по вектору наибольшей твердости, около 45% алмазов оказываются ориентированными по этому вектору;

2) алмазы, ориентированные в направлении вектора наибольшей твердости, значительно меньше изнашиваются.

Опыт фирм «Спрэг» и «Хенвуд» показал, что ориентированная вставка алмазов в коронки практически возможна. При вставке алмазов применялся способ ориентирования, разработанный Горным бюро США. Результаты испытаний коронок с ориентированными и неориентированными алмазами показали, что проходка на коронку с ориентированными алмазами увеличивается на 38%, скорость бурения — на 40%, а стоимость 1 м снижается на 37%. Ориентация алмазов по вектору наибольшей твердости неприменима к карбонатам и балласам.

3. Исследования буровых свойств алмазов низких сортов

В общей массе добываемых алмазов содержание алмазов высоких сортов очень невелико. В то же время количество добываемых алмазов, относимых к низким сортам, может удовлетворить потребности в сырье для буровых целей.

Учитывая это обстоятельство, были начаты работы по изучению возможностей использования низкосортных алмазов для бурения.

Алмазный борт этой группы представлен в большей части обломками кристаллов, поврежденными кристаллами, и в небольших количествах в нем встречаются целые кристаллы. Прочность поврежденных кристаллов борта ниже на 50—60%.

Испытания показали, что низкосортные алмазы можно применять для бурения скважин, но при этом повышается на 50% расход алмазов, а скорость бурения существенно не меняется. На основании этих работ Министерство геологии СССР приняло решение о широком применении для армирования коронок алмазов низших сортов. С сентября 1962 г. приступили к выпуску алмазных коронок, армированных «объемными» низкосортными алмазами. Для «подрезных» камней применялись высококачественные алмазы. Проходка на коронку, армированную объемными низкосортными алмазами, составляла в среднем 13 м, а на коронку, армированную алмазами I сорта, — 17,2 м.

4. Улучшение буровых свойств низкосортных алмазов

Применение в коронках низкосортных алмазов в качестве «объемных» камней позволило значительно расширить объемы алмазного бурения в СССР и получить большой экономический эффект. Вместе с тем в этих алмазных коронках для «подрезных» камней применялись алмазы высокого сорта. В среднем для изготовления таких комбинированных коронок необходимо было около 35% высококачественного и 65% низкосортного алмазного сырья.

Учитывая дефицит буровых алмазов высокого качества, были начаты исследовательские работы по разработке методов повышения буровых свойств низкосортных алмазов для применения их не только в качестве «объемных», но и «подрезных».

Сотрудниками лаборатории ВИТР К. П. Бавриным, Н. И. Корниловым, А. Л. Николасом, Б. К. Руцаковым была предложена оригинальная конструкция установки для овализации алмазов, послужившая основой для создания заводской установки УОА-2 ВИТР.

Принцип действия установки основан на использовании центробежной силы, которая возникает при прохождении воздуха через кольцеобразную камеру. Под воздействием этой силы алмазам, помещенным в камеру, придается интенсивное вращательное движение. Скорости движения алмазов несколько различаются в зависимости от веса зерен и их положения в кольцевой камере. Благодаря этому алмазы ударяются друг о друга и о стенки камеры, вследствие чего трещиноватые камни раскалываются по трещинам, включениям или прочим дефектам, а острые углы, вершины и выступы на алмазах сглаживаются. В результате происходит принудительная отсортировка алмазов по качеству и, кроме того, алмазы приобретают округлую форму, которая более удобна при армировании коронок и более стойка к динамическим воздействиям. Внешний вид овализованных алмазов и их исходного алмазного сырья представлен на рис. 41.

Полученные таким способом алмазы имеют матовую поверхность с грубыми следами механической обработки. Овализованные алмазы почти не просматриваются на свет. При длительной обработке можно получить идеальную шаровую форму, при кратковременной — слегка округленную.

Сравнительные испытания коронок, армированных овализованными алмазами, показали следующие результаты.

Средняя проходка на коронку составила:

- 1) для коронок, армированных только овализованными алмазами, 14,2 м;
- 2) для коронок, армированных овализованными алмазами в качестве «подрезных», 21,1 м.

В тех же условиях средняя проходка серийных коронок, армированных необработанными алмазами высоких сортов в ка-

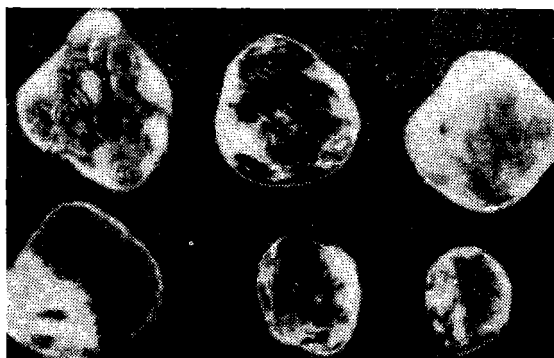
честве «подрезных» и низкосортными в качестве «объемных», составила 17,6 м.

В соответствии с полученными результатами испытаний можно сделать следующие выводы:

1) овализованные алмазы можно применять для армирования коронок в качестве «подрезных» взамен алмазов первого сорта;



а



б

Рис. 41. Борты второго сорта.

а — до обработки; б — после овализации.

2) применение коронок, армированных «подрезными» овализованными алмазами, увеличивает их стойкость в среднем на 32% по сравнению с серийными коронками;

3) расход алмазов при бурении опытными коронками, армированными овализованными алмазами, ниже расхода алмазов серийных коронок, отработанных в тех же условиях, на 10%;

4) наилучшие результаты показало применение коронок, армированных овализованными алмазами со средней степенью обработки.

5. Типы алмазных коронок

В настоящее время в Советском Союзе выпускаются мелко-алмазные буровые коронки следующих типов: однослойные, трех-слойные; импрегнированные; бескерновые коронки (долото) вогну-того типа.

Алмазная буровая коронка состоит из твердосплавной матрицы, армированной алмазами, и стального корпуса с резьбой, которые прочно соединяются друг с другом в процессе изготовления ко-ронки. На внутренней стороне резьбовой части имеется кони-ческая расточка под рвательную пружину, а на наружной части корпуса имеется ряд засверленных отверстий под штифто-вый ключ.

Основные размеры алмазных буровых коронок, выпускаемые в СССР, приведены в табл. 15.

Т а б л и ц а 15

Основные размеры алмазных буровых коронок, выпускаемых в СССР

Номинальный диаметр коронки, мм	Количество промывочных канавок	Основные размеры коронок, мм	
		наружный диаметр	внутренний диаметр
36	2	$36 \pm 0,2$ 0,1	$22 \pm 0,1$
46	4	$46 \pm 0,2$ 0,1	$31 \pm 0,1$
59	4	$59 \pm 0,2$ 0,1	$42 \pm 0,1$
76	6	$76 \pm 0,2$ 0,1	$59 \pm 0,1$
93	8	$93 \pm 0,2$ 0,1	$73 \pm 0,1$

По своему назначению алмазы в коронке разделяются на «объемные», производящие разрушение породы по торцу, и «под-резные», калибрующие скважину, уменьшающие износ коронки по диаметру.

А. Однослойные алмазные коронки

В однослойной коронке алмазы располагаются по торцу в один слой (рис. 42, а). Боковые поверхности (внутренние и на-ружные) армируются подрезными алмазами. В процессе бурения алмазы, расположенные по торцу, изнашиваются, вследствие чего скорость бурения постепенно снижается. Рациональной областью применения однослойных алмазных коронок являются породы VI — X категорий по буримости. Однослойные коронки армиру-ются алмазами зернистостью от 10 до 60 штук на карат. В настоя-щее время в СССР выпускаются однослойные коронки без выступа

алмазов (01А3 и 01А4) и с заданным выпуском алмазов МВС-1, МВС-2 и МВП-1 и МВП-2. В коронку диаметром 46 мм вставляют около 6,5—7 карат алмазов, в коронку диаметром 59 мм — 9—10 карат, в коронку диаметром 76 мм — 13—14 карат. Примерно 2/3 алмазов — объемные (торцевые) и 1/3 — подрезные.

Нормальная твердость матрицы HRC 20—25 (коронки типа 01А3). Для бурения в абразивных породах применяются коронки типа 01А4 с повышенной твердостью матрицы HRC = 30—35.

Однослойные алмазные коронки с выступающими алмазами находятся в стадии освоения. Изготовление этих коронок осуществляется вибропрессованием матрицы в графитовых пресс-формах. По ходу вращения коронки за каждым алмазом расположен каплевидный выступ*, предохраняющий выступающий алмаз от скалывания. Подрезные алмазы располагаются в продольных ребрах на боковых поверхностях матрицы. Промывочные канавки выполнены в виде косых прорезей. Твердость матрицы HRC = 20—25 (стандартная).

Общий вид коронок с выступающими алмазами показан на рис. 43.

Кроме перечисленных завод алмазных инструментов выпускает коронки типа ЗАИ-121, у которых передняя набегающая часть сектора матрицы армируется более высококачественными алмазами.

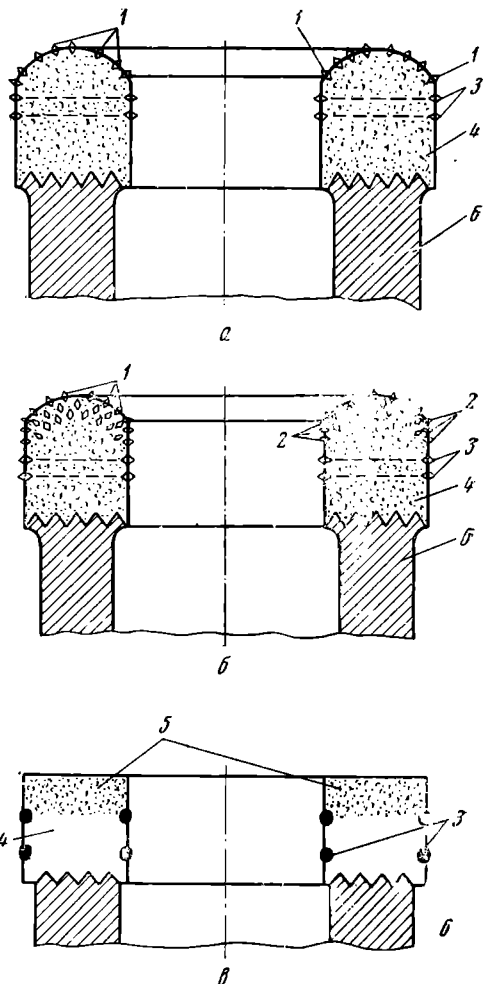


Рис. 42. Типы алмазных коронок.

а — однослойные; б — многослойные; в — импрегнированные. 1 — объемные алмазы, 2 — объемные алмазы второго и третьего слоев многослойных коронок, 3 — подрезные алмазы, 4 — матрица, 5 — матрица, насыщенная алмазами, 6 — стальной корпус коронок.

* Из материала матрицы.

Промывочная система представляет собой косые прорезы между секторами матрицы.

В настоящее время ведутся работы по внедрению новых типов коронок с выступающими алмазами — коронки типа АКМ и МВС-2Р.

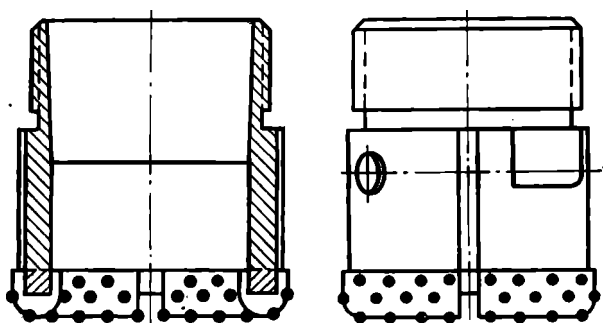


Рис. 43. Однослойная коронка с выступающими алмазами.

Б. Многослойные алмазные коронки

Многослойные алмазные коронки отличаются от однослойных тем, что в них торцевые алмазы располагаются в несколько слоев, причем по мере износа первого слоя в работу вступают алмазы следующего слоя и т. д. Такая конструкция обеспечивает большую равномерность механической скорости бурения. Внутренняя и наружная поверхности матрицы армируются «подрезными» алмазами. На рис. 42, б показана схема трехслойной алмазной коронки. Рациональной областью применения многослойных коронок являются породы X—XI категорий по буримости. Многослойные коронки по торцу армируются алмазами зернистостью от 60 до 120 штук на карат, а по боковым поверхностям — от 30 до 40 штук на карат.

Подрезных алмазов в многослойные коронки вставляют примерно в 2,5 раза меньше, чем объемных (по весу). Матрица имеет твердость $HRC=20-25$, для более абразивных пород $HRC=30-35$.

В. Импрегнированные коронки

В импрегнированной коронке торцевые алмазы располагаются без какой-либо определенной схемы. Зернистость применяемых в них алмазов колеблется от 120 до 400 штук на карат. В процессе изготовления «объемные» алмазы равномерно перемешиваются с материалом матрицы, после чего прессуются и спекаются. Крупность подрезных алмазов в импрегнированных коронках колеблется от 30 до 60 штук на карат. Схема импрегни-

рованной коронки показана на рис. 42, в. В настоящее время в СССР выпускаются три типа импрегнированных коронок О2ИЗ, О2И4 и О3И5 с твердостью матрицы соответственно 20—25; 30—35; 50—55. В импрегнированную коронку диаметром 46 мм вставляется 7—8 карат алмазов, диаметром 59 мм — ~12 карат, диаметром 76 мм — 16—17 карат. Подрезные алмазы составляют ~30% по весу.

Ведутся опытные работы по созданию импрегнированных коронок с зернистостью алмазов от 500 до 1000 штук и более на карат, причем именно в этих импрегнированных коронках применяются синтетические алмазы. Кроме того, разрабатываются коронки с мягкой матрицей ($HRC=15-20$) и с очень мягкой матрицей ($HRC \cong 10$) для бурения в очень твердых, небразивных породах.

В последние годы институт ВНИИалмаз разработал новую технологию изготовления импрегнированных коронок с «гранулированными алмазами», которая заключается в том, что алмазные зерна покрываются слоем порошкообразных твердых сплавов, входящих в состав шихты. Такие «гранулы» укладываются в специальную прессформу и далее прессуются и спекаются. Такая технология обеспечивает равномерное распределение алмазов в матрице, так как толщина порошкового слоя получается одинаковой.

6. Алмазные долота для бескернового бурения

Алмазные долота предназначены для бурения геологоразведочных скважин без отбора керна. В настоящее время в СССР

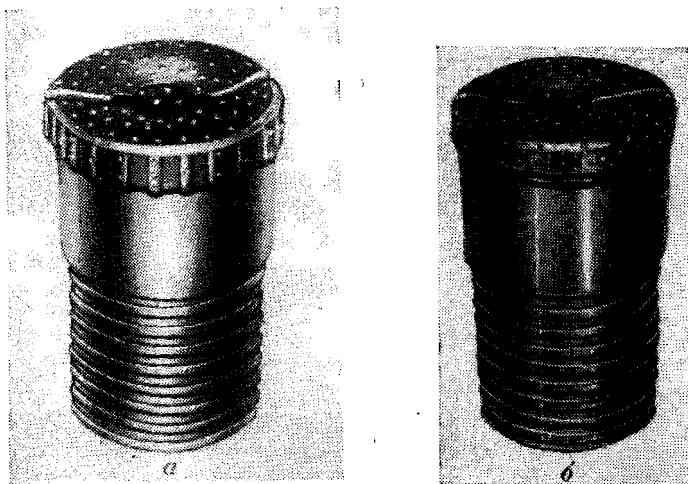


Рис. 44. Алмазные долота.

а — МПС-I; б — МПС-II.

выпускаются два типа алмазных долот — МЦС-I и МЦС-II диаметром 46 мм. Долота типа МЦС-I — однослойные, с заданным выпуском алмазов. «Подрезные» алмазы расположены в ребрах на наружной поверхности матрицы.

Долота МЦС-II — импрегнированные с «объемными» алмазами, равномерно распределенными по рабочей части матрицы.

Центральная часть долота имеет отверстия диаметром 12 мм, армированное «подрезными» алмазами, для прохождения тонкого керна. Наличие отверстия ликвидирует так называемую «мертвую точку», в которой окружная скорость вращения равна нулю. Твердость матрицы в долотах равна HRC=25—30.

Долота имеют 2 промывочных канала.

Однослойные алмазные долота МЦС-I предназначены для бурения горных пород VIII—IX категорий по буримости. Импрегнированные долота МЦС-II предназначены для бурения горных пород IX—XI категорий по буримости. На рис. 44 показан общий вид алмазных долот типа МЦС-I и МЦС-II. В долото МЦС-I вставляется 10—11 карат алмазов зернистостью 20—30 зерен на карат. В импрегнированное долото МЦС-II вставляется 25—28 карат, из них «объемные» алмазы зернистостью 100—150 штук на карат и «подрезные» 20—30 штук на карат.

7. Алмазные калибровочные расширители

Калибровочные расширители предназначены для сохранения диаметра скважины в процессе бурения. Применение их предохраняет износ алмазных коронок по наружному диаметру, стабилизирует работу коронки на забое, снижает вибрацию. Расширитель представляет собой стальной цилиндр, армированный специальными штабиками с алмазами. Длина штабика составляет 40 мм. Корпус расширителя имеет на нижнем конце внутреннюю резьбу под коронку, а на верхнем конце — наружную резьбу под колонковую трубу.

Для армирования расширителей применяются алмазы высшего качества зернистостью 10—30 штук на карат. На рис. 45 показан мелкоалмазный калибровочный расширитель РМВ.

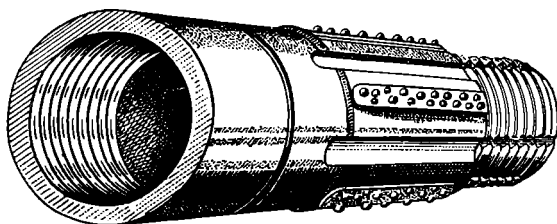


Рис. 45. Алмазный калибровочный расширитель (общий вид).

8. Колонковые трубы

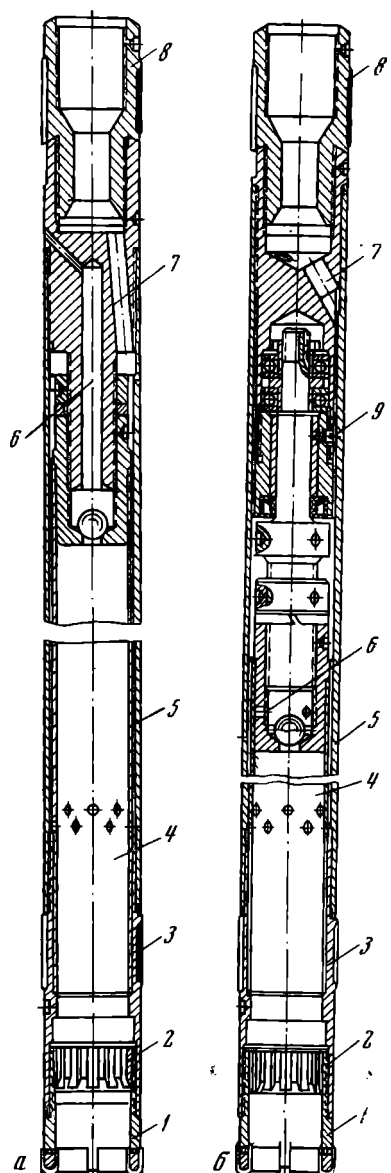
Колонковые трубы для алмазного бурения разделяются на одинарные и двойные с вращающейся и невращающейся внутренней трубой.

Одинарные колонковые трубы рационально применять только при бурении монолитных пород, дающих высокий выход керна. В СССР до последнего времени при алмазном бурении не применялись двойные колонковые трубы. С 1967 г. заводы Министерства геологии СССР начали выпуск двойных колонковых труб.

Двойные колонковые трубы с вращающейся внутренней трубой являются основным видом инструмента (рис. 46, а). Областью применения их являются монолитные породы средней твердости и трещиноватые твердые породы. Применение таких труб обеспечивает уменьшение размыва керна, так как промывочная жидкость омывает его только на небольшом участке (от нижнего конца внутренней трубы до забоя). Кроме того, за счет возникающего восходящего потока промывочной жидкости облегчается вхождение керна во внутреннюю трубу, уменьшаются самозаклинивание и увеличивается проходка за рейс.

Рис. 46. Двойные колонковые трубы для алмазного бурения.

а — с вращающейся керноприемной трубой;
б — с невращающейся керноприемной трубой;
1 — алмазная коронка, 2 — кернорасширитель, 3 — алмазный расширитель, 4 — внутренняя керноприемная труба, 5 — наружная колонковая труба, 6 — канал для отвода жидкости из керноприемной трубы, 7 — канал для ввода промывочной жидкости в кольцевой зазор между трубами, 8 — переходник на штанги, 9 — подвесное (вертлюжное) устройство.



Двойные колонковые трубы с невращающейся внутренней трубой предназначены для бурения алмазами в рыхлых и разрушенных твердых породах, а также переслаивающихся породах различной твердости. Применение их обеспечивает сохранение керна при бурении, снижение возможности самозаклинки, увеличение проходки за рейс и повышение выхода керна.

9. Кернорватели

До последнего времени алмазное бурение велось без кернорвателей. Заклинивание кернов в колонковых трубах производилось битыми стеклом или фарфором. Такой способ заклинивания требует много времени, особенно при глубоком алмазном бурении. Иногда плохо заклиненный керн выпадал при подъеме, на извлечение или разрушение его затрачивалось много труда и времени.

В последнее время Всесоюзным научно-исследовательским институтом методики и техники разведки (ВИТР) разработана конструкция и технология изготовления надежных кернорвательных колец.

Как показали испытания, работоспособность кернорвателей составила от 10 до 35 м, в зависимости от абразивных свойств горных пород. Применение кернорвательных устройств позволило снизить время на заклинивание керна до 1 мин, тогда как при использовании для этого битого стекла, фарфора и т. п. и время на осуществление операции заклинки составляло от 10 до 40 мин в зависимости от глубины скважины.

10. Технология бурения алмазными коронками

Алмазные коронки имеют небольшой диаметр, поэтому бурильные трубы должны иметь ниппельные соединения.

Для коронок диаметром 36 и 46 мм применяются штанги диаметром 33,5 и 42 мм соответственно; для коронок 59 и 76 мм — диаметром 50 мм.

Коронка, колонковая труба, переходник и нижние штанги должны быть после свинчивания соосны и прямолинейны. При бурении в крепких породах между коронкой и колонковой трубой необходимо включать алмазный расширитель (см. рис. 45 и 46) для калибровки ствола. Это уменьшит время на разбуривание скважины и увеличит работоспособность алмазной коронки.

Для борьбы с искривлением скважины рекомендуется ставить второй алмазный расширитель между колонковой трубой и переходником.

В процессе бурения у алмазной коронки уменьшается наружный диаметр, а внутренний диаметр увеличивается. Следовательно, увеличивается и диаметр керна. Поэтому, прежде чем опускать в скважину новую, еще не работавшую коронку, необходимо предварительно проработать забой скважины крестовым

долотом для того, чтобы разрушить оставшийся керн. Если не провести такой операции, внутренние алмазы коронки могут быть разрушены керном. При бурении бескерновыми коронками эта операция отпадает.

Спуск инструмента с алмазной коронкой следует производить без толчков и ударов, чтобы не повредить алмазов. Новую, еще не работавшую коронку надо спускать особенно осторожно, при спуске наблюдать, не зажимается ли новая коронка в суженной внизу скважине. Если коронка защемляется, надо приподнять ее и приступить к разбуриванию скважины — иначе можно сколоть наружные алмазы. Коронку на забой необходимо ставить осторожно, без толчков и ударов.

По данным зарубежной практики, бурение мелкоалмазными коронками диаметром 46 и 36 мм можно вести при 700—1500 об/мин. При больших скоростях вращения колонна бурильных труб может сильно вибрировать, что снижает стойкость алмазной коронки. Для уменьшения вибрации бурильные трубы снаружи смазываются специальным густым составом, содержащим канифоль, нигрол, животный жир и др.*. С увеличением крепости и абразивности породы число оборотов коронки уменьшается. При глубоком бурении скорость вращения снижается до 150—250 об/мин.

При постановке на забой новой коронки дают вначале небольшое осевое усилие (150—200 кг) и малую скорость вращения; по мере приработки алмазов в коронке в течение 10—15 мин нагрузку на коронку и число оборотов ее повышают до нормальных. Осевое усилие на коронку чаще всего доводят до 600—1000 кг.

Бурение ведут не до полного износа коронки, а до снижения скорости бурения до 1,5—2 см/мин.

При наполнении колонковой трубы керном инструмент поднимают. Над коронкой помещают кернорватель, который срывает керн от забоя (см. рис. 46). Поднятая коронка отвертывается и осматривается. Керн из колонковой трубы извлекается.

Алмазную коронку следует заменить в случае: а) механического повреждения коронки; б) появления на торце коронки круговых борозд вследствие отсутствия полного перекрытия рабочего торца алмазами; в) сильного оголения алмазов; г) износа коронки по диаметру.

Износившиеся алмазные коронки отправляют на завод, где матрицу растворяют в соответствующих кислотах и отбирают пригодные для бурения алмазы, которые вторично используются в коронках.

При бурении отечественными алмазными коронками скорость вращения принимается в пределах 250—500 об/мин. Осевая нагрузка принимается из расчета от 40 до 100 кг на 1 см² рабочего

* Хороший результат дает антивибрационная смазка, содержащая канифоль 25%, нигрола 70%, олеина 5%.

торца коронки в зависимости от насыщенности торца коронки алмазами.

Промывка должна обеспечивать хорошее охлаждение алмазов, так как они при сильном нагреве портятся. Скорость восходящего потока между колонной штанг и стенками скважины должна быть не менее 0,6—0,8 м/сек.

11. Зарубежный опыт алмазного бурения

В зависимости от буримости горных пород применяются однослойные или импрегнированные буровые коронки.

Важной особенностью мелкоалмазной коронки является весьма малый зазор между поверхностью матрицы и породой забоя скважины. Величина этого зазора зависит от величины выступа алмазов из матрицы, которая для зарубежных однослойных коронок составляет от 0,32 мм (при 10 алмазах на карат) до 0,16 мм (при 100 алмазах на карат). Величина зазора в процессе бурения всегда меньше величины выступа алмазов вследствие их проникновения в породу.

В этих условиях особое значение для производительности бурения имеет быстрота очистки забоя от бурового шлама, и этот фактор в менее крепких породах даже превалирует над фактором собственно разрушения породы.

Однослойные коронки за рубежом применяются преимущественно в породах, более или менее однородных, монолитных или слаботрещиноватых, легко разбуриваемых алмазами, — глинистых сланцах, известняках, мергелях, мраморах, доломитах, кристаллических изверженных и метаморфических породах (сиениты, габбро, базальты, порфириды, граниты, гнейсы, пегматиты и др.).

Импрегнированные коронки применяются в породах, которые трудно разбуриваются алмазами, обуславливая низкую механическую скорость бурения и большой расход алмазов. К таким породам относятся: конгломераты, валунно-галечные отложения, твердые дробленые породы в зонах смятия, монолитные железистые кварциты, яшмы, такониты, джеспилиты и другие весьма твердые породы.

А. Для производительного бурения **однослойные коронки** должны иметь следующие конструктивные особенности:

а) матрица — литая или изготовленная методами порошковой металлургии, твердость (в зависимости от степени абразивности шлама) HRC = 15—25; 25—35; 35—45; 45—55.

Чем абразивней порода, тем тверже должна быть матрица:

б) величина алмазов выбирается в зависимости от твердости породы, ее физического состояния (трещиноватость, выветренность), зернистости, а также глубины и диаметра скважины. Чем тверже порода, тем мельче должны быть алмазы. Для бурения

глубоких скважин обычно применяются более крупные алмазы. Коронки больших диаметров армируются более крупными алмазами.

1. Величина выступа алмазов из матрицы должна быть максимальной — до 25% их диаметра. Для бурения трещиноватых пород крепких пород рекомендуются коронки с меньшим выступом алмазов из матрицы — до 10% их диаметра.

2. Размещение алмазов в рядах сгущенное, с расчетом полного перекрытия всей ширины торца каждым рядом алмазов. Размещение рядов алмазов, наоборот, разреженное, для обеспечения свободного выноса выбуренных частиц.

3. Сорт алмазов выбирается в зависимости от абразивности шлама данной породы, т. е. ее способности изнашивать алмазы. Для бурения более твердых пород применяются алмазы лучшего сорта (округленные, блестящие октаэдры и додекаэдры, без трещин, пятен и включений). В менее твердых породах применение округленных высокосортных или овализованных алмазов нецелесообразно: несмотря на больший срок службы коронок, они обходятся дороже, а скорость бурения ими ниже.

4. Количество и геометрия промывочных канавок коронок должны обеспечивать свободный вынос максимального количества шлама с забоя за единицу времени или за один оборот коронки, так как в мягких породах этот фактор определяет величину механической скорости бурения. Число промывочных канавок для коронок разных диаметров изменяется от 4 (для коронки 38 мм) до 12 (для коронки 76 мм). Но в очень твердых породах однослойные коронки с нормальным выступом алмазов из матрицы иногда не имеют промывочных канавок. При бурении в сложных условиях число промывочных канавок устанавливается опытным путем.

5. Профиль рабочего торца коронки выбирается в зависимости от конкретных условий. Для пород с низким выходом керна (мягкие породы и породы с перемежаемостью твердых и мягких прослоев) рекомендуются коронки с профилем торца в форме купола или полукупола; для хрупких, слабосвязанных и размываемых пород — коронки ступенчатого профиля с выводом промывочных каналов на режущую поверхность верхней ступени торца. При бурении глубоких скважин применяется закругленный профиль торца, причем радиус закругления должен быть равен примерно половине толщины стенки коронки. Такой же профиль придается коронкам большого диаметра.

Б. Импрегнированные коронки первоначально предназначались для бурения в очень крепких ожеженных трещиноватых породах и в слабосвязанных конгломератах, в которых однослойные коронки очень быстро выходили из строя. В последнее время за рубежом специалисты считают, что импрегнированные коронки можно применять в любых породах, если абразивные свойства их достаточны для истирания матрицы. Импрегнированные коронки

успешно применяются в кристаллических сланцах, амфиболитах, сиенитовых порфирах и других породах средней крепости.

Износ матрицы импрегнированной коронки в процессе бурения должен несколько опережать износ алмазов таким образом, чтобы по мере их срабатывания своевременно обнажались новые острия. Задача подбора импрегнированной коронки сводится к выбору матрицы такой износостойкости, чтобы степень износа алмазов и матрицы была одинаковой. В более твердых породах алмазы изнашиваются быстрее. Но, с другой стороны, шлам твердых пород малоабразивен, количество его мало и абразивное действие шлама на матрицу в более твердых породах слабее, чем в менее твердых. Поэтому для более твердых пород необходима коронка с матрицей меньшей износостойкости и наоборот.

Производительность импрегнированной коронки зависит не только от твердости и износостойкости матрицы, но и от величины зерен алмазной крошки. При чем коронки с более мелкими зернами лучше работают в более твердых породах.

Преимущество широкого применения импрегнированных коронок заключается в следующем:

1) сокращается потребление дефицитных высокосортных алмазов за счет использования дробленых низкосортных алмазов, непригодных для армирования однослойных коронок, а также отработанных алмазов, извлеченных из однослойных коронок и негодных для дальнейшего применения в однослойных коронках;

2) потеря алмазов в импрегнированных коронках вследствие скалывания при бурении трещиноватых пород меньше, чем у однослойных коронок, алмазы лучше противостоят ударным нагрузкам и менее чувствительны к некоторым нарушениям правил эксплуатации (например, бурение по керну, оставшемуся в скважине);

3) благодаря более малым осевым нагрузкам, при которых ведется бурение импрегнированными коронками, скважины искривляются незначительно, а буровое оборудование изнашивается в меньшей степени;

4) промышленное производство импрегнированных коронок менее трудоемкое, поскольку отпадает ручная расстановка алмазов. Коронки при бурении используются до конца, и поэтому исключается всякая работа по перестановке алмазов.

Недостатками применения импрегнированных коронок являются: а) механическая скорость бурения по сравнению с однослойными коронками меньше; б) коронки часто теряют диаметр, и их приходится преждевременно заменять; в) подбор нужной матрицы затрудняется из-за разнообразия физико-механических свойств пород.

В. Производительность алмазного бурения при правильно выбранной коронке зависит от режима бурения: осевой нагрузки на коронку, скорости ее вращения и режима промывки. Это положение, общее для вращательного бурения, приобретает при алмаз-

ном бурении особое значение вследствие резкой реакции мелко-алмазной коронки на нарушение правильного соотношения между указанными режимными параметрами.

На процессе алмазного бурения сказывается влияние многочисленных переменных факторов, и поэтому вопрос о режимах бурения должен рассматриваться отдельно по группам пород со сходными физико-механическими свойствами. В общем случае зарубежная практика рекомендует применять высокие скорости вращения, причем по мере увеличения скорости необходимо одновременно повышать осевую нагрузку на коронку. Нормальной скоростью считается 1500 об/мин, пониженной — 850 об/мин.

Величина осевой нагрузки определяется с учетом следующих основных факторов: а) с увеличением твердости породы осевые нагрузки должны быть увеличены; б) в трещиноватых, а также в тонкослоистых породах с чередованием твердых и мягких прослоев осевые нагрузки должны быть меньше, чем в монолитных однородных породах той же твердости; в) слоистые породы, с тенденцией к искривлению ствола скважины, бурятся при пониженных осевых нагрузках; г) для коронок с алмазами меньшей величины осевая нагрузка уменьшается; д) при увеличенной подаче промывочной жидкости коронка меньше забивается шламом, и поэтому осевую нагрузку можно увеличивать.

Одно из основных правил алмазного бурения заключается в том, что осевая нагрузка на коронку должна быть всегда равномерной и достаточной для объемного разрушения породы. Пределы осевых нагрузок 550—1000 кг, оптимальной считается 700—800 кг (для коронок диаметром 59 мм).

Практические рекомендации по подбору оптимальных режимов бурения, вытекающие из зарубежного опыта, можно представить следующими положениями:

В мягких породах — а) при увеличении скорости вращения нет необходимости повышать осевую нагрузку, поскольку алмазы в этих породах не заполировываются; б) бурить на высоких скоростях вращения не следует из-за резкого снижения выхода керна (даже при применении двойной колонковой трубы с неподвижной внутренней трубой); в) увеличение скорости бурения возможно только за счет повышения скоростей вращения и увеличения количества промывочной жидкости, без увеличения осевой нагрузки.

В твердых, но легко разбуриваемых алмазами породах — а) величина приращения механической скорости при увеличении числа оборотов коронки в этих породах значительно больше, чем в предыдущей группе, и поэтому целесообразно в данном случае применять бурение на высоких скоростях вращения; б) для бурения в твердых породах следует применять более мелкие алмазы; в) с повышением твердости породы осевую нагрузку следует увеличивать; г) бурение в твердых монолитных среднеабразивных породах следует вести на максимальной скорости вращения, при которой еще не возникает вибрации; д) глубокие скважины, а так-

же скважины большого диаметра следует бурить коронками, армированными более крупными алмазами, причем на повышенных осевых нагрузках, при меньших скоростях вращения; е) абразивные породы, а также волокнистые породы (серпентиниты и др.) следует бурить на средних скоростях вращения и осевых нагрузках.

В трудно разбуриваемых алмазами породах — а) следует бурить импрегнированными коронками при больших скоростях вращения и меньших осевых нагрузках, чем при бурении однослойными коронками, в частности, для коронок диаметром 38 мм оптимальной скоростью считается: для однослойной 1000 об/мин и выше, для импрегнированной 1500 об/мин и выше; б) в связи с незначительной глубиной внедрения алмазов в породу увеличение скорости бурения возможно только за счет увеличения скорости вращения; в) завышенные осевые нагрузки применять нельзя, так как это приводит к резкому увеличению крутящего момента и перегрузке двигателя бурового станка (коронка всей площадью торца садится на забой).

§ 4. ДРОВОВОЕ БУРЕНИЕ

Дробовое бурение применяется в породах VII—XII категорий.

Обычно дробовым бурением проходят вертикальные и крутонаклонные скважины (под углом до 60°). Неглубокие скважины бурятся дробью и под более пологими углами.

Наклонные скважины, буримые дробью, искривляются в сторону выполаживания.

Буровой снаряд состоит (рис. 47, а) из дробовой коронки 1, колонковой трубы 2, тройного переходника 3, шламовой трубы 4 и колонны бурильных труб 5.

Дробовая коронка (рис. 47, б) имеет форму полого цилиндра. В верхней части коронки нарезана наружная резьба под колонковую трубу и сделана внутренняя конусная расточка.

В нижней части дробовой коронки делается прорез, предназначенный для питания забоя скважины дробью. Через прорез поступает под торец коронки дробь и проходит значительная часть промывочной жидкости. Прорез обычно делается с наклонными параллельными дугообразными стенками (под углом 70°). Ширина прореза берется равной $1/5$ — $1/6$ длины наружной окружности коронки, высота h равна 130—160 мм.

Наиболее часто применяются дробовые коронки диаметром 91, 110, 130 и 150 мм с толщиной стенки 10 мм. Исследования показали, что эффективнее работают толстостенные дробовые коронки ($\delta \approx 15$ мм).

Дробовые коронки изготавливаются из стали марок Ст-40Х и 30-ХГС, из трубных заготовок или путем штамповки из целого материала:

Буровая дробь делится на следующие три основных сорта:

1) чугунная литая дробь; 2) стальная литая дробь; 3) стальная дробь-сечка.

Буровая чугунная дробь отливается из серого или легированного чугуна.

Размеры дроби по диаметру 2,5; 3; 3,5 и 4 мм. Наиболее употребительна чугунная дробь диаметром 3—3,5 мм.

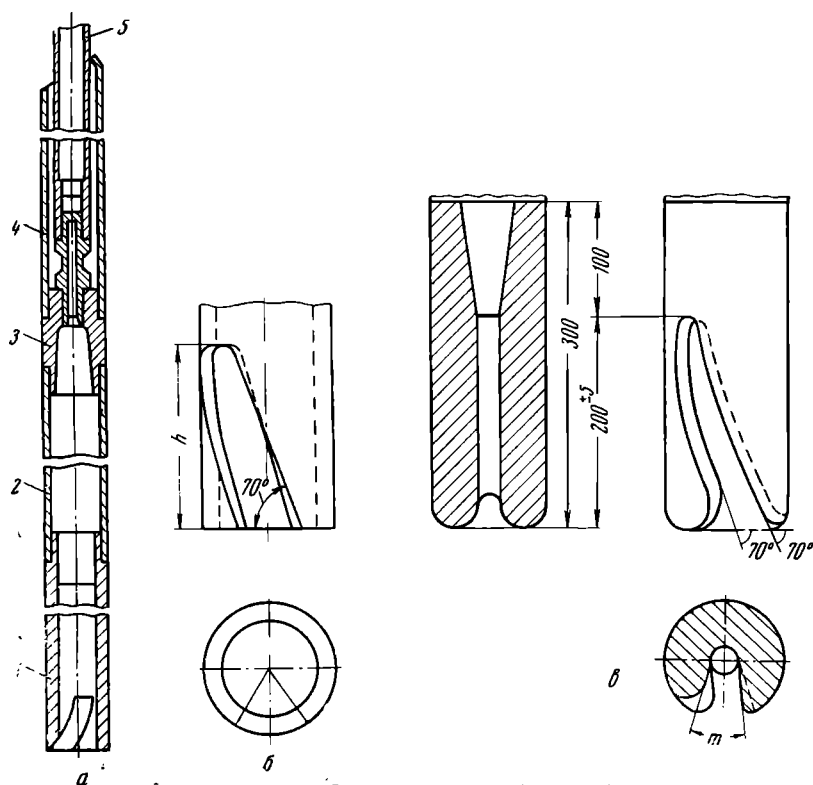


Рис. 47. Снаряд для дробового бурения.

а — общий вид; б — коронка дробовая; в — коронка дробовая для бурения сплошным забоем.

Чугунную дробь целесообразно применять в породах VII—VIII категорий по буримости.

Стальная литая дробь не получила еще применения в бурении.

Стальная дробь-сечка дает наибольший эффект при бурении в породах IX—XII категорий.

Для изготовления дроби-сечки может быть применена стальная проволока марок Ст. 60, Ст. 70, Ст. У7, У8 и ОВС.

Сечка должна подвергаться термической обработке.

Сечка имеет форму цилиндров, у которых высота равняется диаметру. Наиболее часто применяют дробь-сечку $\varnothing = 3\text{—}3,5$ мм.

Способы питания скважины дробью

Питание скважины дробью можно производить мелкими порциями, периодическим питанием укрупненными порциями и рейсовой порцией из расчета одной засыпки на полный рейс.

Подача мелких порций дроби во время бурения осуществляется при помощи дробопитателей различных конструкций. Существуют дробопитатели с ручным, механическим и гидравлическим приводом.

При непрерывном (мелкопорционном) питании скважины дробью повышается скорость бурения, уменьшается расход дроби и увеличивается выход керна, уменьшается диаметр скважины.

Периодическое питание скважины укрупненными порциями дроби производится следующим образом. Перед началом бурения в скважину через колонну штанг засыпается порция дроби из расчета 1—1,5 ч работы. Затем периодически через каждые 1—1,5 ч дополнительно засыпают дробь. За рейс делают 3—4 засыпки. Вес первоначальной порции дроби и последующих порций зависит от диаметра скважины и качества дроби. Чем больше диаметр скважины, тем больше должна быть порция дроби. Перед засыпкой дроби необходимо промыть скважину, затем приподнять буровой снаряд над забоем и засыпать дробь через колонну штанг.

Периодическое питание часто производится при дробовом бурении крепких пород X—XII категорий.

Рейсовое питание скважины дробью заключается в том, что в скважину засыпается на рейс только одна порция дроби, достаточная на время работы дробовой коронки до износа ее прореза на ~70% высоты. Вес рейсовой порции буровой дроби зависит прежде всего от диаметра скважины, толщины стенки коронки и сорта дроби.

Засыпку рейсовой порции дроби можно производить при бурении вертикальных и круто наклонных скважин в монолитных породах через устье скважины перед спуском бурового снаряда. При бурении скважин в трещиноватых породах, а также наклонных скважин следует засыпать дробь через бурильную колонну. Перед засыпкой рейсовой порции дроби надо приподнять буровой снаряд над забоем. После засыпки дроби буровой снаряд устанавливают непосредственно на дробь и включают насос, а затем производят продвижение снаряда через дробь к забою скважины с усиленной промывкой (5—6 л/мин на 1 см наружного диаметра коронки).

Продвижение бурового снаряда через дробь к забою скважины должно сопровождаться разбуриванием ее стенок.

Питание забоя скважины дробью осуществляется через прорез дробовой коронки без специального отрыва снаряда от забоя (без расхаживания снаряда) и регулируется потоком промывочной жидкости. В процессе бурения происходит измельчение буро-

вой дробы. По мере общего измельчения буровой дробы необходимо уменьшать количество подаваемой в скважину жидкости.

При рейсовом питании расход чугунной дробы за 1 ч чистого бурения составляет в среднем $2\div 3,5$ кг в зависимости от диаметра коронки. При мелкопорционном питании скважины дробью расход ее уменьшается по сравнению с рейсовым.

Расход стальной дробы-сечки в 5—8 раз меньше расхода чугунной.

При рейсовом питании скважин дробью следует исходить из длительности работы коронки на забой (3—6 ч) и расхода дробы за 1 ч работы коронки. При этом учитывается, что в конце рейса на забое еще должна быть работоспособная дробь.

Примерная норма засыпки дробы-сечки: на 1 см диаметра дробовой коронки 150—300 г в зависимости от стойкости дробы и абразивности свойств буримых пород.

Режим дробового бурения

Нагрузка на дробовую коронку зависит от качества дробы и диаметра дробовой коронки. Исходной величиной является удельное давление, т. е. давление на 1 см² рабочего торца дробовой коронки.

Для чугунной дробы удельное давление принимается в пределах от 20 до 30 кг/см² (тем выше, чем качественнее дробь).

Для стальной дробы-сечки удельное давление повышают до $q=30\div 50$ кг/см². Полная нагрузка на коронку определяется по формуле

$$C = \varphi \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) q \text{ кг}, \quad (43)$$

где D — наружный диаметр дробовой коронки в см; d — внутренний диаметр коронки в см; φ — коэффициент, учитывающий уменьшение опорного торца дробовой коронки за счет прореза ($\varphi=0,7\div 0,8$).

Скорость вращения инструмента принимается в пределах от 150 до 300 об/мин и берется тем больше, чем меньше диаметр дробовой коронки.

Так как в процессе рейса уменьшается размер прореза, а при рейсовом питании и размер дробы, то и количество подаваемой в скважину жидкости постепенно уменьшается. Количество подаваемой жидкости можно определить по формуле

$$Q = q_0 D \text{ л/мин}, \quad (44)$$

где Q — количество промывочной жидкости в л/мин; D — диаметр дробовой коронки в см; q_0 — расход жидкости (л/мин), приходящийся на 1 см диаметра дробовой коронки; в начале рейса принимается $q_0=3,5\div 4,5$ л/см; в конце рейса $q'_0=2\div 2,5$ л/см.

Дробовой шлам весьма абразивен. Поэтому колонковые трубы быстро изнашиваются снаружи, особенно на нижнем конце, что нередко приводит к обрыву коронки. Как показала практика бурения в Кривом Роге, более целесообразно применять толстостенные колонковые трубы с толщиной стенки 6—8 мм, с наружной резьбой на нижнем конце.

Дробовые коронки в этом случае должны иметь внутреннюю резьбу.

Заклинивание, срыв керна и подъем бурового снаряда

Перед заклиниванием керна прекращают вращение бурового снаряда, замеряют проходку за рейс, глубину скважины и производят интенсивную промывку до удаления шлама с забоя.

Заклинивание керна производится битым стеклом, кусочками крепкой породы, медными и алюминиевыми жгутами или буровой дробью. Размер заклиночного материала должен соответствовать размеру зазора между керном и внутренней поверхностью коронки.

При рейсовом питании скважины дробью керн выбуривается в форме усеченного конуса, расширяющегося к забою, что облегчает заклинивание керна.

Убедившись в том, что керн заклинен, производят его отрыв от забоя и подъем. После извлечения колонкового снаряда немедленно начинают спуск второго, заранее подготовленного. Отбор и документация керна и подготовка бурового снаряда для следующего рейса производятся во время бурения.

Бескерновое бурение стальной дробью

При детальной разведке стали применяют бескерновое дробовое бурение, которое позволяет в 2—3 раза и более увеличить рейсовую проходку при одновременном повышении механической скорости (при бурении с большими осевыми нагрузками).

Дробовая коронка для сплошного бурения соединяется непосредственно с утяжеленными бурильными трубами, которыми и создается большая нагрузка на забой.

На рис. 47, в представлена литая дробовая коронка для бурения сплошным забоем с центральным каналом для подачи дроби и промывочной жидкости. Особенно эффективно работают такие коронки при проходке трещиноватых пород, во время бурения которых стандартными коронками имеют место частые саморасклинки керна.

В КМА производилось опытное дробовое бурение сплошным забоем по породам X категории буримости.

При бурении сплошным забоем стальной сечкой была достигнута скорость бурения 1,7 м/ч и производительность до 5 м/смен (при $q=40$ кг/см², $n=250$ об/мин и $Q=35\div 40$ л/мин).

При опытном бурении сплошным забоем высокопрочными стальными шариками при $q=70\div 100$ кг/см² и $n=400\div 450$ об/мин была достигнута скорость бурения 4 м/ч; расход стальных шариков 0,2 кг/м; расход коронок 1,5 см/м.

Таким образом, бескерновое бурение стальной дробью-сечкой на форсированных режимах является перспективным.

§ 5. ШАРОСТРУЙНОЕ БУРЕНИЕ

В середине 50-х годов в печати появились первые сообщения о том, что в США разработан ударно-дробовой способ бурения, который впоследствии стал называться шароструйным.

В СССР первые попытки применить на практике этот способ бурения оказались неудачными. Однако позднее А. Б. Уваковым была доказана возможность эффективного использования шароструйного бурения для проходки направленных скважин.

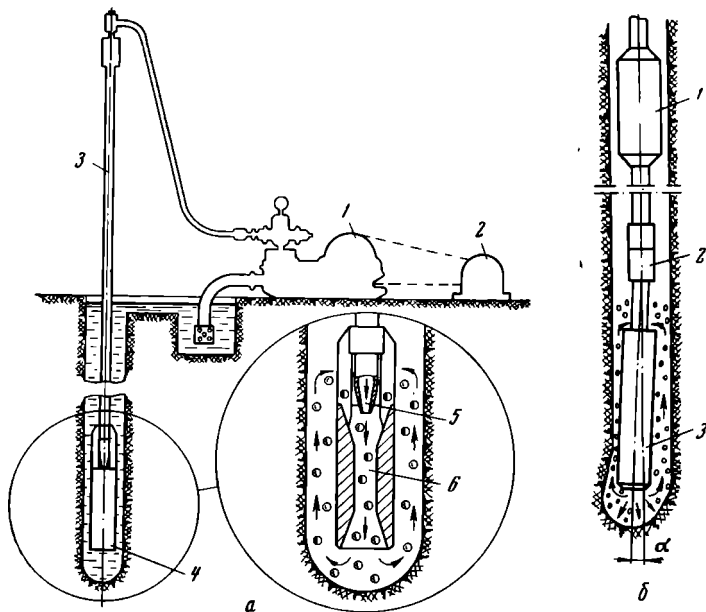


Рис. 48. Схема установки шароструйного бурения.

а — общий вид; *б* — схема искривления скважины шароструйным снарядом: 1 — сигнализатор для ориентированной установки шароструйного снаряда, 2 — кривой переводник, 3 — шароструйный аппарат.

На рис. 48, *а* показаны основные узлы установки для шароструйного бурения*. Насосом 1, приводимым в действие двигателем 2, промывочная жидкость через колонну буровых труб 3

* Изложено по материалам А. И. Волобуева.

подается к шароструйному снаряду 4. Истекая из сопла 5 с большой скоростью, зависящей от напора, создаваемого насосом, струя промывочной жидкости выносит находящиеся на забое стальные шарики в кольцевое пространство между стенкой скважины и снарядом. Поднимаясь выше снаряда, шарики попадают в зону малых скоростей и под действием эжектируемого потока и собственного веса увлекаются в камеру смещения 6, где разгоняются основным потоком до значительных скоростей и наносят удары по забою, производя разрушение породы. Затем шарики поднимаются вверх, вновь попадают в камеру смещения и цикл повторяется.

Одним из достоинств этого способа является то, что бурильная колонна работает в легких условиях. Отсутствие вращения колонны при бурении исключает возможность возникновения опасных вращающих моментов, а отсутствие контакта с забоем сводит напряжение в колонне к напряжениям от собственного веса.

Другим достоинством является возможность искусственного отклонения скважины без применения специальных отклонителей. Для этого достаточно соответствующим образом изогнуть штангу, с которой соединяется шароструйный снаряд (рис. 48, б). Отклонение возможно в любую сторону. Для отклонения скважины в определенном направлении необходима ориентация снаряда по определенному азимуту.

Третьим достоинством является большая продолжительность рейса. Износ стальных шариков незначителен, в случае необходимости их можно добавлять без прекращения процесса бурения путем непосредственной засыпки через устье скважины (разумеется, при отсутствии в скважине нарушенных зон, в которых возможно поглощение шариков).

В существующих моделях шароструйных снарядов условно можно выделить 4 основные части: рабочее сопло, камера разрежения (КР), камера смещения (КС) и диффузор.

Рабочее сопло служит для формирования основной струи, которая должна обладать достаточной дальностью и максимально возможной скоростью истечения. Наиболее практичным является коническое сходящееся сопло с углом конусности $13^{\circ}24'$. Для увеличения износостойкости сопло должно заканчиваться цилиндрическим участком.

Основными параметрами камеры разрежения в шароструйном снаряде являются угол конусности и радиус сопряжения внутренней (конической) и наружной (цилиндрической) поверхностей. Наиболее благоприятные условия для циркуляции шариков на этом участке создаются при угле конусности, не превышающем 15° .

КС служит для смешивания основного и эжектируемого потоков и является одним из важнейших элементов шароструйного снаряда. Внутренний диаметр ее должен быть равен $\sim 2,2$ диаметра применяемых шариков. Длина камеры смещения должна быть равна 4—5 ее диаметра.

В диффузоре кинетическая энергия потока преобразуется в статическое давление. Разгон шарика происходит в основном за счет скоростного напора потока. Следовательно, в диффузоре начинается торможение шарика. Из этих соображений длина диффузора должна быть минимальной. Чтобы уменьшить длину диффузора при допустимом угле конусности, целесообразно ему придавать форму, соответствующую форме забоя. Благодаря этому конечное сечение камеры смещения приближается к забою (и тем самым уменьшается путь торможения шарика) и улучшаются условия циркуляции шариков в призабойном пространстве.

Расстояние между рабочим соплом и начальным сечением КС не должно превышать удвоенной разности диаметров камеры смещения и рабочего сопла.

Скорость истечения струи (а следовательно, и скорость шарика) зависит от перепада давлений в сопле.

При использовании насоса НГР-250/50 максимально возможная скорость истечения струи равна 93 м/сек (при коэффициенте расхода 0,94).

Принимая во внимание, что скорость шарика составляет 0,20—0,35 начальной скорости истечения струи, а также неизбежные гидравлические потери, можно подсчитать, что скорость соударения в этом случае может находиться в пределах 14—25 м/сек. Для крепких горных пород (X—XI категорий буримости) эта скорость недостаточна для осуществления объемного разрушения.

Для получения больших скоростей необходимо применять более мощное оборудование. В связи с этим целесообразным является создание установки для шароструйного бурения, оснащенной мощным насосом (например, 9 МГР) и соответствующей арматурой, рассчитанной на высокое давление (нагнетательный шланг, промывочный сальник и т. д.).

Представляет также интерес идея шароструйного бурения без применения бурильных труб. Для подвода основного потока в этом случае используется обсадная колонна, в нижней части которой на специальном башмаке располагается снаряд. Спуск снаряда происходит за счет его свободного падения внутри обсадной колонны, подъем осуществляется специальным ловителем, спускаемым на стальном канате. Эта идея позволит резко сократить время на спуско-подъемные операции. Предварительные опыты в этом направлении показали, что описанная схема вполне осуществима.

Таким образом, шароструйное бурение таит в себе большие резервы, выявление которых весьма актуально.

§ 6. БУРЕНИЕ ГИДРОУДАРНИКАМИ

Область применения твердых сплавов в практике колонкового бурения может быть расширена внедрением **ударно-вращательного способа бурения**. При этом способе резцы коронки внедряются в породу в основном под влиянием динамических нагрузок.

Для привода гидроударника используется энергия потока промывочной жидкости, подаваемой через колонну бурильных труб к породоразрушающему инструменту. При этом кинетическая энергия жидкости преобразуется забойной машиной в возвратно-поступательное движение поршня бойка, который наносит удары по породоразрушающему инструменту. Чем крепче порода, тем меньше должна быть осевая нагрузка и скорость вращения инструмента. Самые крепкие породы целесообразно бурить ударно-поворотным способом, при котором резы затупляются меньше.

Наиболее распространенными гидроударными машинами являются гидроударники Г-3А (Г-5А), техническая характеристика которых приведена в табл. 16.

Таблица 16

Характеристика гидроударников

Показатели	Тип гидроударника		
	Г-3А, Г-5А	ГМД-2	Г-7
Диаметр бурения, мм	96 и 115	115 и 132	76 и 96
Диаметр корпуса, мм	90	90	70
Расход жидкости, л/мин	300	300	150
Перепад давления, кг/см ²	14	20—25	25—30
Энергия удара, кг·м	6—7,5	8	6—7
Частота ударов, мин	1250	1400	1450
Длина, мм	3800	1660	2000
Вес, кг	150	90	45

Гидроударники Г-3А (рис. 49), созданные СКБ Министерства геологии СССР, являются механизмами прямого действия с клапанной системой распределения промывочной жидкости. Рабочий ход бойка поршня 10 и ударника происходит под действием гидравлического удара в момент посадки клапана 6 на торец поршня. В исходное положение боек возвращается пружиной 16. Гидроударник Г-5А также является механизмом прямого действия, но в отличие от модели Г-3А предназначен для работы не только на воде, но и на глинистом растворе.

Промышленные данные работы гидроударников показывают их надежную работоспособность и высокую производительность при бурении пород VII—IX категорий по буримости. Так, в Джеккаганской геологоразведочной партии при бурении гидроударниками достигнута производительность 500 м на станок в месяц при глубине скважины 250 м и средней категории пород по буримости VIII. Себестоимость 1 м проходки гидроударниками снизилась по сравнению с бурением дробью на 30%.

Скважины, пройденные гидроударниками в крепких породах, имеют незначительную интенсивность искривления, особенно при

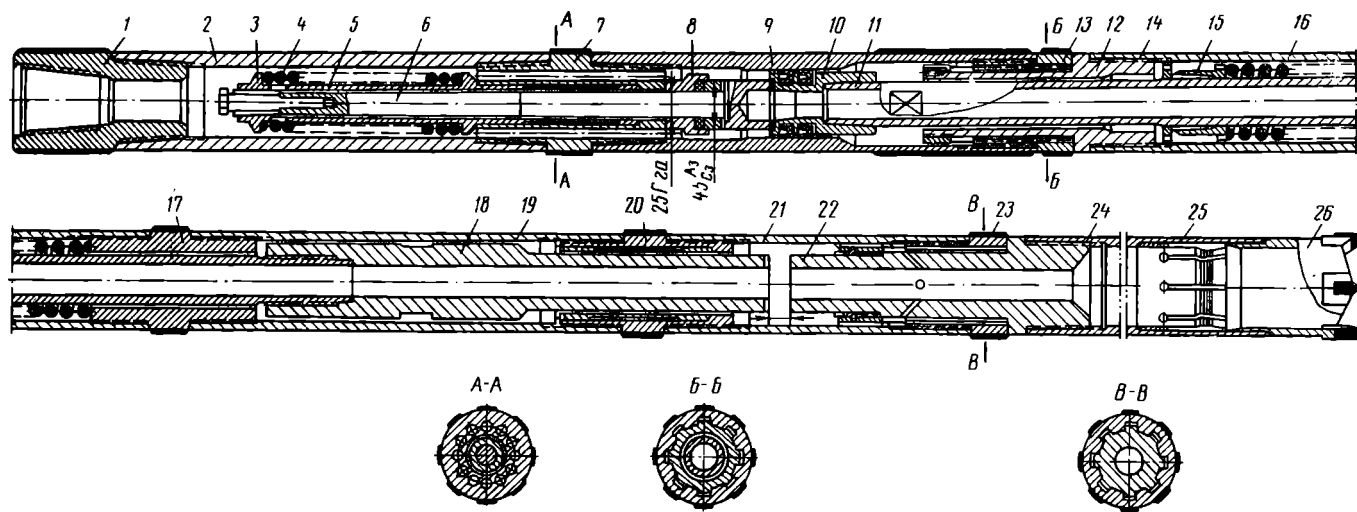


Рис. 49. Гидроударник Г-3А.

1 — переходник, 2, 14, 19 и 21 — патрубки, 3 — гайка ограничителя, 4 — пружина клапана, 5 — ограничитель хода клапана, 6 — клапан, 7 — специальный переходник, 8 — демпфер, 9 — цилиндр, 10 — поршень с манжетами, 11 — шток, 12 — шлицевой шток, 13 — шлицевой стакан, 15 — регулировочная гайка, 16 — пружина ударника, 17, 20 — переходники, 18 — ударник, 22 — наковальня, 23 — шлицевой стакан, 24 — колошковая труба, 25 — кернователь, 26 — коронка,

бурении со стабилизированным низом (снаряд СНГ-1), поэтому в некоторых случаях бурение гидроударниками является наиболее простым и действенным методом направленной проходки скважин. Например, в условиях Западного Каражала бурение гидроударниками является основным способом бурения прямолинейных скважин, обеспечивающим успешное их завершение. Однако следует учитывать, что при бурении в породах VII—VIII категорий и наклонных скважин необходимо предпринимать соответствующие меры по предотвращению зенитного и азимутального отклонения путем тщательного центрирования снаряда в скважине.

Исследование работы гидроударников в весьма крепких породах XI—XII категорий показывает, что применение в качестве рабочих наконечников резцовых коронок не дает желаемого повышения производительности из-за небольшой стойкости породоразрушающего инструмента и, соответственно, ограниченной длины рейса. Производительность гидроударного бурения в очень крепких и абразивных породах может быть повышена путем применения в качестве истирающего материала дробы и бурением скважин шарошечными штыревыми долотами.

Дробовое бурение требует ограниченной промывки. При гидроударном бурении насоса подают 4—6 л/сек.

Для поддержания нормального для дробового бурения режима промывки между гидроударником и колонковым снарядом включался делитель потока промывочной жидкости или применялся специальный колонковый снаряд, несущий в верхней части эжекционное устройство, обеспечивающее в колонковой трубе местную (призбойную) обратную циркуляцию жидкости.

При бурении гидроударниками дробью в породах IX категории достигнуто увеличение механической скорости в 1,8 раза по сравнению с обычным способом дробового бурения. Однако отмечены частые самозаклинки керна.

В настоящее время можно констатировать, что область эффективного применения гидроударников ограничена породами VI—X категорий по буримости, а успешная работа гидроударных машин требует подачи довольно большого для разведочного бурения количества промывочной жидкости, что диктует необходимость комплектования буровых агрегатов насосами типа 9ГР и 11ГР производительностью 5,5—6,0 л/сек при максимальном давлении до 65 кг/см².

Одним из возможных путей снижения расхода промывочной жидкости при сохранении высокой энергии удара является разработка гидроударников двойного действия. В КазИМСе и СКБ Министерства геологии СССР разработаны и внедряются гидроударники двойного действия (РЗМ и ГМД-2А), учитывающих специфику разведочного бурения. Эти гидроударники работают при расходе 3—4 л/сек, перепаде давления 20—25 кг/см²; энергия удара 6—7 кг·м, $n=1300\div1400$ ударов/мин. Для повышения

эффективности гидроударного бурения проводятся работы в следующих направлениях.

1. Создание гидроударников с повышенной энергией удара (12—18 кГ·м). Это позволит более эффективно бурить породы X и XI категорий.

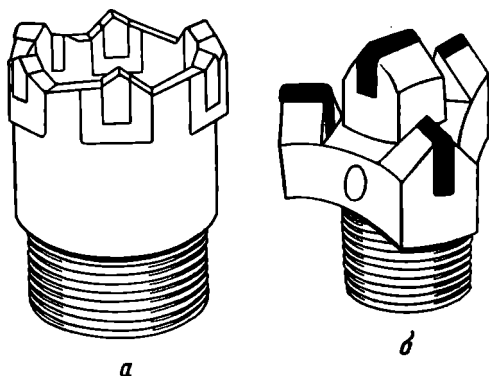


Рис. 50. Породоразрушающий инструмент для гидроударного бурения.

а — коронка; б — долото с опережающим центральным лезвием.

2. Создание гидроударников с повышенной скоростью боя.

3. Уменьшение диаметров гидроударников.

С этой целью под руководством Л. Э. Графа создан гидроударник Г-7 (см. табл. 16) и Г-9 (для коронок диаметром 59 мм). Эти малогабаритные гидроударники позволят сочетать гидроударное бурение с алмазным и твердосплавным в зависимости от глубины скважин и физико-механических свойств пород.

Породоразрушающий инструмент для ударно-вращательного бурения кольцевым забоем представлен в основном резцовыми коронками. Серийно выпускается несколько типов коронок, предназначенных для различных геолого-технических условий (рис. 50, а) и отличающихся: 1) числом пластин твердого сплава; 2) формой пластин твердого сплава (прямоугольная, цилиндрическая); 3) выходом резцов над торцом коронки.

Лучшие результаты дали коронки, армированные твердыми сплавами, — ВК-15, ВК-6В и ВК-8В. Пластины твердого сплава имеют симметричную и асимметричную заточки.

Для увеличения стойкости твердосплавных коронок при бурении крепких и абразивных пород, в частности при бурении пневмоударниками, предлагается устанавливать специальные седловидные резцы с рабочими гранями по внутреннему и наружному диаметру.

Для бурения сплошным забоем и проработки ствола скважины применяются трехперые долота с опережающим центральным лезвием (рис. 50, б).

Технологические режимы гидроударного и пневмоударного бурения в настоящее время широко не исследованы и полностью не отработаны, что накладывает отпечаток на конструкторские разработки ударных машин и определение их наиболее рациональных параметров. Применяются следующие режимы бурения пород VIII—X категорий: осевая нагрузка 300—600 кГ, скорость вращения 30—100 об/мин. Производительность ударно-вращательного бурения и стойкость породоразрушающего инструмента при проходке крепких пород повышаются с уменьшением числа оборотов до 30 об/мин и менее.

Однако параметры большинства станков колонкового бурения не позволяют вести процесс бурения на оборотах менее 70 в 1 мин. Только существенная модификация коробки скоростей или введение промежуточного редуктора позволяет использовать весь диапазон рациональной технологии бурения гидроударниками.

§ 7. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА КЕРНА

Обычно плохой выход керна получается при бурении пород и полезных ископаемых: мягких, легко размываемых промывочной жидкостью, рыхлых, сыпучих и плавучих; слоистых и неоднородных по составляющим слоям, подверженных избирательному истиранию и размыванию; сильно трещиноватых, брекчированных, сильно раздробленных; растворяемых промывочной жидкостью (минеральные соли).

Неудовлетворительный выход керна получается в результате его истирания и размывания, а также из-за плохого заклинивания и выпадения керна во время подъема.

Для повышения выхода керна в разрушающихся и размывающихся породах рекомендуется:

а) уменьшить скорость потока в зазоре между керном и коронкой и колонковой трубой;

б) не допускать в работу искривленных колонковых снарядов, у которых нарушена соосность;

в) при бурении по легко разрушающимся породам и полезным ископаемым (углям, марганцевым и железным рудам и бокситам) применять двойные колонковые трубы.

Двойные колонковые снаряды (ДКС) изготавливаются следующих разновидностей:

1) ДКС с вращающимися наружной и внутренней трубами, предохраняющими керн от размывания (см. рис. 46, а);

2) ДКС с вращающейся наружной и невращающейся внутренней трубами, предохраняющими керн от размывания и ударов (см. рис. 46, б);

3) ДКС со съемной внутренней трубой, позволяющей извлекать керн без подъема колонны бурильных труб;

4) ДКС, герметизирующие керн, позволяющие поднимать керн вместе с природным газом, заключенным в порах породы.

В настоящее время для извлечения керна приходится поднимать на поверхность длинную колонну бурильных труб, развинчивая ее на отдельные свечи. Более целесообразно иметь коронку с большой износостойкостью, а керн поднимать на канате через бурильные трубы большого диаметра. Снаряд (рис. 51, а, б) состоит из наружной трубы 4, кernoприемника 2, корпуса кernoрвателя с рвательным кольцом 1, головки 7 с защелками (фиксаторами) 5 и подшипникового устройства 3, исключющего вращение кernoприемной трубы в процессе работы снаряда.

В скважинах, заполненных промывочной жидкостью, кernoприемник опускается под действием собственного веса со скоростью 0,9—1,2 м/сек. В сухих скважинах кernoприемник опускается на тросе. Фиксация его осуществляется защелками 5, обеспечивающими передачу осевых усилий от поступающего керна через переходник на колонну бурильных труб. Освобождение и извлечение кernoприемника производится с помощью ловителя (рис. 51, б), опускаемого на тросе. Ловитель соединяется с головкой 7 кernoприемника и при движении вверх перемещает втулку 6, сжимая защелки 5 и переводя их в транспортное положение. Патрубок 8 (рис. 51, б) свободно опускается по канату для освобождения ловителя при спуске кernoприемника в сухую безводную сверху скважину на ловителе.

При бурении скважин работа ведется с двумя кernoприемниками, что сокращает время вспомогательных операций.

Снаряды с кernoприемными трубами, поднимаемыми на канате, в сочетании с алмазными коронками, позволяют значительно сократить время на спуско-подъемные операции.

При разведке нефтяных и газовых месторождений, а также месторождений углей с большим содержанием метана и других газов, находящихся в недрах под большим пластовым дав-

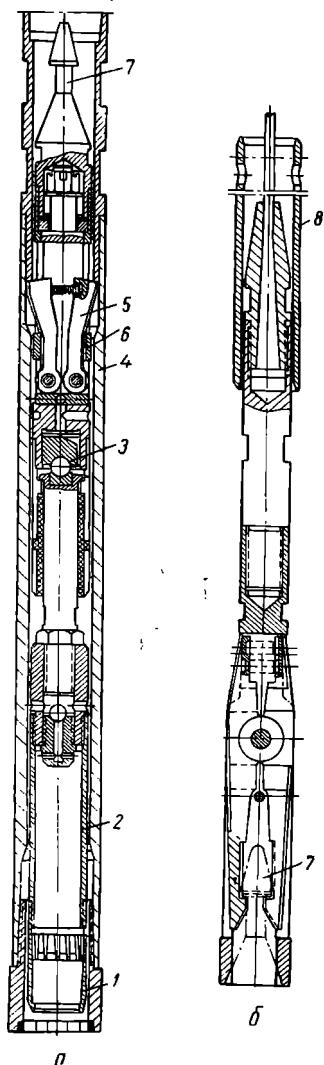


Рис. 51. Буровой колонковый снаряд со съемной кernoприемной трубой, извлекаемой на канате.

а — колонковый снаряд; б — ловитель (шлипс).

лением, очень важно извлечь из скважины/керна с сохранением пластовых условий. При подъеме керна в обычных ДКС по мере снижения гидростатического давления происходит значительная утечка газов из керна. Для удержания газа в керне применяют ДКС, позволяющие на забое герметизировать оторванный керн специальным диском с уплотняющей прокладкой.

Для отбора керна в водоносных песках, гравии и галечниках иногда применяют метод замораживания керна. При этом для промывки скважины применяется дизельное топливо, охлажденное в специальных устройствах с помощью сухого льда (CO_2) до температуры от -18 до -24°C . При интенсивной промывке такой охлажденной жидкостью стенки скважины и керн обмерзают и выход керна в водоносных песках достигает 98%, в то время как при промывке водой и применении двойных колонковых труб — всего 30—50%.

Двойные колонковые снаряды эжекторного типа (ЭКС)

При бурении обычными ДКС по тонкослоистым породам, особенно когда отдельные прослойки значительно отличаются по твердости, происходит частое подклинивание керна в керноприемной трубе и истирание более слабых прослоев, что приводит к избирательному истиранию керна. В таких породах лучшее качество керна достигается при бурении эжекторными (водоструйными) колонковыми снарядами (ЭКС). Отличительной особенностью этих колонковых снарядов является то, что при прямой промывке, осуществляемой через колонну бурильных труб, в колонковом снаряде с помощью эжекторного насоса происходит обратная призабойная промывка. В этом случае в керноприемной трубе возникает восходящий поток, подхватывающий частицы породы и выносящий их в шламовую трубу.

Рассмотрим устройство и работу эжекторного колонкового снаряда (ЭКС), разработанного в КазИМСе под руководством А. А. Гребенюка и Г. Г. Моисеева (рис. 52).

Использование этого снаряда в процессе бурения обеспечивает сохранность керна, надежное его удержание при подъеме, а также слив промывочной жидкости из бурильных труб в процессе извлечения бурового инструмента из скважины.

Эжекторный колонковый снаряд опускается в скважину и устанавливается на забой с промывкой. При помощи дробопитателя или путем непосредственной засыпки малых порций в бурильные трубы подают дробь к забою скважины. Промывочной жидкостью дробь транспортируется по каналам насадки 2, диффузора 4 и через канал «а» выходит в зазор между трубами, откуда через окна дробовой коронки поступает во внешнее кольцевое пространство и подается винтовыми вырезами под торец коронки.

Промывочная жидкость, вытекая с большой скоростью из насадки 2, увлекает жидкость, находящуюся в полости патрубков 5.

которая смешивается с основным потоком, поступает в диффузор и вытекает через канал «а» в зазор между трубами. Расход жидкости, отсасываемой из патрубка, восполняется за счет жидкости, которая поступает из керноприемной трубы 15 через трубку 8 и канал «б». Промывочная жидкость из межтрубного зазора выходит через окна дробовой коронки к забою, где она распределяется на два потока. Один поток идет по кольцевому пространству к устью скважины, второй — через отверстия в керноприемную трубу. Второй поток способствует продвижению керна в керноприемную трубу и удержанию дробы под торцом коронки.

Бурение снарядами ЭКС может осуществляться различными породоразрушающими инструментами. В породах V—VII категорий могут применяться твердосплавные коронки (рис. 52, б); в крепких породах при проходке скважины малого диаметра должны использоваться толстостенные алмазные коронки (рис. 52, в).

В сильно трещиноватых тонкослоистых породах VIII—XI категорий успешно работают дробовые коронки (рис. 52, а).

В сильно трещиноватых тонкослоистых породах VIII—XI категорий успешно работают дробовые коронки (рис. 52, а).

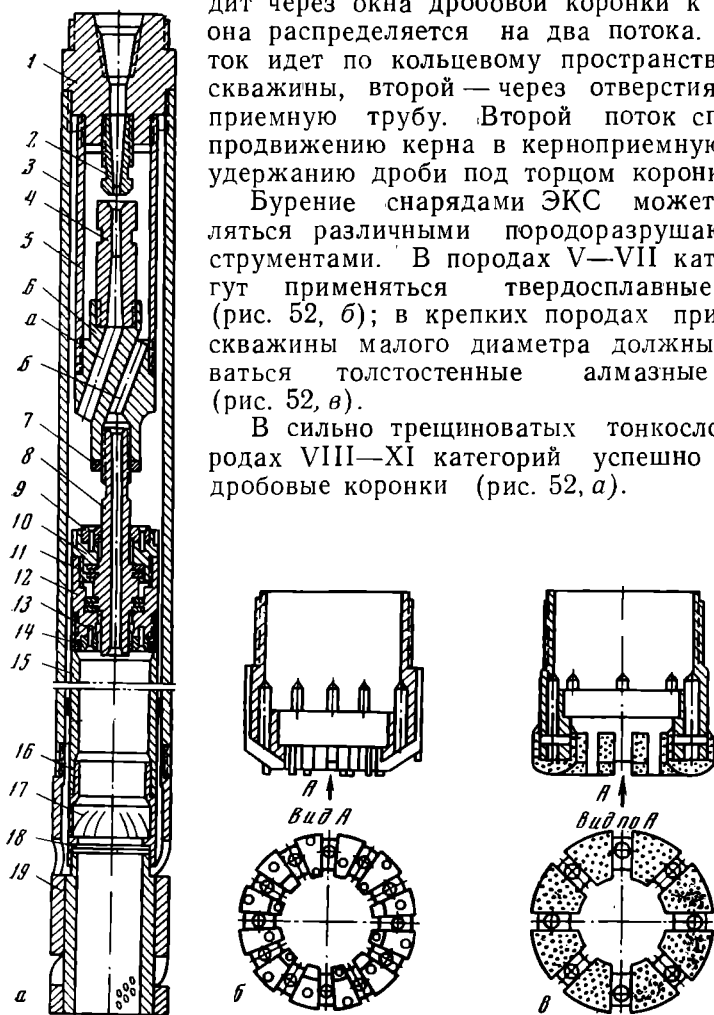


Рис. 52. Эжекторный колонковый снаряд КазИМСа.

а — снаряд в сборе: 1 — переходник, 2 — насадка, 3 — колонковая труба, 4 — смеситель с диффузором, 5 — патрубок, 6 — распределительная головка с каналами «а» и «б», 7 — контргайка, 8 — трубка-шпилька, 9 — уплотняющие кольца, 10 — верхняя деталь разъемного переходника, 11 — шарикоподшипники, 12 — нижняя деталь разъемного переходника, 13 — винты, 14 — уплотнительные манжеты, 15 — керноприемная невращающаяся труба, 16 — корпус кернодержателя, 17 — тонкие пружины, 18 — опорное кольцо пружины, 19 — специальная дробовая коронка; б — твердосплавная коронка; в — алмазная коронка.

Общие сведения

При бурении структурных скважин отсутствие ориентированного керна нередко приводит к тому, что геологические построения носят схематический характер, а иногда и не отвечают действительности. Для построения геологических структур необходимо бурить три скважины, не лежащие на одной прямой. При ориентированном извлечении кернов можно все геологические построения сделать по одной скважине.

В нашей отечественной практике наиболее надежная методика получения ориентированного керна разработана коллективом Восточно-Казахстанского геологического управления (Н. А. Грибский, М. И. Казанцев и А. С. Пеньков), создавшим два прибора — керноскоп и кернометр. Одновременно под руководством М. И. Казанцева был выполнен целый комплекс специальных теоретических, экспериментальных и производственных исследований, обеспечивающих создание новой геологоразведочной службы — «кернометрии».

Приборы для взятия и исследования ориентированного керна

Керноскоп предназначен для получения ориентированного керна из наклонных буровых скважин.

Общий вид керноскопа приведен на рис. 53, а, принципиальная схема прибора — на рис. 53, б. Керноскоп спускается в скважину на неориентированной буровой колонне. Прибор со всеми механизмами заключен в защитную трубу.

В средней части прибора расположен пружинный двигатель 2, приводящий во вращение центральное сверло 3. Боковое сверло приводится от центрального при помощи пары цилиндрических шестерен 4. Оба сверла при постановке на забой перемещаются в осевом направлении вверх, сжимая цилиндрические пружины 5. Когда сверла войдут внутрь прибора на 18 мм, срабатывает автомат пуска пружинного двигателя, сверла начинают вращаться и под нагрузкой по 30 кг на каждое сверло высверливают лунки. В верхней части прибора расположен угломерный цилиндр — отвес 7 со шкалой на 360°.

Схема ориентирования керна с помощью керноскопа показана на рис. 53, б. Геометрическая ось керноскопа, проходящая через вал центрального сверла 2, опирающегося на забой 1, и ось цилиндрического отвеса 4, совпадает с осью скважины 0—0', которая в свою очередь лежит в вертикальной (апсидальной) плоскости *abcd*. Параллельно сверлу 2 имеется боковое сверло 3, соединенное с центральным сверлом парой шестерен 5. При работе пружинного двигателя, не показанного на рис. 53, б, сверла высверливают ориентирующие лунки. Линия *ef*, соединяющая

центры сверл, может занять произвольное положение относительно апсидального направления ab , лежащего в апсидальной плоскости. Для ориентирования керна необходимо определить величину угла φ между направлением ab и линией ef . Это измерение автоматически фиксируется цилиндрическим отвесом 7 со шкалой 360°

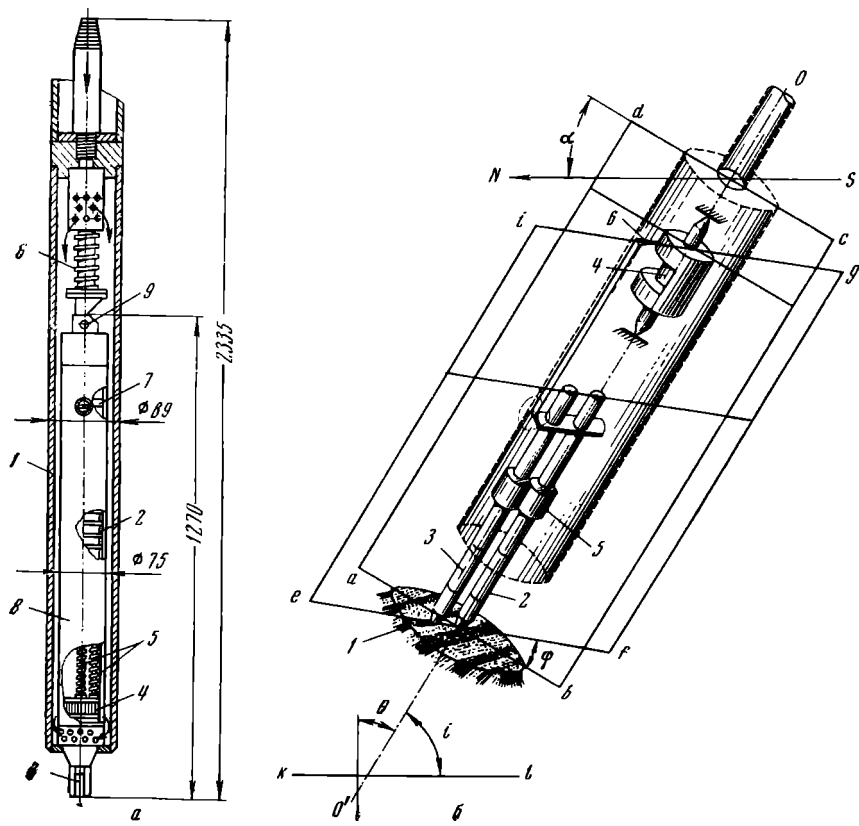


Рис. 53. Керноскоп К-5.

α — общий вид керноскопа, 1 — корпус, 2 — пружинный двигатель, 3 — два сверла, 4 — цилиндрические шестерни, 5 — пружины, давящие на сверло, 6 — пружина давления, 7 — цилиндр-отвес со шкалой 360° , 8 — защитный кожух, 9 — легкоразъемное соединение; b — принципиальная схема керноскопа; $O-O'$ — ось прибора, $abcd$ — апсидальная плоскость, $efgi$ плоскость ориентации керна.

и указателем 6. После извлечения керна из скважины его пространственно ориентируют относительно стран света в специальном приборе — кернометре. Для этого кроме величины угла φ необходимо знать угол наклона скважины (или зенитный угол θ), а также направление апсидальной плоскости $abcd$ относительно магнитного или истинного меридиана, измеряемое углом α (азимут). Углы θ и α предварительно измеряются инклинометрами любой системы.

Керноскоп К-5 предназначен для отбора ориентированных кернов в скважинах с углами наклона не более 87° . В связи с этим он не может быть использован в вертикальных скважинах.

Партией техники разведки Восточно-Казахстанского геологического управления разработана приставка ОА-1 к керноскопу К-5 для отбора ориентированных кернов и ориентирования отклоняющих клиньев в вертикальных скважинах.

В качестве датчика азимутального угла использован инклинометр Полякова.

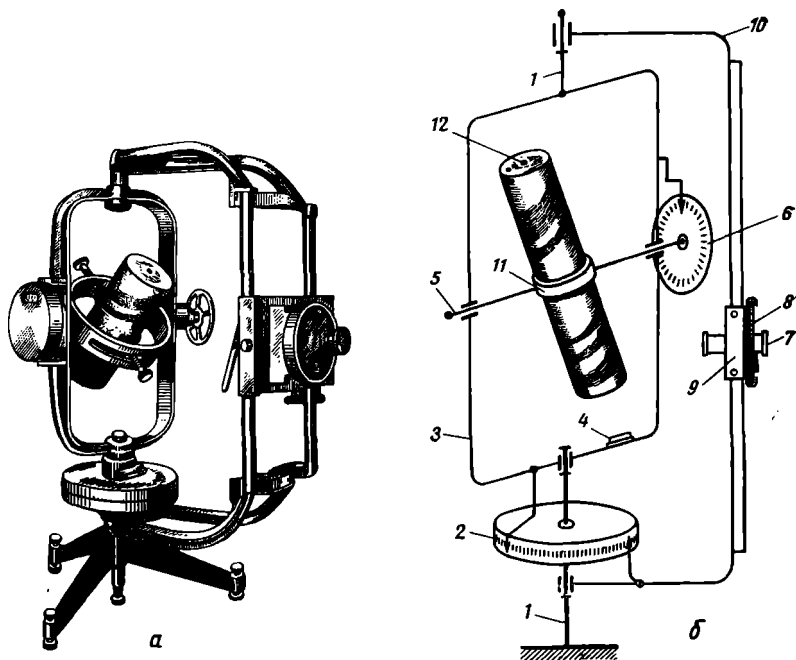


Рис. 54. Кернометр КР-2.

а — общий вид; б — кинематическая схема: 1 — вертикальная ось, 2 — горизонтальный лимб, 3 — вертикальная рамка, 4 — уровень, 5 — горизонтальная ось, 6 — вертикальный лимб для установки керна под углом оси скважины, 7 — визирная трубка, 8 — каретка, 9 — рамка каретки, 10 — рамка, вращающаяся вокруг оси 1, 11 — зажимное кольцо, вращаемое осью 5, 12 — керн с метками.

Кернометр КР-2 — стационарный угломерный прибор, предназначенный для измерения залегания пород и других структурных элементов по ориентированному керну, получаемому при помощи керноскопа. Кернометр КР-2 изображен на рис. 54. Точность отсчета углов по всем шкалам прибора $0^\circ 30'$.

Кернометр — прибор с тремя независимыми угломерными лимбами, имеющими пять шкал (рис. 54). На этом приборе образец ориентированного керна можно установить в том положении, в котором он находился непосредственно на забое, и произвести все

необходимые замеры для определения угла падения и простира-ния пород.

Помимо разработки промышленных образцов керноскопа и кернометра под руководством М. И. Казанцева были разработаны математическая теория ориентирования кернов и универсального аналитического метода для определения элементов залегания пород по ориентированным кернам, технология ориентирования и извлечения керна, были проведены исследования ориентированных кернов, созданы формы документации результатов кернометрических исследований, разработаны частные методики применения керноскопии при разведках и эксплуатации месторождений различных полезных ископаемых, а также при составлении структурно-геологических карт. Имеющиеся в настоящее время результаты практического применения кернометрии свидетельствуют об ее большом эффекте, выражающемся в сокращении сроков и стоимости геологоразведочных работ.

§ 9. АППАРАТУРА «СИГНАЛ» ДЛЯ СИГНАЛИЗАЦИИ ВХОДА СКВАЖИНЫ В РУДНОЕ ТЕЛО

При бурении на многие полезные ископаемые очень важно отметить контакт полезного ископаемого с кровлей.

Аппаратура «Сигнал» позволяет измерять электрическое сопротивление пород и зенитный угол скважины непосредственно в процессе бурения.

Аппаратура «Сигнал» позволяет:

1) отмечать момент входа породоразрушающего инструмента в электропроводящий пласт (жилу) полезного ископаемого (полиметаллы, железные руды, антрациты);

2) следить за изменением зенитного угла бурящейся скважины.

Аппаратура «Сигнал» состоит из пульта управления, регистратора, соединительных кабелей и проводов. Пульт управления и регистратор устанавливаются на буровой; скважинный прибор монтируется в глубинном контейнере, который устанавливается в колонковом снаряде.

Передача информации на поверхность осуществляется по колонне бурильных труб.

Регистрация электрического сопротивления разбуриваемых пород осуществляется с помощью регистратора, а зенитного угла — с помощью пульта управления.

При использовании аппаратуры «Сигнал»: 1) обеспечивается увеличение длины рейса перед полезным ископаемым; 2) исключается пропуск полезного ископаемого, если его электрическое сопротивление отличается от сопротивления пород кровли; 3) обеспечивается своевременность принятия мер для исправления искривляющейся скважины.

Аппаратура «Сигнал» разработана ВИТР.

§ 10. СПОСОБЫ МЕХНИЗАЦИИ И УСКОРЕНИЯ СПУСКО-ПОДЪЕМНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Спуско-подъемные операции производятся с целью замены износившегося породоразрушающего инструмента, а при колонковом бурении — с целью извлечения керна, заполнившего колонковую трубу или заклинившего в ней. При подъеме инструмента длинная колонна бурильных труб разъединяется на отдельные свечи, длиной не более 18 м (в колонковом бурении). При спуске инструмента свечи вновь свинчиваются в бурильную колонну. Следовательно, процесс спуска — подъема инструмента ведется прерывисто.

Затраты времени на спуско-подъемные операции быстро увеличиваются с глубиной скважины. Пусть полная глубина скважины L м; средняя глубина скважины при ее бурении $\frac{L}{2}$ м; время, затрачиваемое на спуск и подъем 1 м бурильных труб, t ; средняя проходка за рейс l м.

Минимально необходимое число спуско-подъемов при бурении скважины будет:

$$m = \frac{L}{l}.$$

Средняя затрата времени на один спуск — подъем равна:

$$T_{\text{ср}} = \frac{L}{2} t.$$

Тогда при строительстве скважины глубиной L м будет затрачено времени на спуско-подъемные операции:

$$T_0 = T_{\text{ср}} m = \frac{L^2 t}{2l}. \quad (45)$$

Таким образом, затраты времени на спуско-подъемные операции увеличиваются пропорционально глубине скважины в квадрате. В действительности затраты времени на спуско-подъемные операции растут более интенсивно. Это объясняется следующими обстоятельствами: 1) на больших глубинах залегают обычно более крепкие породы, поэтому проходка с глубиной на рейс снижается; 2) в связи с увеличением веса колонны бурильных труб уменьшается механическая скорость подъема (при постоянной мощности привода лебедки бурового станка); 3) с глубиной ухудшаются условия работы породоразрушающего инструмента.

В связи с этим, по выводам ряда исследователей, затраты времени на спуско-подъемные операции растут с увеличением глубины скважины в кубической зависимости. Поэтому ныне ведутся большие исследовательские и конструкторские работы в направлении ускорения спуско-подъемных операций (СПО)¹.

Это ускорение спуско-подъемных операций можно осуществ-

* В дальнейшем мы будем спуско-подъемные операции обозначать СПО.

ывать: 1) путем резкого увеличения рейсовых проходок и снижения количества спуско-подъемов во время строительства скважины; 2) путем коренного изменения технологии СПО; 3) путем механизации и автоматизации СПО, производимых по существующей технологии.

Для уменьшения времени на СПО при детальной разведке переходят на бурение сплошным забоем породоразрушающими инструментами высокой износостойкости.

Наиболее эффективным будет бескерновое бурение сверхстойким породоразрушающим инструментом, обеспечивающим проходку скважины за один рейс с передачей непрерывной информации о пересекаемых породах с забоя на поверхность. В этом случае взятие проб с определенных интервалов будет осуществляться путем отбора всего шлама с этих интервалов и путем опробования стенок скважины с помощью боковых грунтоносов.

Изменение технологии СПО может осуществляться по следующим путям:

а) применение колонковых снарядов со съёмными керноприемниками, поднимаемыми на канате.

Эти колонковые снаряды (см. рис. 51) должны оснащаться алмазными коронками, обеспечивающими проходку нескольких десятков или сотен метров скважины без заметного износа (без сильного снижения механической скорости).

Керн извлекается в керноприемной трубе, поднимаемой на канате со скоростью 1,5—2 м/сек.

В этом случае подъем и спуск бурильной колонны будут осуществляться только для замены износившейся алмазной коронки и время на спуско-подъемные операции резко сократится.

Дальнейшим развитием ускорения СПО является освоение вставных (съёмных) алмазных долот и коронок, которые поднимаются на канате, а опускаются под влиянием собственного веса и под давлением нагнетаемой жидкости;

б) непрерывный спуск — подъем породоразрушающего инструмента может осуществляться при бурении забойным двигателем (турбобуром и электробуром), спускаемым в скважину на шлангокабеле, намотанном на специальный барабан. Схема этой установки показана на рис. 55.

Шлангокабель должен одновременно обладать большой гибкостью и прочностью, воспринимать реактивный момент забойного двигателя с небольшим углом закручивания и надежно противостоять механическому и физико-химическому воздействию окружающей среды, содержащей частицы выбуренной породы.

По шлангокабелю подается промывочная жидкость, необходимая для привода турбобура и очистки забоя от разбуренной породы.

По вмонтированному в тело шлангокабеля токоподводу может подводиться электроэнергия к электробуру и осуществляться контроль и управление процессом бурения.

Основными преимуществами бурения на шлангокабеле являются:

- 1) упрощение и сокращение времени на спуско-подъемные операции;
- 2) возможность непрерывной циркуляции промывочной жидкости как в процессе бурения, так и во время спуско — подъема;
- 3) возможность полной автоматизации процесса бурения, особенно при применении электробур;

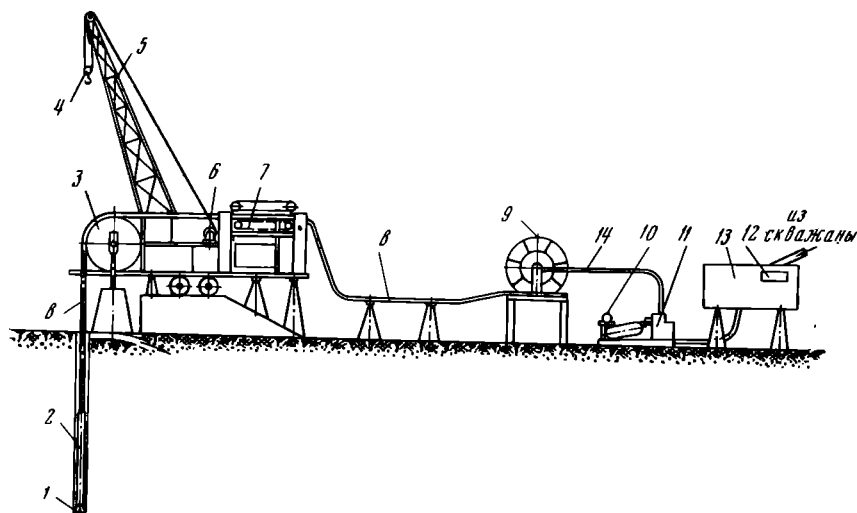


Рис. 55. Установка для бурения забойными двигателями на шлангокабеле.

1 — долото, 2 — электробур, 3 — направляющий ролик, 4 — талевый блок, 5 — мачта, 6 — лебедка, 7 — гусеничный подъемник, 8 — шлангокабель, 9 — шлангоприемник, 10 — двигатель, 11 — буровой насос, 12 — вибросито, 13 — приемная емкость, 14 — нагнетательный шланг.

4) возможность электрокаротажа в процессе бурения и определения различных параметров, характеризующих разбуриваемые породы. Особенно удобно бурение на шлангокабеле с плавучего бурового основания.

Опыт бурения на шлангокабеле во Франции показал, что затраты времени на спуско-подъемные операции сокращаются в 3—8 раз при увеличении рейсовой скорости бурения в 2—4 раза.

Именно бурение забойными двигателями на шлангокабеле позволит наиболее полно и просто автоматизировать все основные операции процесса бурения.

Технические средства для механизации и автоматизации СПО, производимых по современной технологии, можно разделить на четыре группы: механизмы для свинчивания и развинчивания буровой колонны; элеваторы, позволяющие выполнять спуско-подъемные операции без верхового рабочего; штангоукладчики; комплексы механизированных буровых установок.

Из механизмов для свинчивания и развинчивания бурильных труб вкратце опишем механизм РТ-1200.

Этот механизм предназначен для свинчивания и развинчивания бурильных труб диаметром 42,5, 50 и 63,5 мм, а также утяжеленных бурильных труб диаметром 73, 89, 108 мм.

Механизм можно применять при бурении вертикальных и наклонных скважин как с обычными, так и с полуавтоматическими элеваторами.

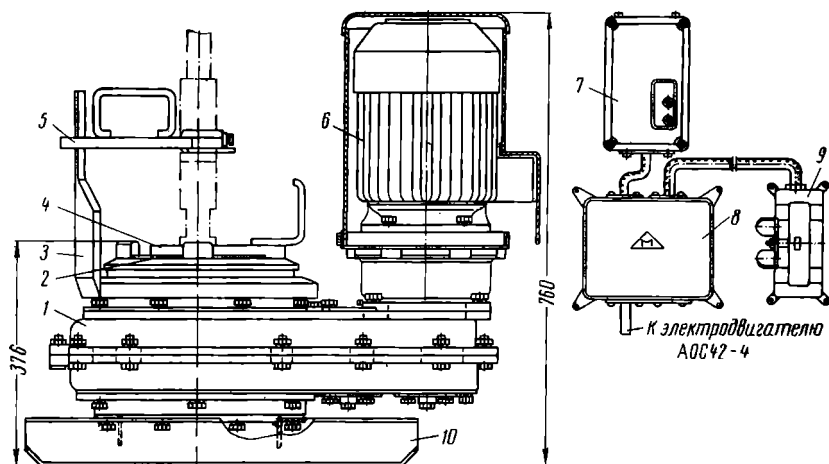


Рис. 56. Механизм РТ-1200 для свинчивания и развинчивания свечей.

Механизм РТ-1200 (рис. 56) состоит из вращателя 1, центратора 2, электродвигателя 6, подкладной вилки 4, ведущей вилки 5, водила 3, рамы 10, автоматического выключателя 7, магнитного пускателя 8 и двухштифтовой кнопки управления 9.

Вращатель представляет собой двухступенчатый цилиндрический редуктор, который приводится во вращение фланцевым электродвигателем с влагостойкой изоляцией мощностью 2,8 кВт.

В корпусе вращателя расположено центральное отверстие диаметром 205 мм для прохода колонкового снаряда, что позволяет устанавливать и закреплять механизм над устьем скважины на весь период бурения скважины. В центральное отверстие корпуса вращателя вставляется центратор 2, уменьшающий проходное отверстие корпуса и центрирующий колонну.

Бурильные трубы пропускаются через центральное отверстие и подвешиваются на подкладной вилке 4, которая вставляется в нижнюю прорезь муфты замка и опирается на центратор. Хвостовик вилки упирается в один из выступов крышки корпуса вращателя, что удерживает колонну от проворачивания. Ведущая вилка вставляется в прорезь конуса замка. При включении электродви-

гателя водило вращает ведущую вилку по или против часовой стрелки и свинчивает или развинчивает замки бурильных труб.

У механизма РТ-1200, как и у механизмов типа ПО, имеется маховик, увеличивающий в несколько раз крутящий момент электродвигателя в начальный момент развинчивания резьбового соединения. Эксплуатация механизма РТ-1200 показала большую его надежность и эффективность.

Элеваторы

При спуско-подъемных операциях применяются элеваторы (см. рис. 17). Обычные элеваторы требуют участия в буровой бригаде верхового рабочего, который во время спуска и подъема находится на верхних рабочих полатах. В зимнее и осеннее время, особенно ночью, труд верхового рабочего является тяжелым и

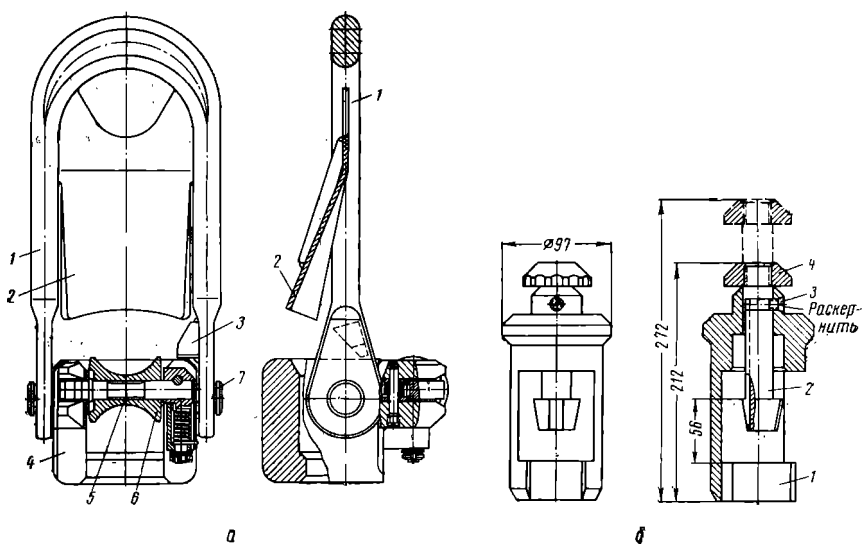


Рис. 57. Элеватор МЗ-80.

а — элеватор. 1 — серьга, 2 — отрагатель, 3 — бобышка, 4 — корпус, 5 — ось затвора с роликом, 6 — ролик, 7 — палец; б — наголовник. 1 — корпус, 2 — стержень, 3 — винт, 4 — головка.

опасным. Поэтому стали применять элеваторы, которые позволяют производить работу без верхового рабочего. Эти элеваторы часто называют полуавтоматическими. Полуавтоматические элеваторы можно разделить на две группы: 1) элеваторы, работающие с наголовниками (грибками); 2) элеваторы, работающие без наголовников.

Элеватор типа МЗ-80* (рис. 57) предназначен для производ-

* Этот элеватор был впервые предложен Г. П. Шпиловым.

ства СПО без участия верхового рабочего с бурильными трубами диаметром 50 мм с муфтово-замковыми соединениями.

При подъеме труб из скважины на верхний конец каждой свечи надевается наголовник (рис. 57, б). Под наголовник заводится элеватор с отомкнутым затвором, после чего колонна поднимается на длину свечи. При установке нижнего конца отвинченной свечи на подсвечник «зев» корпуса элеватора ориентируется в сторону

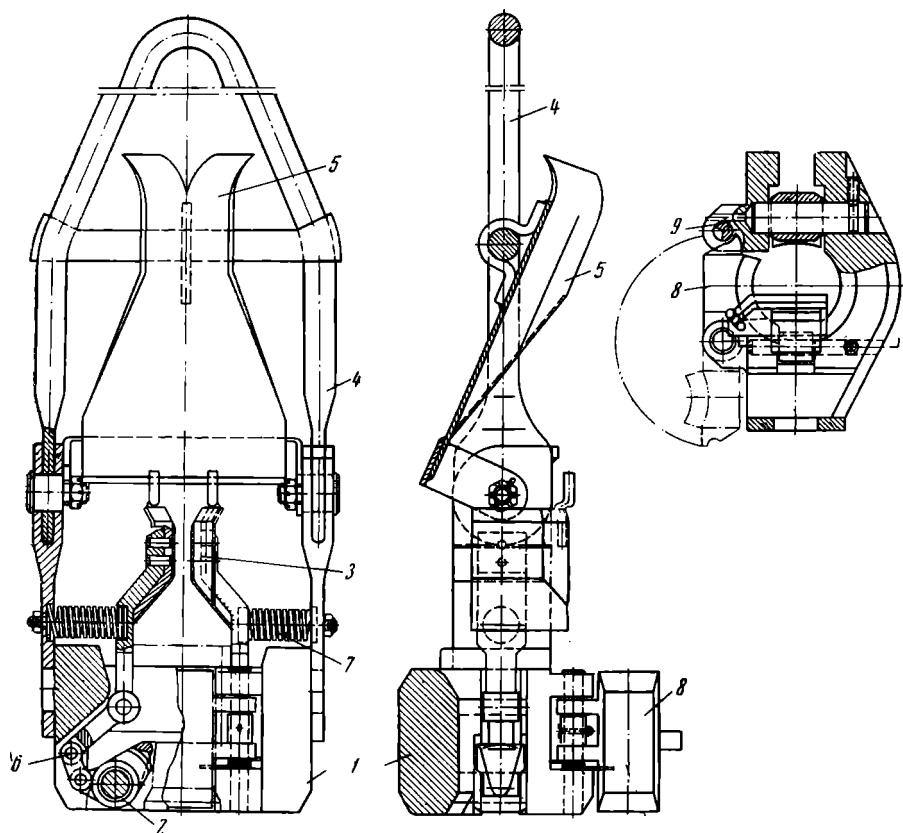


Рис. 58. Элеватор «Воркутинец-50».

штангоприемника, а сам элеватор опускается вниз. Отражатель скользит по наголовнику, а элеватор отсоединяется от свечи и продолжает свободно опускаться к устью скважины. При спуске колонны труб в скважину элеватор надевается на свечу, отодвинутую от общего пакета труб, и фиксируется на свече затвором. При движении элеватора по свече вверх ролик обеспечивает разворот корпуса элеватора под углом к оси, в результате чего муфтово-замковые соединения и протекторы свободно проходят через вырез

в корпусе элеватора. После подхвата за наголовник свеча устанавливается на замок ранее спущенной колонны и свинчивается с ней. Затем инструмент опускается в скважину на длину свечи и устанавливается на подкладную вилку. Со свечи снимаются сначала элеватор, а потом наголовник.

В результате испытаний установлено, что элеватор МЗ-80 обеспечивает более быстрое производство спуско-подъемных операций по сравнению с другими элеваторами.

Полуавтоматические скользящие элеваторы наиболее перспективны. Они не требуют наголовников. Но замковые соединения в верху свечей должны иметь специальные проточки.

Наиболее интересным является полуавтоматический элеватор «Воркутинец-50» (рис. 58).

Элеватор «Воркутинец-50» состоит из корпуса 1, имеющего фронтальную прорезь шириной 55 мм для соединения со свечой, подхватных кулачков 2, копирующих рычагов 3, подъемной серьги 4 и отражательного желоба 5. Копирующие рычаги соединены звеньями 6 с подхватными кулачками и находятся под воздействием пружин 7. Фронтальная прорезь корпуса перекрывается створкой 8, имеющей замок 9.

Подъем снаряда производится с открытой створкой. Элеватор соединяется со свечой путем опускания на нее сверху. Отсоединяется после установки отвинченной свечи на подсвечник в момент, когда весь корпус элеватора опустится ниже замкового соединения. Для спуска свечи в скважину элеватор соединяют с ней через фронтальную прорезь в корпусе и закрывают створку 8. При подъеме элеватор подхватывает свечу за кольцевую проточку верхнего замкового соединения. Отсоединяется элеватор от спущенной в скважину свечи движением вверх (с помощью лебедки) при разведенных копирующих рычагах 3.

Так как у элеваторов «Воркутинец-50» отсутствуют наголовники, то они обладают следующими преимуществами.

1. Снижается время, затрачиваемое на спуско-подъемные операции, и повышается интенсивность труда старшего рабочего.

2. Исключаются затраты на изготовление наголовников.

3. Исключается возможность возникновения аварий и травмирования вследствие непроизвольного отвинчивания наголовников. Работниками партии новой техники УГУ разработан элеватор «Урал-2», который при испытаниях показал наименьшее время на СПО.

Комплексная механизация СПО

Комплексная механизация СПО при колонковом бурении практически отсутствует. Основной причиной, затрудняющей комплексную механизацию спуско-подъемных операций, является большое количество ручных приемов, которыми сопровождается работа ме-

ханизмов свинчивания — развинчивания, элеваторов и штангоукладчиков.

В настоящее время проблему полной автоматизации СПО разрабатывает ВИТР. В период 1958—1966 гг. ВИТР были разработаны комплексные автоматические системы СПА-ВИТР и БА-25Л-Э. Эти системы автоматизируют СПО по существующей технологии с прерывистым подъемом и спуском.

В Воркутинской комплексной ГРЭ Ухтинского территориального геологического управления был разработан, изготовлен и предварительно испытан комплекс «СПС-Воркута» (рис. 59). Особенностью этого комплекса является возможность совмещения отдельных элементов СПО.

Спуско-подъемные операции комплексом «СПС-Воркута» выполняются следующим образом.

Подъем инструмента: отделение от колонны отвинченных свечей, перемещение к подсвечнику, наклон и установка свечей на подсвечник производятся манипулятором.

Спуск инструмента: подъем с подсвечника, вывод в вертикальное положение, перемещение к устью скважины и установка свечей на колонну производятся также манипулятором; соединение элеватора со свечей производится с помощью центратора и направляющей рамки.

Положение элеватора во время его движения и соединения с верхним концом свечи определяется по указателю. Свинчивание и развинчивание свечей производится механизмом ПО-49А. (В дальнейшем механический свинчиватель ПО-49А будет заменен автоматическим.)

При испытании было выявлено, что комплекс «СПС-Воркута» обеспечивает ускорение спуско-подъем-

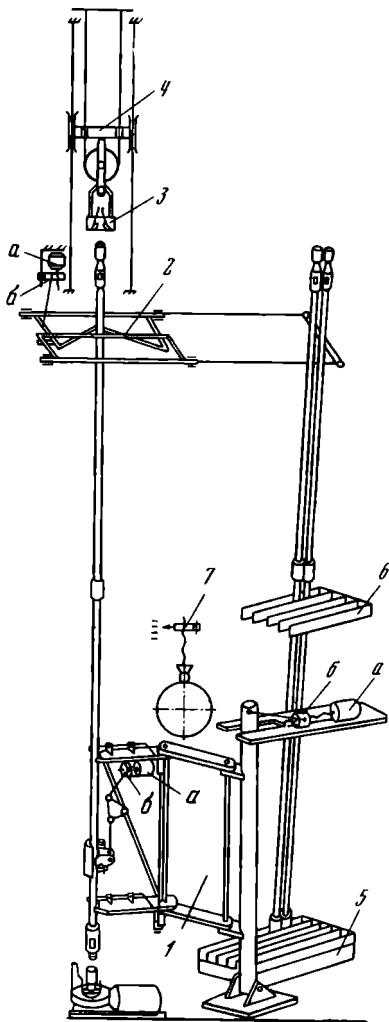


Рис. 59. Принципиальная схема комплекса «СПС-Воркута».

1 — манипулятор, 2 — центратор, 3 — элеватор, 4 — направляющая рамка, 5 и 6 — свечеприемник, 7 — указатель движения элеватора, а, б — приводы центратора, манипулятора и свечедержателя.

ных операций по сравнению с нормативами на 25—30%.

Исследование спуско-подъемных операций с применением комплекса «СПС-Воркута» позволило установить, что его эффективность может быть увеличена, если исключить ручные операции по установке и снятию отбойных и подкладных вилок механизма свинчивания бурильных труб.

Под руководством А. Д. Дьякова в СКБ Министерства геологии СССР в 1968 г. был разработан комплекс механизмов КМ-2, особенностью которого является маятниковый кронблок и станок ЗИФ-1200-А с разделенным на 2 части лебедочным барабаном.

Благодаря этому удалось осуществить подъем и спуск бурильной колонны одновременно со спуском и подъемом порожнего элеватора. Полное совмещение этих двух операций во времени и механизация укладки свечей в пакет позволили сократить затраты времени на СПО на 40%.

§ 11. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ

Общие сведения о контрольно-измерительной аппаратуре

Эффективное, безаварийное бурение скважин возможно только при рациональном сочетании параметров режима бурения в соответствии с физико-механическими свойствами пород и типом породоразрушающего инструмента.

Но выбор и поддержание оптимальных параметров режима бурения возможны только при постоянном контроле процесса бурения. Поэтому буровые установки, особенно для глубокого бурения, должны оснащаться контрольно-измерительными приборами.

Некоторые приборы уже давно применяются при разведочном бурении. Так, при электроприводе устанавливают вольтметр и амперметр. По показаниям последнего буровой мастер может судить о нагрузке электродвигателя и приближенно о крутящем моменте, развиваемом вращателем.

В нагнетательную линию бурового насоса включают манометр. По показанию стрелки манометра мастер может своевременно обнаружить начавшееся зашламование скважины. Для защиты манометра от попадания в его упругие элементы загрязненного глинистого раствора необходимо устанавливать разделитель с резиновой эластичной мембраной, отделяющей раствор от чистой жидкости, заполняющей манометр.

Для контроля за осевой нагрузкой на породоразрушающий инструмент современные станки оснащаются гидравлическими индикаторами давления.

Для станков с гидравлической подачей СКБ Министерства геологии СССР под руководством М. М. Майорова разработало аппаратуру ИРБ для измерения и автоматической регистрации основных параметров режима бурения (рис. 60). В состав этой аппаратуры входят:

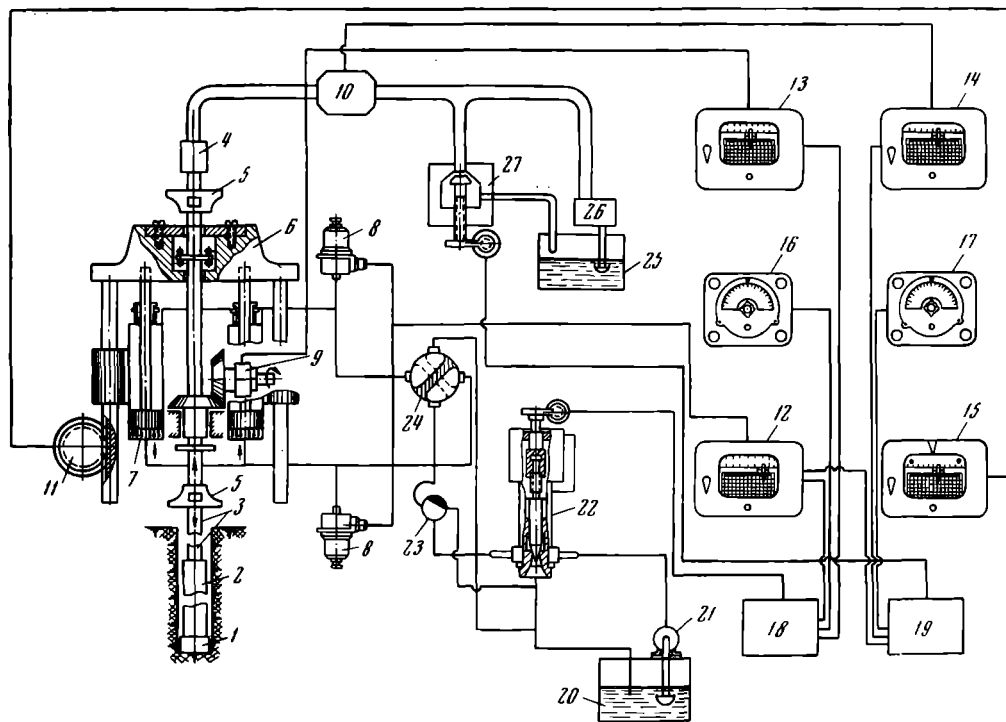


Рис. 60. Схема включения измерительной аппаратуры ИРБ и принципиальная схема автоматического управления гидравлической подачей шпинделя.

1—коронка, 2—колонковая труба, 3—колонна бурильных труб, 4—буровой сальник, 5—патроны зажимные, 6—траверса, 7—цилиндры подачи, 8—датчики давления, 9—датчик крутящего момента, 10—датчик расхода промывочной жидкости, 11—датчик мгновенной скорости бурения, 12—указатель осевой нагрузки, 13—указатель крутящего момента, 14—указатель расхода промывочной жидкости, 15—указатель мгновенной скорости бурения, 16—задатчик крутящего момента, 17—задатчик расхода промывочной жидкости, 18—усилитель механизма управления нагрузкой на забой, 19—усилитель механизма управления расходом промывочной жидкости, 20—маслобак, 21—маслонасос, 22—исполнительный механизм управления автоматическим дросселем, 23—ручной дроссель, 24—четырёхходовой распределительный кран, 25—приемный бак для раствора, 26—буровой насос, 27—исполнительный механизм управления расходом подачи промывочной жидкости.

1. Датчики, предназначенные для преобразования измеряемых параметров режима бурения в электрическое напряжение; они монтируются на деталях бурового станка и на выкидной линии насоса.

2. Пульт указывающих приборов, предназначенных для непрерывного измерения и контроля основных параметров режима бурения. Пульт устанавливается на стене буровой вышки в удобном для наблюдения месте и посредством электрических кабелей соединяется с датчиками.

3. Пульт автоматических регистраторов, предназначенных для непрерывной записи параметров процесса бурения в функции времени. Этот пульт должен быть защищен от механических повреждений и посредством электрических кабелей соединяется с пультом указывающих приборов.

Контрольно-измерительная аппаратура ИРБ позволяет: 1) взвешивать буровой инструмент; 2) определять нагрузку на коронку; 3) контролировать крутящий момент; 4) определять механическую скорость бурения; 5) определять количество промывочной жидкости; 6) контролировать скорость вращения инструмента.

Кроме того, в практике разведочного бурения применяется более простая гидравлическая контрольно-измерительная аппаратура ГП-18А.

Прибор ГП-18А измеряет и регистрирует следующие параметры режима бурения:

1) нагрузку на коронку (долото); 2) крутящий момент на вращателе; 3) скорость вращения шпинделя; 4) интервал бурения; 5) скорость навивки каната на барабан и усилие на канате при спуско-подъемных операциях.

При достижении предельно допускаемого крутящего момента прибором включается предупредительная сигнализация.

Пути автоматизации процесса колонкового бурения

Процесс строительства скважин позволяет отдельно рассматривать задачи автоматизации и механизации вспомогательных операций (в первую очередь операции спуско-подъема) и собственно процесса бурения с точки зрения их технического решения.

Наиболее просто применить автоматические регуляторы, стабилизирующие нагрузку на породоразрушающий инструмент. Такие регуляторы подачи давно используются в колонковом бурении. При помощи балансирного станка КАМ-500 или регулятора подачи С. А. Волкова можно с достаточной точностью поддерживать заданную нагрузку на коронку.

Регуляторы подачи, стабилизирующие нагрузку на породоразрушающий инструмент, дают положительный эффект при бурении пород, однородных по своим физико-механическим свойствам. При бурении пород, часто перемежающихся по крепости, желательно

применять такой регулятор подачи, который может автоматически изменять нагрузку на породоразрушающий инструмент в соответствии с изменением физико-механических свойств пород и степенью износа резцов коронки.

Такой характеристикой частично обладает винтовой дифференциальный регулятор подачи, у которого гайка подачи приводится от индивидуального двигателя (рис. 61). По этой схеме винтовой шпиндель 3 с правой резьбой приводится во вращение от двигателя 1 с мягкой характеристикой, т. е. с такой, при которой число оборотов шпинделя n_1 снижается с увеличением крутящего момента. Гайка подачи 2 приводится во вращение от электродвигателя 4 с жесткой характеристикой, поэтому она вращается с постоянным числом оборотов n_2 . Нормально $n_1 > n_2$.

Подача инструмента в 1 мин будет $h = t(n_1 - n_2)$, где t — шаг резьбы шпинделя.

Чем больше крутящий момент, тем меньше n_1 и тем меньше скорость подачи. При определенном крутящем моменте n_1 будет меньше n_2 , поэтому автоматически начнется реверс бурового инструмента.

Описанная винтовая подача предназначена для неглубокого бурения.

Буровая установка для глубоких скважин является сложным объектом для автоматизации процесса бурения. Большие осложнения вносит быстровращающийся длинный буровой вал, который подвергается разнообразным нагрузкам и испытывает продольные, поперечные и крутильные колебания. Освоение забойных двигателей, особенно электробуров, должно облегчить решение проблемы автоматизации процесса бурения.

СКБ Министерства геологии СССР разработало схему автоматизации процесса бурения, в основу которой положен принцип стабилизации крутящего момента на шпинделе бурового станка с гидравлическим регулятором подачи. Принципиальная схема этого автоматического регулятора подачи приведена на рис. 60. Она состоит из следующих узлов: 1) комплекта измерительного устройства типа ИРБ; 2) двух задатчиков; 3) двух усилителей исполнительного механизма; 4) двух исполнительных механизмов для автоматического регулирования усилия подачи и расхода промывочной жидкости.

С помощью задатчика в систему автоматического регулирования вводится величина параметра, стабилизацию которого она должна обеспечивать. В задатчике используется бесконтактный

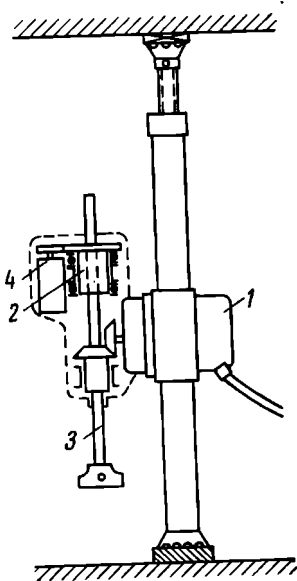


Рис. 61. Схема автоматической винтовой дифференциальной подачи.

потенциометр, применяемый в схемах измерения. С помощью ручки потенциометр поворачивают на некоторый угол, пропорциональный величине задаваемого параметра (например, крутящего момента). В существующую гидравлическую схему включается автоматический дроссель последовательно с ручным. Сигнал от датчика крутящего момента 16 поступает на усилитель механизма управления нагрузкой на забой. В зависимости от знака и разности значений заданного и измеренного крутящего момента, с учетом динамических свойств рассматриваемой системы управления, усилитель механизма управления нагрузкой на забой воздействует на двигатель исполнительного механизма. Двигатель через редуктор и дроссельное устройство 22 исполнительного механизма изменяет давление масла в цилиндрах подачи 7 бурового станка. При этом нагрузка на коронку изменяется до тех пор, пока значения измеренного и заданного моментов не сравняются.

В случае дальнейшего повышения крутящего момента автоматический дроссель закрывается, сброс масла прекращается и поршни гидроцилиндров будут поднимать буровой инструмент.

Установка оснащена также системой автоматической стабилизации расхода промывочной жидкости, закачиваемой в скважину. Сигнал с электромагнитного датчика 10 расхода промывочной жидкости поступает во вторичный прибор 14. Последний подает сигнал в усилитель 19 механизма управления расходом промывочной жидкости. Сюда же поступает и сигнал из датчика 17 расхода промывочной жидкости. Если расход промывочной жидкости не соответствует заданному, то усилитель воздействует на исполнительный механизм управления расходом жидкости. Последний регулирует величину слива промывочной жидкости до тех пор, пока в скважину не будет поступать необходимое количество жидкости независимо от гидравлического сопротивления скважины.

Экспериментальная проверка автоматического регулирования процесса вращательного бурения при постоянном крутящем моменте показала ограниченные возможности такого управления. Вероятно, более целесообразно применить систему управления самонастраивающего типа в зависимости от крутящего момента $M_{кр}$, осевой нагрузки S и мгновенной механической скорости бурения $v_{мех}$, которая в течение рейса снижается по мере затупления резцов коронки. Продолжается работа по дальнейшему усовершенствованию автоматизации подачи бурового инструмента.

Чем глубже скважина, тем менее точно можно контролировать параметры режима бурения с помощью приборов, расположенных на поверхности. Это прежде всего относится к осевой нагрузке на коронку и крутящему моменту.

Для повышения точности измерения параметров режима бурения проводят конструкторско-исследовательские работы по созданию забойных датчиков, надежного канала связи между породоразрушающим инструментом и поверхностью, а также по разработке специальной телевизионной системы.

§ 12. ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ РАЗВЕДОЧНОГО КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

Объемы разведочного бурения будут быстро расти. Будут увеличиваться и глубины разведочных скважин. Рассмотрим, в каких направлениях будет развиваться колонковое бурение.

Алмазное бурение. Быстрое увеличение объемов алмазного бурения является надежным средством повышения производительности бурения в породах от VII до XI категории. В 1965 г. было пробурено алмазами почти 800 тыс. м, а в 1969 г. — около 2000 тыс. м. В ближайшее время намечено проходить алмазными коронками более 20% всего объема бурения преимущественно в породах VIII—XI категорий.

Алмазными коронками бурят в основном при скоростях вращения 200—270 об/мин, редко при 400—480 об/мин. Между тем для алмазного бурения характерно то, что механическая скорость бурения растет почти пропорционально увеличению скорости вращения коронки. Особенно выгодны высокие скорости вращения при осевых нагрузках, обеспечивающих объемное разрушение породы забоя.

Однако при больших скоростях вращения часто возникает сильная вибрация инструмента, что приводит к быстрому износу алмазной коронки, самозаклинкам керна, снижению рейсовой проходки. Известно, что вибрация инструмента часто возникает при несбалансированной бурильной колонне (несоосности отдельных труб), больших зазорах между бурильными трубами и стенками скважины, недостаточной жесткости крепления станка к фундаменту, при трещиноватости разбуриваемых пород.

С вибрацией можно бороться путем тщательной сборки и балансировки бурильной колонны, уменьшения зазора между колонной и стенками скважины, покрытием бурильных труб антивибрационной смазкой. Необходимы также более стойкие алмазные коронки, рассчитанные на большие скорости вращения.

Однослойные коронки должны применяться только в породах VII, VIII, IX и отчасти X категорий, импрегнированные — в наиболее твердых, абразивных и трещиноватых породах.

Ассортимент алмазных коронок должен быть разумно продуман, с тем, чтобы каждый тип коронки предназначался для бурения пород с определенной физико-механической характеристикой. Индекс коронки должен указывать область ее применения.

Особое внимание надо обратить на качество матриц, на равнопрочность рабочего торца алмазных коронок, исключаящих аномальный износ отдельных ослабленных участков. Необходимо также широко применять стойкие алмазные расширители.

Алмазное бурение эффективнее всего при больших скоростях вращения. Но в этом случае резко увеличивается мощность, потребляемая на вращение бурильной колонны. При глубоком враща-

тельном бурении с двигателем на поверхности применение высоких оборотов ограничено глубиной 300—500 м. Поэтому при глубоком алмазном бурении целесообразно применение малогабаритных забойных быстроходных гидравлических двигателей-турбобуров.

Подтверждением этого может служить следующее. Ныне глубокие скважины на нефть и газ с глубины примерно от 3000 до 5500 м и более часто бурятся алмазными долотами и коронками диаметром 188 и 212 мм. Бурение производится как турбинным, так и роторным способом. При турбинном бурении алмазные долота вращаются со скоростью 500—600 об/мин, при роторном в 5—8 раз медленнее. Нагрузку на алмазные долота дают в пределах 3—6 Т. Турбинное алмазное бурение на больших глубинах оказалось значительно эффективнее роторного как по механической скорости бурения, так и по проходке на долото. Средняя проходка на одно алмазное долото при глубоком турбинном бурении составляет ~300 м. Это значительно превышает среднюю проходку на алмазное долото при роторном бурении.

Гидроударное бурение уже зарекомендовало себя как высокопроизводительное в породах VII—VIII категорий и бескварцевых породах IX категории. В более крепких породах происходит быстрое затупление коронок, поэтому гидроударное бурение становится малоэффективным.

Для дальнейшего расширения области применения и эффективности гидроударного бурения необходимо: 1) организовать выпуск гидроударников с повышенной энергией единичного удара (15—20 кГ·м); 2) быстрее осваивать гидроударники двойного действия; 3) предусмотреть возможности снижения скорости вращения шпинделя станков до ~20 об/мин (для бурения в крепких породах).

Бескверное бурение при применении стойких долот позволяет резко увеличить проходку на рейс. Поэтому при детальной разведке этот способ вращательного бурения должен быть широко применен. В связи с тем что бескверное бурение требует больших нагрузок на породоразрушающий инструмент и значительно больший расход промывочной жидкости, необходимо широко применять УБТ и более мощные насосы. Породы I—V категорий будут в основном проходиться пикобурами, которые должны быть стандартизированы и выпускаться заводским путем. Породы V—IX категорий должны проходиться шарошечными долотами, вооружение которых должно соответствовать физико-механическим свойствам буримых пород. Породы X и XI категорий должны буриться штыревыми долотами.

Бурение скважин с продувкой сжатым воздухом. Эффективным средством в определенных геологических условиях является замена промывки скважины продувкой сжатым воздухом, при применении которой резко повышается механическая скорость бурения и увеличивается стойкость породоразрушающих инструментов. Поэтому

необходимо всемерно развивать исследование бурения с продувкой и организовать широкое внедрение этого прогрессивного метода прежде всего в областях распространения многолетнемерзлых пород и в безводных районах Казахстана и Средней Азии.

Для этого надо освоить выпуск компрессоров, рассчитанных на максимальное давление 12 и 25 кг/см^2 , превентеров, циклонов и др.

При бурении с продувкой в крепких породах целесообразно применять ударно-вращательное бурение с помощью пневмударников и продолжить исследования в области бурения стальной дробью-сечкой при продувке скважин воздухом. Необходимо углубить исследовательские работы в области устранения вредных влияний водопритоков на бурение с продувкой.

Направленное и многозабойное бурение позволяет сокращать объемы разведочного бурения и повышает качество разведки. Уже достигнуты большие успехи в области развития многозабойного бурения. Надо продолжать исследования, совершенствование и широкое внедрение этого прогрессивного метода буровой разведки. Необходимо в более широком масштабе применить шароструйное бурение для бесклинового забуривания ответвленных стволов.

Комплексная механизация и автоматизация спуско-подъемных операций. Спуско-подъемные операции (СПО) являются наиболее трудоемкими при бурении скважин.

Для уменьшения затрат времени на СПО надо прежде всего всемерно увеличивать проходку на рейс, а также комплексно механизировать их. Однако технические средства для механизации и ускорения СПО не должны усложнять ведения основного процесса и, тем более, удорожать проходку скважин в целом.

Учитывая специфические условия проведения геологоразведочных скважин, наиболее реальными предпосылками успешного решения поставленной задачи следует считать быстрое создание технических средств для полной механизации спуска и подъема колонны бурильных труб применительно к станкам, рассчитанным на глубины скважин 600—1500 м. Эти технические средства должны обеспечивать наиболее полное совмещение отдельных операций во времени и устранение тяжелого физического труда.

Очень перспективно применение съемных керноприемников (грунтоносов) в сочетании с коронками высокой стойкости, обеспечивающими проходку десятков метров без значительного затухания скорости бурения. В этом случае керны будут подниматься с большой скоростью с помощью каната, а подъем бурильной колонны будет производиться только для смены затупившейся коронки.

Дальнейшим развитием этого метода должно быть применение съемных раздвижных коронок, спускаемых и поднимаемых через бурильные трубы. Такая конструкция алмазных коронок в сочетании с керноприемниками принята проектом «Мохоx» для бурения

сверхглубокой скважины в Тихом океане (в районе к северу от Гавайского архипелага) на мантию Земли.

Применение раздвижных алмазных коронок в сочетании со съемными керноприемниками позволит производить бурение скважины почти без подъема бурильной колонны и полностью механизировать и даже автоматизировать спуско-подъемные операции, производимые для смены породоразрушающего инструмента и извлечения керна.

Контрольно-измерительная аппаратура. Без контрольно-измерительной аппаратуры нельзя достаточно надежно регулировать параметры режима бурения, особенно глубокого. Поэтому оснащение буровых установок надежной и достаточно точной контрольно-измерительной аппаратурой имеет первостепенное значение, особенно для алмазного бурения.

Дальнейшее развитие разведочного бурения на твердые полезные ископаемые

Для дальнейшего совершенствования и повышения эффективности разведочного бурения необходимо значительное расширение научно-исследовательских работ. С одной стороны, они должны быть направлены на повышение эффективности наиболее перспективных способов колонкового бурения, а с другой — на изыскание новых методов разрушения пород при бурении.

Научно-исследовательские работы первого направления должны быть в первую очередь нацелены на совершенствование техники и технологии алмазного, гидроударного, баскернового бурения, на бурение с продувкой, на многозабойное бурение.

Из новых способов разрушения пород, которые могут быть применены на разведочных работах, наибольшего внимания заслуживает электроимпульсный способ. Сущность этого способа заключается в разрушающем действии электрических импульсных разрядов в твердых непроводящих или полупроводящих телах.

При электроимпульсном способе бурения колонна бурильных труб не вращается, скважина может быть ориентированно отклонена с малым радиусом кривизны без клиньев. Форма сечения скважины может быть круглой, прямоугольной, щелевидной и даже фасонной. Бурение может производиться как сплошным забоем, так и колонковым способом. К. п. д. разрушения пород электроимпульсным способом выше, чем при обычных способах бурения.

РОТОРНОЕ БУРЕНИЕ И БУРЕНИЕ ЗАБОЙНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

§ 1. БУРОВАЯ УСТАНОВКА

Для бурения разведочных и эксплуатационных скважин на нефть, газ и воду применяются установки для вращательного бурения, которое может проводиться двумя способами:

а) роторным, при котором ротор вращает колонну бурильных труб с долотом на нижнем конце;

б) с помощью забойных двигателей, когда колонна бурильных труб не вращается, а долото приводится во вращение от вала забойного двигателя.

Забойные двигатели могут быть гидравлическими и электрическими.

Гидравлические забойные двигатели называются турбобурами, а электрические — электробурами.

Схема буровой установки для роторного и турбинного бурения показана на рис. 62.

В буровой вышке 1 с сараем (откосом) 12 и лестницами 22 смонтированы ротор 2, лебедка 3, силовой агрегат привода лебедки и ротора 4, два буровых насоса 11, приводимых от электродвигателей 10.

Кроме того, в буровой вышке смонтированы компрессорная станция 5 с воздухохранилищем 6, вспомогательная дизель-генераторная станция 8 и комплекты электропусковой аппаратуры 7 и 9 для электропривода лебедки и насосов.

На вершине вышки установлен кронблок 13, собранный из нескольких роликов. Канат 14, один конец которого закреплен на барабане лебедки 3, огибает ролики неподвижного кронблока 13 и ролики подвижного талевого блока 15.

Для затаскивания в буровую труб и других предметов устроены мостики 23. К талевому блоку подвешен крюк 16, который подхватывает при помощи серьги (штропа) вертлюг 17. Последний служит для соединения колонны бурильных труб с буровым нагнетательным шлангом 19.

Верхняя труба 20 квадратного или шестигранного сечения проходит сквозь соответствующие вкладыши ротора 2 и соединяется вверху с вертлюгом и внизу с колонной бурильных труб 24.

При турбинном бурении ротор 2 заторможен и колонна бурильных труб не вращается.

При роторном бурении долото 26 присоединяется к низу утяжеленной колонны бурильных труб (УБТ), которая вращается ротором.

При турбинном бурении долото 26 навинчивается на вал турбобура 25. Последний через переводник соединяется с колонной бурильных труб 24.

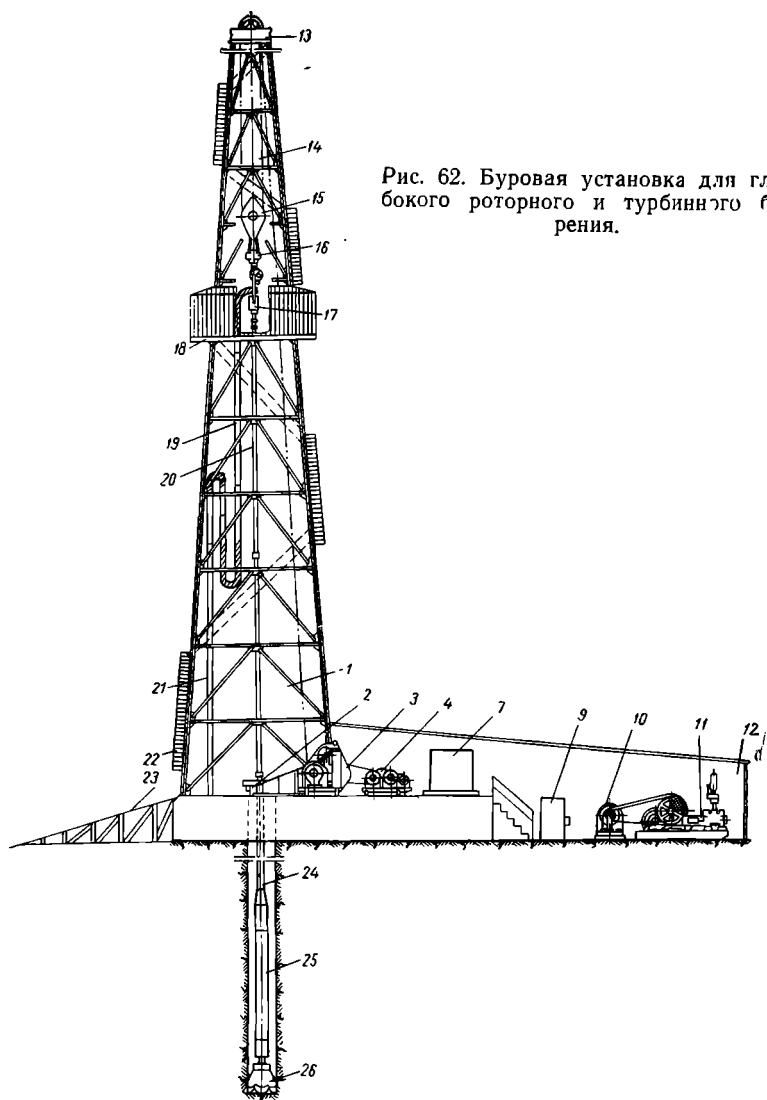
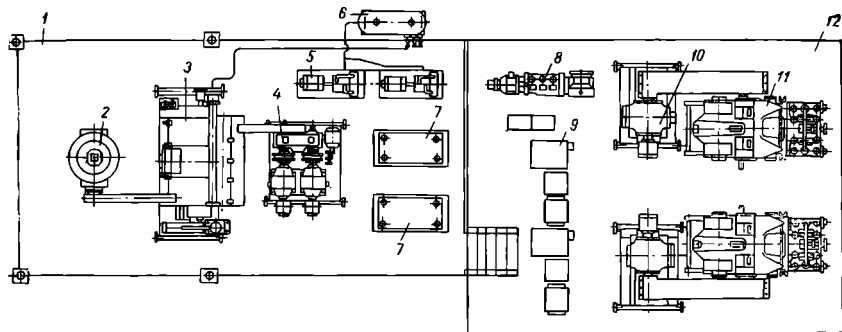


Рис. 62. Буровая установка для глубокого роторного и турбинного бурения.



Во время бурения насосы 11 нагнетают промывочную жидкость через стояк 21, шланг 19 и вертлюг 17 в колонну бурильных труб. Поток промывочной жидкости движется вниз в трубах 24, охлаждает долото и транспортирует разрушенную породу на поверхность по кольцевому каналу между колонной бурильных труб и стенками скважины. При турбинном бурении он приводит в действие рабочие колеса (роторы) турбобура.

Колонна бурильных труб, подвешенная при помощи крюка к талевому блоку, по мере углубления долота в породу плавно опускается бурильщиком с тормозов барабана лебедки. При этом бурильщик так регулирует подачу инструмента, чтобы нижняя часть колонны, собранная из тяжелых труб (УБТ), с большой силой давила на шарошечное долото. Как только долото изнашивается, что приведет к снижению механической скорости бурения, для замены износившегося долота колонну бурильных труб поднимают на поверхность, развинчивая ее на свечи.

Во время подъема и спуска бурильной колонны на верхних полатах 18 помещается верховой рабочий, двое рабочих работают с ключами возле ротора, а бурильщик управляет лебедкой. Для сообщения с рабочими полатами и кронблоками служат маршевые лестницы 22.

Для глубокого бурения на нефть и газ имеется много типов буровых установок, рассчитанных на различную глубину бурения.

Ввиду того что с увеличением глубины бурения растет вес бурильных и обсадных колонн, принято характеризовать установки их грузоподъемностью. На разведочных работах часто применяются буровые установки БУ-50 и БУ-75 (БУ-80) грузоподъемностью 50 и 75 Т.

§ 2. ПЕРЕДВИЖНЫЕ РОТОРНЫЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ

Для структурно-картировочного бурения и проходки скважин на воду применяются легкие передвижные роторные буровые установки. Характеристика их приведена в табл. 17.

Наиболее часто на разведочных работах применяются самоходные установки типа УРБ-ЗАМ, особенно при бурении гидрогеологических скважин.

Кинематическая схема этой самоходной буровой установки представлена на рис. 63, а. Как видно из этой схемы, вращение от двигателя 1 через фрикционную муфту и карданный вал передается коробке передач 3.

Вращение ротору 5 передается от коробки передач через промежуточный валик, включаемый кулачковой муфтой, и карданный вал. Вал лебедки 4 приводится во вращение угловым редуктором, состоящим из пары конических шестерен и цепной передачи, включаемой кулачковой муфтой. Свободно посаженный на вал барабан 4 включается в работу фрикционной муфтой.

Монтажная схема установки УРБ-ЗАМ представлена на рис. 63, б.

Характеристика легких роторных установок

Показатели	АВВ-3-100	УРБ-2А	УРБ-3АМ	1БА-15я	БА-2000
Тип буровой установки		Самоходная			Стационарная
Глубина бурения (расчетная), м ¹ . . .	100	200; 300	300; 500	500 (1000) ³	2000
Начальный диаметр бурения, мм . . .	190	146	200	400 (250) ³	225
Диаметр бурильных труб, мм	50; 60,3; 73	50; 60,3	60,3; 73	60,3; 73; 89	50; 63,5; 73
Диаметр отверстия ротора, мм	76 (ротор откидной)	150	250	410 (252) ³	250
Грузоподъемность лебедки (натяже- ние каната), Т ²	1,25	2,52	2,8	3,8	6,0
Скорость подъема крюка, м/сек	0,15; 0,26; 0,54; 1,0	0,67; 1,34; 2,03	0,51; 0,87; 1,45	0,8; 1,5; 3,0; 5,0 ⁴	2—10
Рекомендуемый диаметр каната, мм . . .	12,5	15,5	15,5	—	—
Привод установки	От ходового двига- теля автомашины	От ходового двигателя	Дизель Д-54	Ходовой двигатель автомоб. ЯМЗ-236	Электродвигатели
Количество двигателей	1	1	1	1	4
Мощность двигателей, л. с.	95	До 50 л. с.	54	105 (при $n=1500$ об/мин)	75+200+ +2×30 ⁵ кВт
Тип подъемного устройства		Мачта			Мачта
высота, м	8,8	9,5	16	18	32
грузоподъемность, Т	—	10,5	10,0	20,0	50,0
Буровой насос	НГ 200/30	11ГР	11ГР	9МГ-Р	11ГР
Количество насосов, шт.	1	1	1	1	2
Производительность одного насоса, л/мин	260	300	300	225—390	450—600
Давление (расчетное), кг/см ²	30	40	40	63 40	65 40
Мощность (расчетная) на один на- сос, л. с.	20	48	48	50	2×30 кВт
Марка машины	ЗИЛ-150	ЗИЛ-151	МАЗ-200	МАЗ-500	—
Габаритные размеры установки, мм . . .	8800×2250×3100	10 090×2250×3300	10 700×2800×3400	10 860×2800×3750	20 000×12 000
Вес установки, кг	6,800	10,0	13,565	28 000 ³	18 000

¹ Практика сооружения скважин на воду показала возможность применения перечисленных агрегатов и установок для бурения большими диаметрами при соответствующем уменьшении глубины.

² Лебедка двухбарабанная.

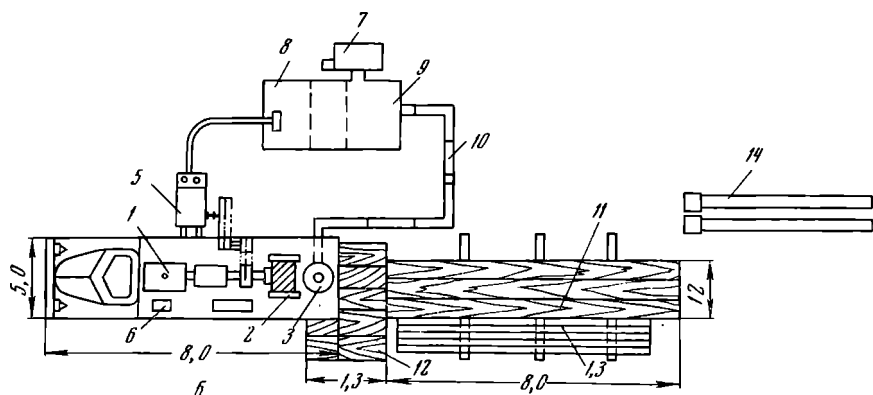
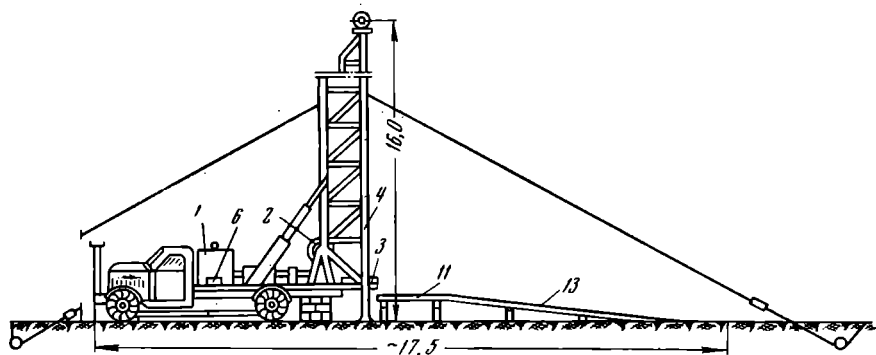
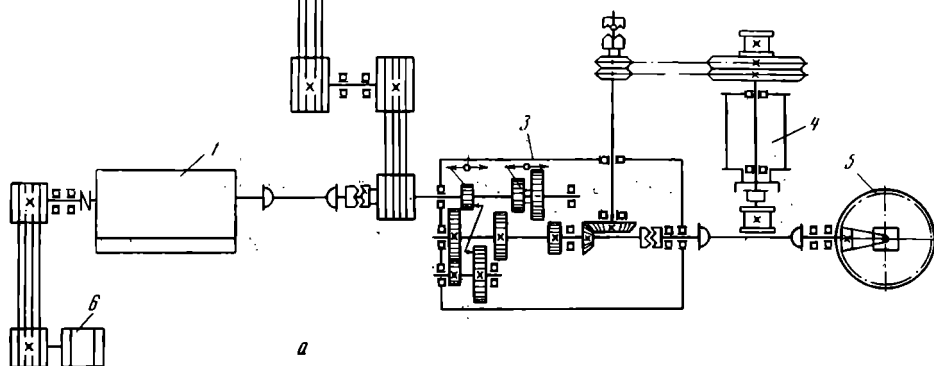
³ В скобках показаны возможности установки при применении уменьшенных диаметров.

⁴ Скорости намотки каната на барабан.

⁵ Электродвигатели ротора (75 кВт) и лебедки (200 кВт) питаются от генератора постоянного тока.

Рис. 63. Самоходная буровая установка УРБ-ЗАМ.

a — кинематическая схема. 1 — дизель Д-54, 2 — насос ИГР, 3 — многоскоростная коробка передач, 4 — лебедка, 5 — ротор, 6 — электрогенератор ПНТ-85; б — монтажная схема. 1 — двигатель, 2 — лебедка, 3 — ротор, 4 — мачта, 5 — буровой насос, 6 — генератор, 7 — глиномешалка, 8 — приемная емкость, 9 — отстойник, 10 — желобная система, 11 — приемный мост, 12 — рабочая площадка, 13 — бурильные трубы, 14 — обсадные трубы.



Кунгурский механический завод начал выпускать самоходную буровую установку БА-15Н для проходки структурно-поисковых скважин глубиной 1000 м.

Отличительной особенностью этой установки является следующее:

1) самоходная транспортная база и использование двигателя автомобиля для привода всех буровых механизмов;

2) пневматическое управление всеми органами буровой установки;

3) монтаж насоса на автомашине;

4) вес агрегата БА-15Н такой же, как УРБ-ЗАМ, но значительно увеличена приводная мощность и повышен уровень механизации трудоемких работ.

При испытаниях БА-15Н средняя цикловая скорость приблизилась к 1000 м/ст.-мес.

§ 3. БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РОТОРНОГО БУРЕНИЯ

Инструмент (рис. 64) для роторного бурения собирается из долота 1, утяжеленных бурильных труб 3, колонны бурильных труб 5 с муфтово-замковыми соединениями, рабочей квадратной трубы 8 и вертлюга 10.

Отдельные элементы этого бурового комплекса соединяются друг с другом при помощи переводников, муфт и замков 2, 4, 6 и 7. Верхний переводник 9 под вертлюг имеет левую резьбу.

При роторном и турбинном бурении в основном применяются шарошечные долота.

Шарошечное долото (рис. 65, а) состоит из трех сваренных между собой секций (лап) 3, на цапфах которых на шарико-роликовых опорах 5 вращаются шаршки 4 с зубьями 7, армированными сплавом релит. В лапах долот имеются отверстия 2 для прохода жидкости. Для присоединения к бурильным трубам долото имеет наружную замковую конусную резьбу 1. Шаршки удерживаются от осевого перемещения шариками 5, вводимыми через канал 6, закрываемый пальцем. При вращении долота шаршки перекачиваются по забою. При этом зубья, расположенные на поверхности шаршки, наносят удары по породе и производят ее разрушение. В зависимости от формы шарошек и положения их осей относительно оси долота шаршки производят или чистое дробление, или дробление со скалыванием.

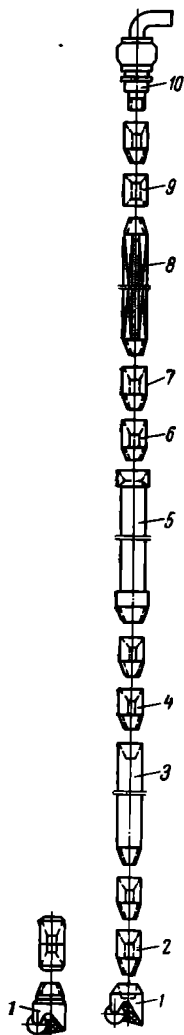


Рис. 64. Буровой инструмент для роторного бурения.

На каждой шарошке зубья расположены несколькими венцами, причем на разных венцах имеется различное число зубьев и вершины их смещены таким образом, что шарошка при перекатывании поочередно опирается на зубья из различных венцов.

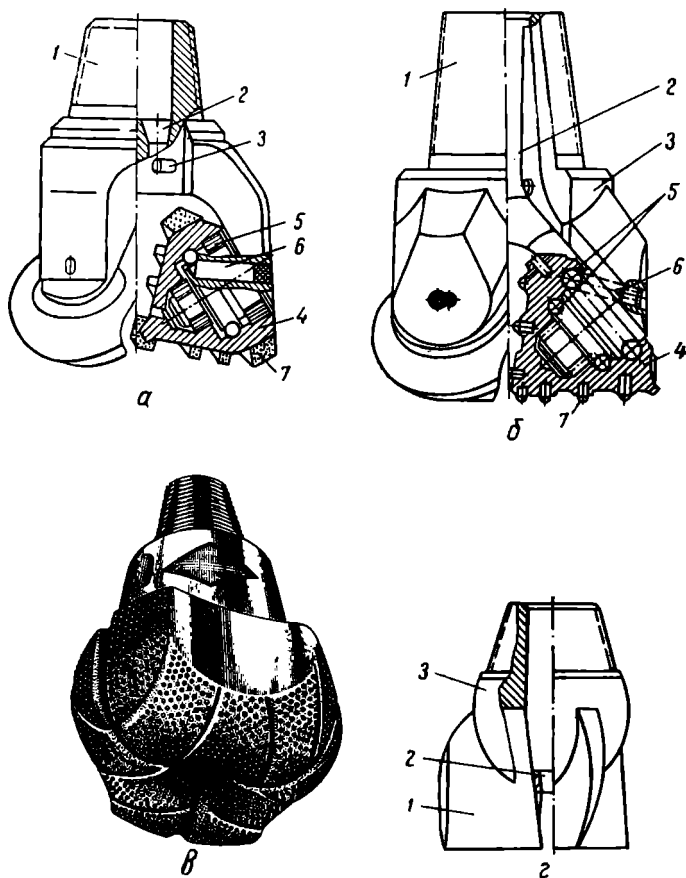


Рис. 65. Долота для роторного и турбинного бурения.
 а — трехшарошечное; б — штыревое шарошечное; в — алмазное;
 г — трехперое.

Износостойкость опор трехшарошечных долот должна превышать износостойкость зубцов. В противном случае возникает опасность оставления шарошек в скважине.

В зависимости от назначения эти долота делятся на:

- 1) долота марки М предназначены для бурения мягких пород — они вооружены наиболее высокими острыми зубьями;
- 2) долота марки С — для пород средней твердости;
- 3) долота марки Т — для твердых пород;

4) долота марки К с мелкими зубьями — для бурения крепких пород.

Для наиболее крепких пород шарошки армируются цилиндрическими вставками из вязкого твердого сплава. Рабочая поверхность цилиндрических штырей обычно имеет сферическую форму (рис. 65, б).

Разрушение хрупкой породы штыревыми долотами осуществляется путем вдавливания сфер и выкалывания объемов породы, окружающей зону контакта. Штыревые долота при бурении в крепких хрупких породах дают проходку, в несколько раз большую по сравнению с зубчатыми трехшарошечными долотами. При встрече пластичных пород, в которых вдавливание сфер происходит без образования трещин, производительность бурения штыревыми долотами резко падает.

Номинальный размер долот обозначается номером. Номер показывает размер обсадных труб в дюймах, в которые спускается долото.

В вязких глинистых породах более эффективно работают долота режущего типа. Наиболее эффективно в глинистых породах бурение осуществляется трехперыми долотами (рис. 65, г).

Трехперое долото состоит из корпуса 3 с центральной промывочной насадкой 2. В пазы корпуса вварены три лезвия 1.

Трехперые долота с центральной промывкой разрушают породу путем резания и размыывания высоконапорной струей, направляемой насадкой по центру скважины.

Для бурения в относительно мягких породах могут применяться также гидромониторные шарошечные долота. Струя раствора, вылетающая с большой скоростью из гидромониторных сопел под давлением 40—60 кг/см², может эффективно разрушать (размывать) такие породы, как глина, мел, мергель.

В таких породах также эффективно бурят одношарошечные долота ОДГ, разработанные в Грозном.

При роторном и турбинном бурении на глубинах более 3000 м с успехом применяются алмазные долота (рис. 65, в). Главным достоинством алмазных долот является то, что они обеспечивают до износа проходку до 300—600 м, хотя бурят с меньшей механической скоростью, чем шарошечные долота; при больших глубинах скважин наибольший экономический эффект дает увеличение проходки на рейс и уменьшение количества спуско-подъемов.

Алмазные долота выпускаются как для бескернового, так и для колонкового бурения.

Для отбора керна применяются колонковые долота (рис. 66).

Бурильные трубы при глубоком роторном бурении несут очень тяжелую работу. Поэтому бурильные трубы готовятся из высококачественной стали с высокими механическими свойствами.

Во избежание ослабления нарезанных соединений концы труб высаживаются внутрь.

Для повышения механических свойств трубы подвергаются термической обработке. Трубы имеют муфтово-замковые соединения (см. рис. 18). Резьба труб и муфт имеет 8 ниток на 25,4 мм при конусности 1:16. Соединительные замки изготавливаются из легированной стали и термически обрабатываются. Соединительная резьба замков имеет конусность 1:4 и резьбу 5 ниток на 25,4 мм.

Характеристика бурильных труб, применяемых наиболее часто при разведочном роторном бурении, приведена в табл. 18.

Рекомендуется надевать на бурильные трубы протектора, изготавливаемые из специальной резины. Наружный диаметр их на 15—35 мм больше наружного диаметра замка. Назначение их — предохранять обсадные трубы и замки от истирания, поглощать вибрации и центрировать инструмент в скважине.

В последнее время проводят испытания бурильных труб, изготовленных из легких сплавов алюминия и магния. Вес бурильных колонн, собранных из таких труб и погруженных в промывочный раствор, резко уменьшается. Это позволяет уменьшить мощность буровых установок, ускорить спуско-подъемные операции, повысить эффективность процесса бурения.

Штанги рабочие квадратные или шестигранные (см. рис. 64) предназначены для передачи вращения от стола ротора колонне бурильных труб.

Квадратная штанга состоит из собственного штанга и двух переводников: верхнего и нижнего. Верхний переводник служит для присоединения вертлюга к штанге при помощи левой замковой резьбы.

Вертлюг состоит из трех главных узлов (см. рис. 62):

1) узла, вращающегося вместе с рабочей трубой;

2) невращающегося узла, соединенного при помощи отвода с нагнетательным шлангом и подвешенного при помощи серги или стропов к крюку;

3) опорного узла (опорного подшипни-

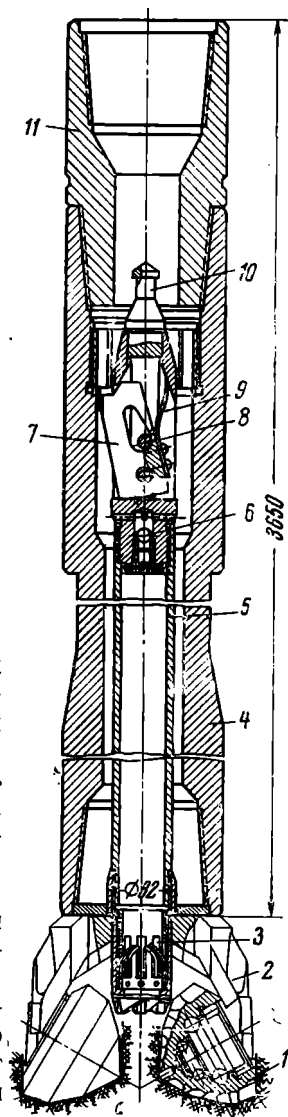


Рис. 66. Колонковое шарошечное долото ДСО со съёмной грунтоноской.

1 — шарошка, 2 — головка долота, 3 — кернорватель, 4 — корпус долота, 5 — грунтоножка, 6 — дренажный клапан, 7 — фиксатор (запорное устройство), 8 — палец, освобождающий фиксатор в начале подъема грунтоноски, 9 — пружина, 10 — головка, 11 — переходник.

Характеристика бурильных труб

Трубы					Муфты	
Наружный диаметр, мм	Толщина стенок, мм	Внутренний диаметр, мм	Вес 1 м, кг	Увеличение веса за счет высадки концов, кг	Наружный диаметр, мм	Вес, кг
73	9	55	14,2	2,5	95	4,2
89	9	71	17,8	3,0	108	4,4
	11	67	21,2			
114,3	8	98,3	20,97	6,0	140	9,0
	10	94,3	25,5			

Продолжение табл. 18

Замки					Примечание
Наружный диаметр, мм	Длина, мм			Вес замка в сборе, кг	
	ниппеля	муфты	замка в сборе		
108	260	260	432	20	Резьба замковая 5 ниток на 25,4 мм, конусность 1:4
118	275	275	454	23	
146	300	300	498	38	

ка качения), на котором в процессе бурения подвешена вращающаяся тяжелая колонна.

Ответственной частью вертлюга является основной подшипник, воспринимающий на себя большую нагрузку от веса вращающейся колонны бурильных труб.

Крюки. К серье талевого блока при помощи штропа присоединяется подъемный крюк, на который во время бурения подвешивается вертлюг, а во время спуско-подъемных операций — элеватор. Крюк снабжается предохранительной защелкой.

Элеваторы (подъемные шарнирные хомуты со штропами) являются инструментом, подхватывающим и удерживающим трубы при подъеме и спуске. Элеваторы подхватывают трубу под муфту или замок и закрываются с помощью запорного приспособления.

Для свинчивания и развинчивания бурильных труб применяются машинные шарнирные ключи со вставными плашками (см. рис. 17). Ввиду необходимости при развинчивании соединений прилагать большие усилия, которые обычно передаются через канат с катушек станка, части ключей изготавливаются из высокопрочного материала. Ключи тяжелые, поэтому они висят на особых канатах с уравновешивающим противовесом.

За последнее время для облегчения и ускорения развинчивания труб стали внедряться автоматические ключи для механического свинчивания и развинчивания бурильных труб, а также для свинчивания 127- и 152-мм обсадных труб в процессе спуско-подъемных операций. Управление работой ключа производится с пульта. Работа механизмов осуществляется с помощью пневмодвигателя и пневмоцилиндров от сети сжатого воздуха.

Применение автоматических ключей на буровых (например, ключа АКБ-3М) ускоряет процесс спуска и подъема бурильных труб, спуск обсадной колонны, обеспечивает плотное свинчивание резьбы и полностью устраняет применение физической силы.

§ 4. ЗАБОЙНЫЕ ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Преимущество забойных двигателей

Основное преимущество забойных двигателей заключается в том, что вся мощность двигателя передается породоразрушающему инструменту и отпадает затрата энергии на вращение бурильной колонны. Забойные двигатели дают возможность во много раз увеличить забойную мощность и тем самым резко увеличить механическую скорость бурения.

Отсутствие вращения бурильной колонны позволяет широко использовать этот способ для направленного бурения скважин. В настоящее время имеются два вида погружных буровых агрегатов: гидротурбина с долотом — турбобур и электродвигатель с долотом — электробур.

Краткие сведения о турбинном бурении

При помощи турбобуров в СССР проходится около 80% нефтяных и газовых скважин. Современный турбобур представляет собой многоступенчатую турбину осевого типа, работающую в принудительном потоке жидкости. Принцип действия турбобура заключается в преобразовании гидравлической энергии потока жидкости в механическую энергию вращения вала.

Рабочая жидкость (глинистый раствор или вода) подается к турбобуру через бурильные трубы с помощью насосов. Пройдя колонну бурильных труб и переводник турбобура, рабочая жидкость попадает в направляющие каналы диска статора первой ступени. Этими каналами поток направляется под определенным углом на лопатки диска ротора той же ступени, приводя его во вращение (рис. 67, а). Таким образом, поток жидкости проходит последовательно все ступени турбины, затем через отверстия вала направляется в долото.

Турбобур состоит из вращающейся и неподвижной систем (рис. 67, б). Вращающаяся система связана с долотом и состоит из вала, рабочих колес турбины (дисков ротора) и деталей верх-

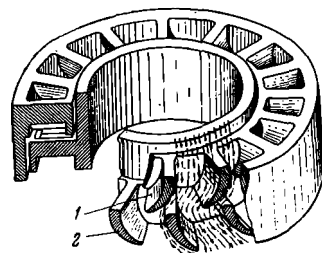
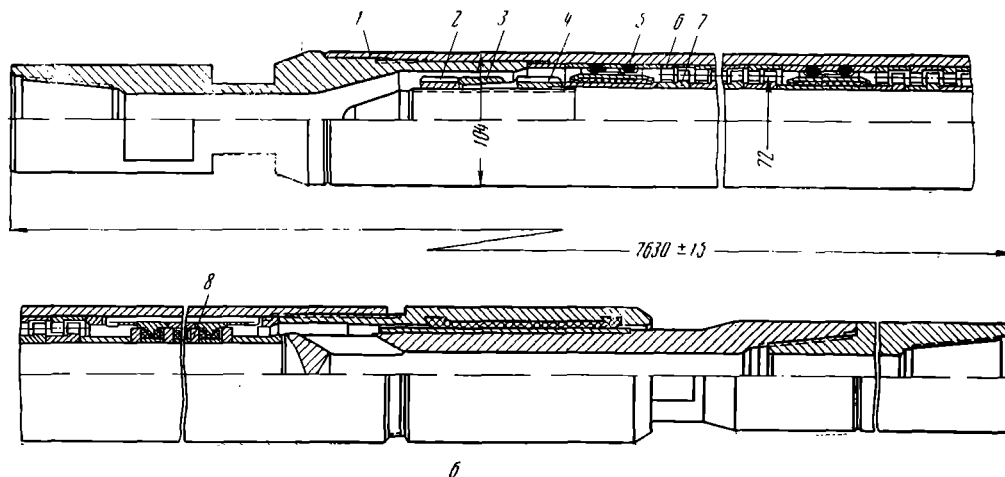


Рис. 67. Турбобур.

a — секция статора и ротора. 1 — лопатка статора, 2 — лопатка ротора; *б* — разрез турбобура для разведочного бурения. 1 — корпус, 2 — контргайка, 3 — колпак, 4 — гайки для крепления роторов, 5 — резиновые опоры, 6 — статоры, 7 — роторы, 8 — блок подпятников.



ней, нижней и средних опор. Неподвижная система связана с колонной бурильных труб и состоит из корпуса с переводником, направляющих колес турбины (дисков статора), верхней, нижней и средних опор. Корпус турбобура верхним концом через переводник присоединяется к колонне бурильных труб.

Лопатки ротора имеют такой же профиль, как и лопатки статора, но повернуты в противоположную сторону. Профиль лопаток ротора является зеркальным отображением лопаток статора. Абсолютная скорость протекания раствора в каналах статора и относительная скорость в лопатках ротора будут равны.

На роторах турбины под действием потока создается активный вращающий момент, а на статорах — равный активному по величине и противоположный по направлению реактивный момент. Возникающий на роторах крутящий момент передается на вал турбины. Вследствие перепада давления в турбобуре возникает осевая гидравлическая нагрузка на вал и его опоры, направленная сверху вниз. Эта нагрузка определяется формулой

$$P = p \frac{\pi D_0^2}{4}, \quad (46)$$

где P — продольная нагрузка в $\kappa\Gamma$; p — перепад давления в турбобуре в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$; D_0 — средний или расчетный диаметр турбины в см .

К гидравлической нагрузке прибавляется вес вращающейся системы (вала с роторами, долота).

При производительности насосов 35—50 л/сек суммарная продольная нагрузка, действующая вниз, может достигнуть многих тонн. При давлении долота на забой эта нагрузка начинает восприниматься забоем и усилие, действующее на пята, уменьшается. Когда нагрузка на забой достигнет величины гидравлической нагрузки, подпятник разгружается от действия осевых сил, когда же нагрузка на забой более гидравлической нагрузки, верхняя плоскость подпятников полностью разгружается и подпятник начинает работать в обратном направлении.

Эффективная мощность турбобура определяется по формуле

$$N_{\tau} = \frac{QH\gamma_{ж\tau}}{102} \text{ квт}, \quad (47)$$

где H — перепад давления в турбобуре в м вод. ст. ; $\gamma_{ж}$ — удельный вес промывочной жидкости в $\kappa\Gamma/\text{м}^3$; Q — расход жидкости в $\text{м}^3/\text{сек}$; η_{τ} — к. п. д. турбобура, зависящий от гидравлических сопротивлений в каналах турбобура и от потерь мощности в опорах турбины, $\eta_{\tau} \approx 0,5 \div 0,55$.

Для турбобуров характерны следующие закономерности:

- 1) скорость вращения турбобура изменяется пропорционально количеству подаваемой жидкости;
- 2) перепад давления в турбобуре пропорционален количеству прокачиваемой через него жидкости во второй степени;

3) мощность турбобура изменяется пропорционально кубу количества прокачиваемой жидкости.

Таким образом, при уменьшении расхода прокачиваемой жидкости в 2 раза мощность турбобура будет снижена в 8 раз.

При глубоком бурении и при проходке вязких пород более эффективно работают секционные турбобуры, при этом два или три турбобура соединяются в единый агрегат.

Механическая скорость при бурении турбобуром примерно в 5 раз выше, чем при роторном бурении; общее время на бурение скважин снижается в 1,6—2,6 раза по сравнению с обычным вращательным бурением. Уменьшение времени бурения скважины турбобуром объясняется не только высокой механической скоростью бурения, но и сокращением аварийности с бурильными трубами.

Внедрение малогабаритных безредукторных турбобуров должно внести большие изменения как в технику, так и в технологию бурения геологоразведочных скважин.

Прежде всего потребуется создание насосов высокого давления и сравнительно высокой производительности. Для снижения гидравлических потерь бурильные трубы должны быть большого диаметра и гладкими внутри. Шланги, вертлюги и прочее оборудование должны быть рассчитаны на высокое давление. Необходимо разработать колонковые снаряды, рассчитанные на бурение при высоких скоростях вращения.

Освоение малогабаритных турбобуров на разведочных работах позволит более эффективно применять алмазное бурение, дающее высокие показатели на больших скоростях вращения. При применении алмазных коронок или других износостойчивых долот с успехом найдет применение турбодолото со съемной керноприемной трубой (грунтоносом), извлекаемой при помощи специального ловителя на канате.

Перспективы внедрения электробуров

Электробур, применяющийся в практике бурения, имеет два вида: электробур на трубах и на канате.

Электробур на трубах (Островского и Александрова). Турбинное бурение при всех своих достоинствах имеет недостаток, заключающийся в том, что общий к. п. д. установки турбинного бурения довольно низок и при глубоком бурении не превышает 0,2—0,3. Основные потери мощности вызываются значительными гидравлическими сопротивлениями на пути движения потока жидкости от насоса к турбобуру; значительные потери мощности отмечаются и в самом турбобуре.

Электробур представляет собой погружной электродвигатель, установленный в верхней части длинного герметичного цилиндра, наполненного маслом. Питание электроэнергией осуществляется посредством отрезков кабеля, проложенных внутри бурильных

труб. Концы кабеля заделаны в замковые соединения так, что при свертывании бурильных труб в колонну они автоматически соединяются.

Подвод тока к бурильным трубам на поверхности производится посредством контактных колец и щеток, смонтированных на спе-

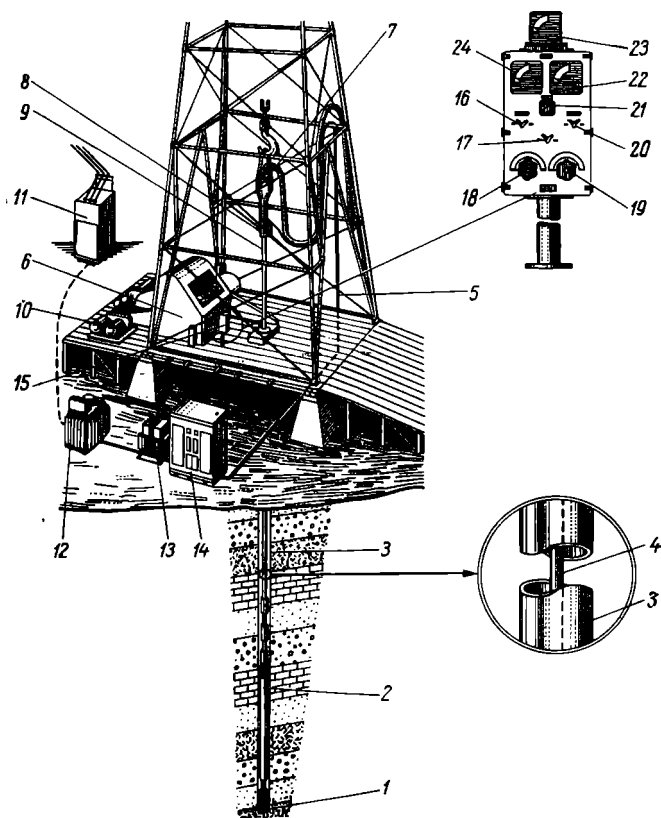


Рис. 68. Схема электробуровой установки.

1 — долото, 2 — электробур, 3 — бурильные трубы, 4 — токопровод (кабель) в трубах, 5 — электрокабель, 6 — буровая лебедка, 7 — вертлюг, 8 — кольцевой токоподвод, 9 — квадрат, 10 — электродифференциальный регулятор подачи БАР-150, 11 — токоприемный ящик, 12 — трансформатор, 13 — высоковольтный выключатель, 14 — станция управления электробуром, 15 — пульт управления, 16, 17, 18 — кнопки включения — выключения электробур, бурового насоса, регулятора подачи, 19 — регулятор скорости подачи долота, 20 — регулятор загрузки электробур, 21 — переключатель для ступенчатого изменения скорости подачи долота, 22 — амперметр, 23 — ваттметр, 24 — вольтметр.

циальном переводнике, помещенном между вертлюгом и рабочей трубой (электровертлюг).

Схема бурения электробуром приведена на рис. 68.

Испытания электробур на нефтепромыслах Башкирии показали, что электробур имеет ряд положительных качеств:

- 1) дает возможность в 2—3 раза сократить износ бурильных труб;
- 2) работает при значительно меньших расходах промывочной жидкости и значительно меньшем давлении насосов (по сравнению с турбобуром);
- 3) позволяет снизить на 30% расход электроэнергии;
- 4) позволяет эффективно производить бурение скважин с промывкой.

§ 5. РЕЖИМ РОТОРНОГО И ТУРБИННОГО БУРЕНИЯ

При проходке картировочных, поисковых и гидрогеологических скважин широко используется роторное бурение.

При бурении в мягких породах применяются долота режущего типа РХ, трехперые (см. рис. 65, г). Последние часто оснащаются гидромониторной насадкой, что способствует увеличению производительности бурения.

Наиболее распространенными породоразрушающими инструментами являются трехшарошечные долота, тип которых выбирается в соответствии с физико-механическими свойствами буримых пород.

Бурение производится при следующих режимах.

Осевая нагрузка на долото подбирается в соответствии с физико-механическими свойствами пород.

При проходке различных пород принимают нагрузку на 1 см диаметра долота: 0,4—0,5 *T* в аргиллитах, песчаниках, известняках, 0,5—0,6 *T* в ангидритах и 1 *T* в крепких кремнистых породах.

Скорости вращения долота принимаются от 100 до 250 *об/мин*. Чем крепче и абразивнее порода, тем меньше скорость вращения. Скорость вращения бурильной колонны уменьшают также с увеличением глубины скважины. При турбинном бурении долото вращается со скоростью 500—700 *об/мин*. При этом скорость вращения вала турбобура и долота изменяется в зависимости от момента сопротивления, приложенного к валу турбобура, который увеличивается с повышением осевой нагрузки и уменьшением твердости пород.

Расход промывочной жидкости рассчитывается, исходя из скорости восходящего потока 0,6—0,8 *м/сек*. При турбинном бурении расход жидкости определяется также технической характеристикой турбобура.

§ 6. АЛМАЗНОЕ БУРЕНИЕ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН НА НЕФТЬ И ГАЗ

Общие сведения

При бурении шарошечными долотами глубоких скважин на нефть и газ на больших глубинах наблюдается уменьшение механических скоростей и особенно величин рейсовых проходок.

Одним из наиболее надежных способов повышения эффективности бурения нижних интервалов глубоких скважин является применение алмазных долот вместо шарошечных.

Эффективность применения алмазных долот обусловливается высокой проходкой на долото и значительным снижением затрат времени на спуско-подъемные и вспомогательные операции. При проходке алмазными долотами нижних интервалов глубоких скважин механическая скорость бурения обычно снижается на 15—50%, рейсовая скорость возрастает в 2,3—2,6 раза, коммерческая скорость увеличивается в 2,4—3,2 раза по сравнению с соответствующими показателями бурения шарошечными долотами.

Чем больше глубина скважины, тем эффективнее бурение алмазными долотами.

Алмазные долота целесообразно применять при бурении на глубинах более 2500—3000 м. Размеры алмазных долот 140, 188 и 212 мм. В долото армируют 400—600 карат алмазов в зависимости от диаметра долота (см. рис. 65, в).

Алмазные долота готовятся однослойными и импрегнированными. Однослойные долота, армированные относительно крупными алмазами, более подходят для геологических условий бурения на нефть и газ. Только для бурения абразивных песчаников и других подобных пород будут более подходить импрегнированные долота.

Объем алмазного бурения на нефть и газ быстро растет. В 1961 г. алмазными долотами пройдено (на нефть и газ) всего 971 м, а в 1965 г. — 64 038 м.

Средняя проходка на одно алмазное долото повысилась с 81 м в 1961 г. до 227 м в 1966 г., при средней механической скорости бурения 0,98 м/ч. Следует указать, что при правильной отработке долот в соответствующих геологических условиях проходка на отдельные долота значительно превосходит среднюю проходку и достигает 600—1500 м. Средняя проходка на шарошечное долото в тех же интервалах глубин составляла всего 6—10 м. Расход алмазов на 1 м проходки колебался в пределах 0,16—2,0 карат/м. Средний расход на 1 м проходки с учетом возврата регенированных алмазов составил 1,14 карат/м (для среднего диаметра алмазного долота 188 мм). Общий выход регенированных алмазов из отработанных долот составлял 60%, но повторно использовались для бурения только 22% от исходного количества алмазов.

Эффективность глубокого алмазного бурения на нефть и газ в СССР оказалась в 2 раза выше, чем за рубежом.

Это объясняется тем, что бурение глубоких скважин алмазными долотами в СССР в основном производится турбинным способом при скорости вращения долота 500—600 об/мин. За рубежом в основном проходка скважин алмазными долотами осуществляется роторным способом при скорости вращения инструмента 60—100 об/мин.

В Полтавской области 19 алмазных долот, отработанных роторным способом, пробурили всего 1842 м, или в среднем 97 м на

одно долото, а 21 алмазным долотом, отработанным в тех же геологических условиях турбинным способом, пробурили 7411 м, или 353 м на одно долото.

В Куйбышевской области при бурении роторным способом механическая скорость алмазного бурения колеблется в пределах 0,46—0,80 м/ч, проходка на одно долото была всего 34,5 м.

При турбинном алмазном бурении механическая скорость повысилась до 0,87—1,57 м/ч, а проходка на алмазное долото достигла 168 м.

Технология глубокого алмазного бурения

Глубокие скважины на нефть и газ бурятся в верхних интервалах шарошечными долотами. При бурении шарошечными долотами забой часто засоряется металлическими обломками.

Поэтому перед началом алмазного бурения забой должен быть очищен от металла с помощью магнитного фрезера в компоновке с забойным шламоуловителем.

Во избежание аварийного износа алмазных коронок ВНИИБТ рекомендует.

1. Забой скважины должен быть полностью очищен от металла.

2. Бурение новым долотом надо начинать при осевой нагрузке, не превышающей 1 Т (в пределах первых 0,5—1,0 м).

3. Нагрузку до оптимальной надо доводить постепенно.

4. Скорость восходящего потока в призабойной зоне должна быть 3,0—3,5 м/сек и более.

5. Низ бурильного инструмента должен быть стабилизирован (центрирован) и не иметь вибрации в процессе бурения.

Скорость вращения алмазного долота при турбинном бурении зависит от величины крутящего момента на долоте и колеблется в пределах от 400 до 600 об/мин, в среднем ~500 об/мин. При этих скоростях долото будет вращаться с окружными скоростями значительно более высокими, чем те, которые применяются у нас при разведочном алмазном бурении на твердые полезные ископаемые даже при высоких скоростях вращения шпинделя (до 1000 об/мин). При роторном алмазном бурении скорости вращения значительно ниже и колеблются в пределах от 50 до 100 об/мин в зависимости от глубины скважины.

Осевая нагрузка на алмазное долото имеет очень большое значение. Недостаточная нагрузка влечет за собой снижение скорости бурения и зашлифовку алмазного долота.

ВНИИБТ рекомендует следующие нагрузки на алмазные долота:

Диаметр долот, мм	140	188	212
Рекомендуемые нагрузки на долото, Т	2—4	3—6	4—8

Перегрузки долот хотя и повышают механическую скорость бурения, но резко снижают проходку на долото. Промысловые испытания алмазных долот диаметром 140 мм (№ 6) показали, что при осевой нагрузке 3—4 Т проходка на долото колебалась в пределах от 114 до 296 м. При колеблющихся нагрузках в пределах 6—14 Т проходка на долото в тех же условиях не превышала 60 м.

Следует указать, что турбобур является ограничителем осевой нагрузки, так как из-за значительной моментоемкости алмазных долот, достигающей 180—220 кг·м, при перегрузках турбобур останавливается и инструмент приходится натягивать, снижая осевые нагрузки.

В то же время из-за небольших межремонтных периодов работы турбобуров приходится делать много лишних спуско-подъемов, на что затрачивается много дополнительного времени. Одной из причин малого межремонтного срока работы турбобуров является то, что в процессе алмазного бурения нагрузку на долото дают ~3 Т, в результате чего пята турбобура испытывает большую нагрузку сверху вниз (за счет гидравлического перепада давления) и быстро изнашивается.

На механическую скорость алмазного бурения значительно влияет вязкость промывочного раствора. Отмечено, что при повышении вязкости глинистого раствора с 40 до 65 сек механическая скорость алмазного бурения снижалась на 20—25 %.

Из всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Алмазный буровой инструмент является эффективным породоразрушающим инструментом при бурении глубоких скважин на нефть и газ в нижних интервалах (глубже 2,5—3 км).

2. Экономический эффект от алмазного бурения можно получить только при рациональном выборе интервала глубин, правильном выборе типа алмазного долота в соответствии с физико-механическими свойствами пород и при тщательном соблюдении технологии алмазного бурения.

3. Турбинное бурение алмазными породоразрушающими инструментами пород средней крепости (известняки, доломиты и т. п.) обеспечивает наиболее высокие проходки на долото (свыше 300 м) и больше механические скорости.

4. При турбинном алмазном бурении осевая нагрузка свыше 6—8 Т (в зависимости от диаметра долота) приводит к значительному снижению проходки на долото в результате быстрого износа последнего.

5. Поэтому для алмазного бурения глубоких скважин очень важно иметь надежные и долговечные приборы, обеспечивающие точное определение осевой нагрузки на долото.

6. Стойкость алмазного долота в значительной степени зависит от равномерной подачи инструмента, не допускающей значительные колебания нагрузки на долото. Поэтому очень важно разработать надежные автоматы подачи, обеспечивающие постоянные относительно небольшие нагрузки на долото.

7. При бурении крепких абразивных пород проходка на алмазное долото резко снижается. Пока в подобных породах экономичнее бурить штыревыми шарошечными долотами при высоких осевых нагрузках. Поэтому предстоит еще создание специальных конструкций алмазных долот для бурения абразивных и крепких пород.

При турбинном бурении, вероятно, для этой цели будут наиболее подходить импрегнированные самозатачивающиеся долота, твердость алмазодержащей матрицы которых должна подбираться в соответствии с абразивными свойствами разбуриваемых пород.

§ 7. БУРЕНИЕ В МОРЕ И ОКЕАНЕ

Советский Союз омывается морями трех океанов. Морские границы нашей страны протянулись на десятки тысяч километров. На дне и под дном морей и океанов залегает много различных полезных ископаемых: марганцевые руды, фосфориты, нефть, газ и т. д. В первую очередь должны изучаться водные пространства непосредственно прилегающие к берегам континентов, т. е. область шельфа. Многие специалисты полагают, что очень большие запасы самых разнообразных полезных ископаемых, добыча которых крайне необходима для современной индустрии, залегают на дне или под дном в прибрежных районах, глубины которых не превосходят 300 м. Поэтому в последние годы в США, Франции, Японии велись исследования дна шельфа. В Советском Союзе тоже ведутся в этом направлении большие исследовательские и конструкторские работы, в первую очередь для разведки нефтяных и газовых месторождений.

Глубина воды, средняя высота волны и расстояние от берега определяют тип и конструкцию морского бурового основания:

1) при глубине моря от 15 до 25 м применяют крупноблочные морские основания, принятые у нас в Каспийском море;

2) при глубине моря от 15 до 80 м применяют плавучие буровые основания, которые во время бурения при помощи мощных колонн опираются на морское дно;

3) при глубине моря от 60 до 300 м бурение осуществляется с заякоренного бурового судна;

4) при глубине моря свыше 300—500 м применяется динамическая стабилизация плавучих буровых оснований.

Рассмотрим вкратце эти четыре системы.

Крупноблочные морские основания. В СССР для бурения морских скважин широко применяются крупноблочные основания типа МОС (Л. А. Межлумова, С. А. Оруджева, Ю. А. Сафарова) (рис. 69).

Основными конструктивными элементами основания типа МОС являются крупные блоки, представляющие собой металлические пространственные фермы, состоящие из телескопических опорных

стоек. Блоки транспортируют и устанавливают в намеченном месте с помощью кранового судна.

При монтаже основные опорные блоки устанавливаются на расстоянии 8 м друг от друга, а пролеты между ними перекрываются металлическими пространственными секциями жесткой конструкции. На этих крупноблочных основаниях монтируются буровые установки.

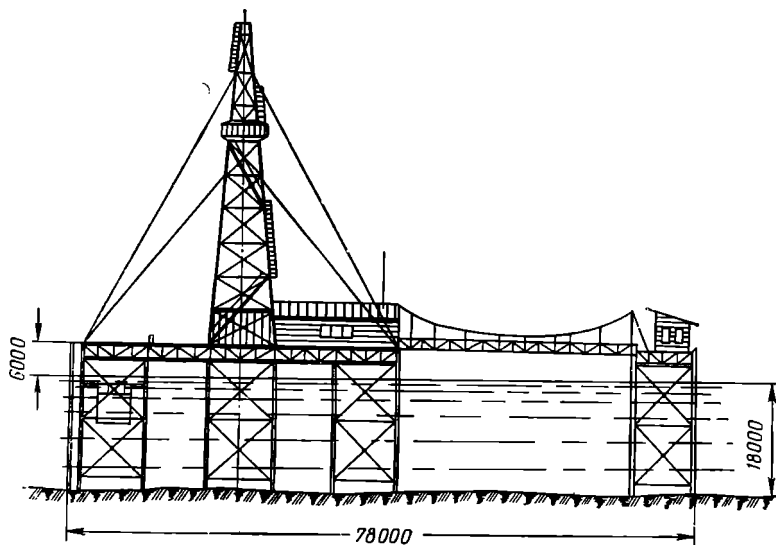


Рис. 69. Крупноблочное морское основание.

Плавучие буровые установки с затопляемыми понтонами применяются при глубинах моря от 15 до 80 м.

Примером такой установки является одна из крупнейших установок для морского бурения, изготовленная в Голландии по заказу одной американской компании.

Эта плавучая буровая установка (рис. 70), водоизмещением 8000 Т, рассчитана на бурение скважин глубиной до 6000 м. Во время бурения опирается через понтоны на морское дно тремя мощными колоннами. При больших глубинах установка во время бурения находится в плавучем состоянии и стабилизируется системой якорей. Установка имеет жилые помещения на 80 человек и помещения для хранения топлива, раствора, масла, продуктов, запаса труб и других расходных материалов на длительное время. Установка оснащена площадкой для вертолетов. В машинном отделении установлена дизель-электрическая станция, которая полностью обеспечивает энергией силовой привод буровой установки и всех вспомогательных служб.

Плавучая буровая установка транспортируется при помощи

буксира с береговой базы в район бурения, а по окончании бурения — на следующую точку. При прибытии на место бурения понтоны заполняются водой, колонны опускаются на грунт, опираются на него, в то же время во все отсеки второго дна загружается балласт (морская вода) для увеличения веса сооружения и начи-

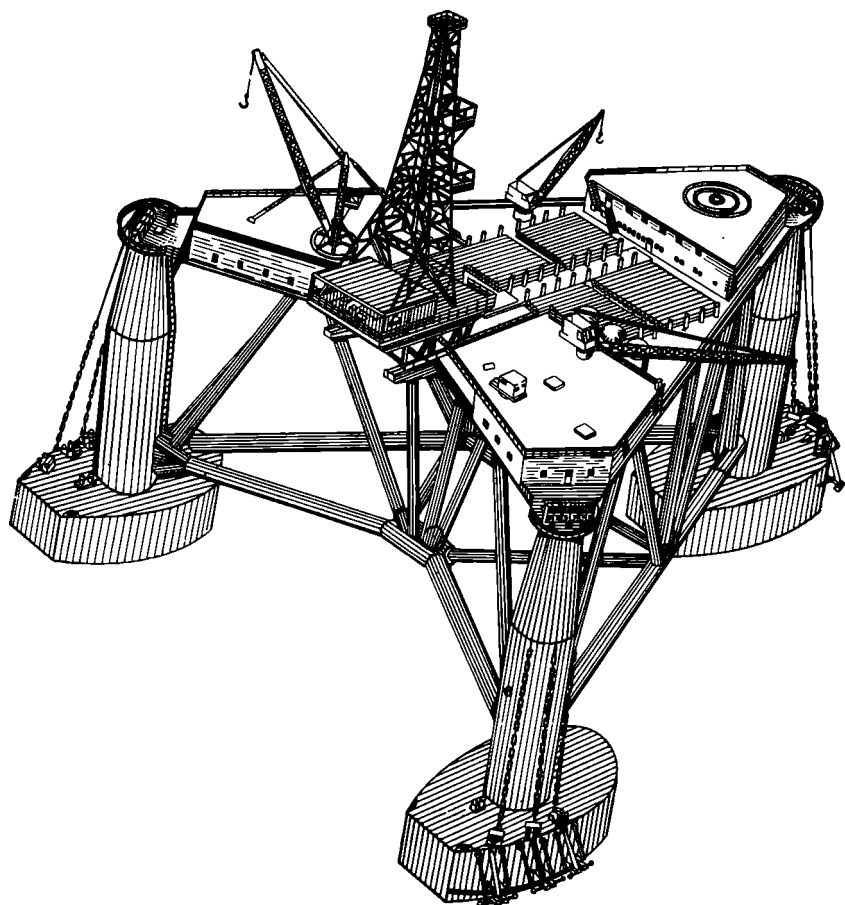


Рис. 70. Установка для глубокого бурения в море.

нается подъем буровой площадки над водой по колоннам на высоту до 15 м. В таком положении буровая площадка фиксируется и остается недоступной воздействию волн. Установка может работать при скорости ветра до 45 м/сек и высоте волн до 10 м.

При разведке угольных месторождений вблизи от берегов Шотландии применяются более легкие плавучие установки, в которых смонтированы станки для колонкового бурения (рис. 71). Буре-

ние этой установкой возможно при глубинах моря не более 35 м. Сама буровая установка смонтирована на конструкции (башне), собранной из стальных труб большого диаметра. Наверху башни имеется палуба шириной 25,8 м. На палубе установлена буровая вышка высотой 16,2 м и буровой агрегат. Башня обслуживается 2-м передвижным краном. Общий вес установки 500 т. Для перемещения башни используются стальные понтоны размером 51×5, 25×2,1 м и весом 125 т каждый *. На палубе имеются помещения

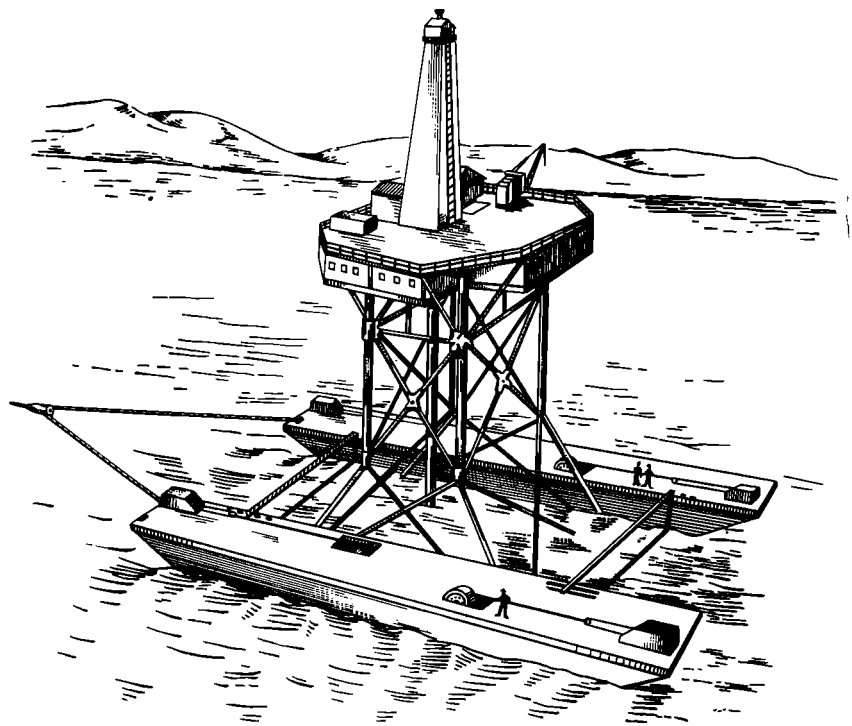


Рис. 71. Морская буровая установка для бурения разведочных скважин на уголь при перевозке ее по морю.

на 25 человек, а также всевозможные подсобные помещения.

В 1968 г. на Каспийском море пущена в эксплуатацию плавучая установка «Хазар», рассчитанная на бурение скважин глубиной до 6000 м. Отбуксированная к месту бурения установка будет опускать четыре опорные колонны длиной по 94 м и весом по 700 т каждая. После упора колонн в дно моря буровая платформа будет поднята на высоту, недостижимую для самых высоких волн (10—12 м).

* На месте бурения понтоны заполняются водой и погружаются на дно моря.

Заякоренные плавучие буровые установки применяются при глубине моря от 60 до 300 м.

Примером такой плавучей буровой установки может служить экспериментальное буровое судно ЭБС-3000/150 для бурения скважин глубиной до 3000 м при глубинах моря до 150 м (рис. 72). Буровое судно во время бурения находится на плаву и удерживается на точке стоянки мощной системой, состоящей из лебедок,

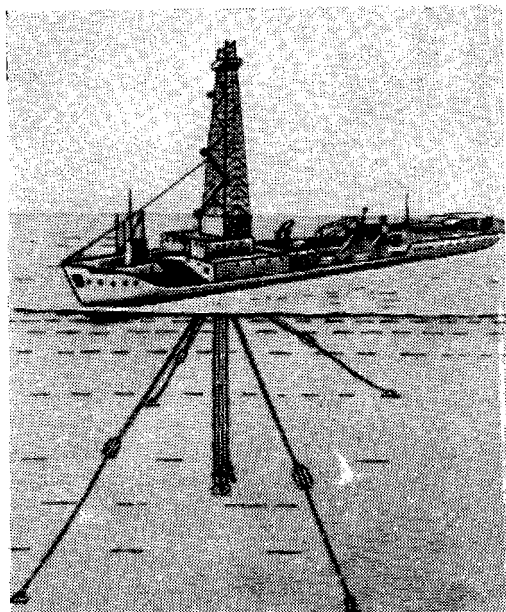


Рис. 72. Плавучая заякоренная буровая установка ЭБС-3000/150.

направляющих блоков и канатов, прикрепленных на дне к бурозаливным сваям. Дизель-электрическая установка имеет мощность 3300 л. с. В комплект технологического оборудования входят буровая установка «Уралмаш 6-Э», буровые насосы У8-4, насосы 9Т, глиномешалки МГ2-4, вышка высотой 41 м. Устье скважины оборудуется на дне моря; метод закачивания (в случае ее продуктивности) принят подводный. Комплекс специального подводного технологического оборудования состоит из фундаментной плиты (покоящейся на дне), к которой крепятся элементы, комплектующие устье скважины, и противовыбросового оборудования с гидравлическим управлением. Подводное устье соединено с судном обсадной колонной, направляющими канатами и устройством, позволяющим управлять превенторами и задвижками дистанционно. Обсадная и бурильная колонны снабжены компенсаторами вертикальных колебаний. Длина судна 100,6 м, ширина 16 м, водоизмещение 3980 т. Согласно расчетам, стоимость содержания бурового судна в месяц составляет 30,8 тыс. руб. Проведенный экономический анализ показал, что применение буровых судов дает крупную экономию при бурении на глубинах моря более 60 м.

Морское бурение при больших глубинах океана

Недалеко от Гавайских островов намечено бурение скважины по проекту «Мохоп» для вскрытия «мантии» Земли. Глубина океана здесь более 5 км. Ожидаемая глубина скважины ~10—11 км, из них не менее 5 км приходится на базальты.

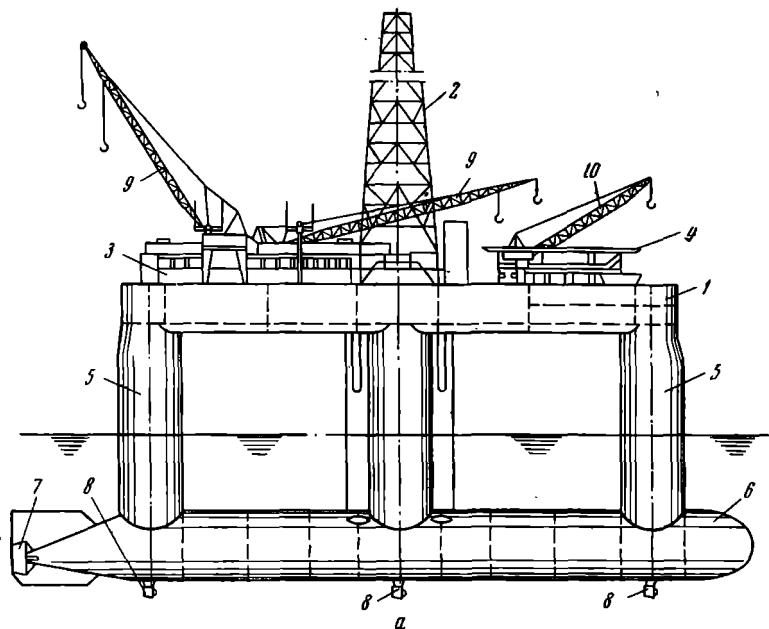
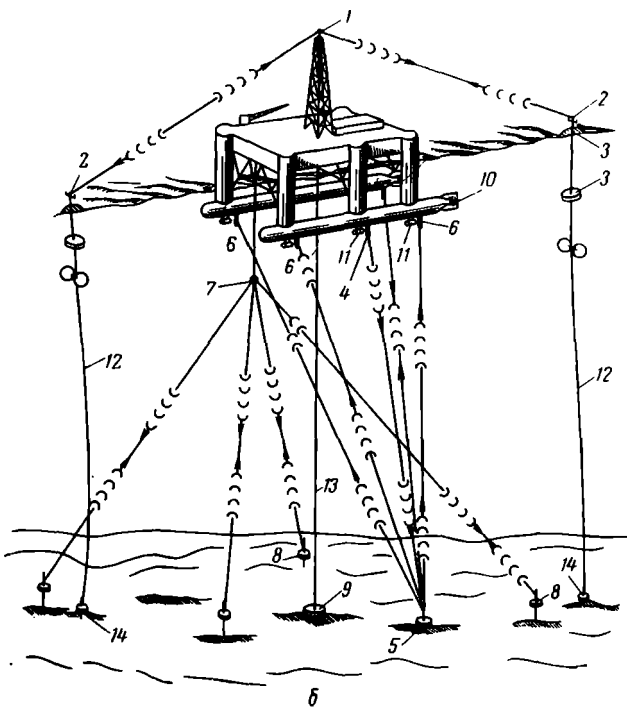


Рис. 73. Плавающая буровая установка «Моход» для бурения на верхнюю мантию Земли.

a — общий вид: 1 — основание под буровую установку с емкостями для топлива, промышленного раствора, питьевой воды, продовольствия и т. п., 2 — буровая вышка, 3 — стеллажи для бурильных и обсадных труб, 4 — площадки для вертолетов, 5 — опорные колонны, 6 — понтоны, 7 — главный гребной винт, 8 — винты для стабилизации бурового основания, 9 — краны для перемещения труб, 10 — кран для приемки грузов; б — схема динамической стабилизации буровой установки: 1 — радарная антенна, 2 — радарный рефлектор, 3 — поплавок радарного рефлектора, 4 — звукоизлучатель коротковолновых сигналов, 5 — донный гидроакустический коротковолновый приемопередатчик, 6 — гидрофон коротковолновой акустической сигнализации, 7 — приемник длинных акустических волн, 8 — донный длинноволновый излучатель, 9 — устье скважины, 10 — главный гребной винт, 11 — вспомогательные винты, 12 — якорные тросы, 13 — обсадная колонна, 14 — якоря (грузы).



Буровая платформа «Мохол» будет иметь длину около 85 м, ширину — 70 м и высоту — 41 м. Водоизмещение платформы 21 500 т (рис. 73). Буровая вышка располагается в центре платформы, где при качке будут наименьшие отклонения от вертикали.

Платформа представляет прямоугольную площадку с двойным пустотелым корпусом, который поддерживается шестью колоннами. Колонны имеют диаметр около 10 м и высоту 34 м, они опираются на два сигарообразных понтона длиной 108 м, диаметром 12 м.

Во время бурения платформа будет находиться выше уровня океана на ~ 20 м.

Рассчитано, что колонны, на которые опирается платформа, могут выдержать все нагрузки от действия волн самой большой силы.

Большая глубина океана, достигающая $\sim 5,5$ км, исключает систему статистической стабилизации путем заякоривания буровой платформы. Поэтому была разработана система динамической стабилизации, при которой буровая плавучая платформа будет дрейфовать вблизи от вертикальной оси скважины и непрерывно создавать определенное противодействие набегающим волнам и давлению ветра.

Динамическая система стабилизации позволяет автоматически определять местоположение платформы, подсчитывать направление движения ее и подавать сигналы системе двигателей, создающих противодействие. Система разрабатывается с учетом скорости течения воды в поверхностных слоях 5,6 км/ч и скорости ветра до 62 км/ч.

Максимально допускаемый радиус дрейфа зависит от глубины океана и равен при глубине океана 3650 м — 104 м, а при глубине — 5480 м — 152 м.

Стабилизация платформы будет производиться шестью вспомогательными винтами, расположенными под каждой колонной (см. рис. 73, а). Для усиления стабилизации могут включаться два главных гребных винта, которые используются для транспортировки платформы, но могут в штормовых условиях включаться и для стабилизации судна. Общая схема динамической стабилизации представлена на рис. 73, б. Информация о положении платформы относительно оси скважины осуществляется следующим образом.

Система длинных сигналов

Четыре излучателя длинных звуковых волн 8 располагают на дне океана в углах квадрата, центром которого является устье скважины на дне океана (рис. 73, б).

Сторона квадрата должна равняться глубине океана. В этом случае угол подачи сигналов будет равен около 45° . Сигналы будут приниматься приемником 7, который опускается с плавучего основания.

Вблизи от устья скважины на дне океана устанавливается коротковолновый гидроакустический приемопередатчик 5. Начальный сигнал подается звукоизлучателем 4, он принимается передатчиком 5 и после отражения улавливается четырьмя гидрофонами 6.

Сигналы от этих двух акустических систем подаются в электронно-счетные машины вычислительного центра, где производится расчет необходимых параметров стабилизации, а затем автоматическое включение соответствующих двигателей для привода винтов.

Радарная система

Эта система применяется как контрольная. Радарная система сигнализации использует четыре буйа на канатах 12, заякоренных на дне океана (см. рис. 73, б). Буи будут расположены так, что буровая плавучая платформа будет являться центром квадрата, образованного ими, сторона которого будет равна примерно 1,6 км.

Работа систем заключается в следующем. После получения сигнала с буя в вычислительном центре производится решение геометрической задачи о местонахождении платформы. Эта операция выполняется электронно-вычислительными машинами.

Данные от радарных датчиков поступают к оператору, и по ним проверяются первые две системы.

Вспомогательные винты 11 работают попарно. При нормальных погодных условиях работают только два винта. Когда условия ухудшаются, включаются остальные. Каждый винт приводится электродвигателем мощностью 750 л. с. Мотор и редуктор в водонепроницаемой капсуле устанавливаются в нижней части колонны с той целью, чтобы можно при необходимости поднять их на платформу для производства ремонта или осмотра.

Главные фюзеляжи (понтон) приводятся в движение двумя электродвигателями постоянного тока общей мощностью 7500 л. с. Эти мощные электродвигатели для стабилизации будут использоваться в случае штормовой погоды.

Оборудование устья скважины

Очень важной проблемой при бурении в открытом океане является надежное оборудование устья скважины.

Колонна обсадных труб длиной ~5,5 км и диаметром 298 мм соединит основание платформы с устьем скважины на дне океана.

Необходимость обсадной колонны объясняется сложностью попадания долота в скважину на дне океана.

Связь между устьем скважины на дне океана и платформой должна быть такой, чтобы буровая платформа могла свободно отсоединяться и подсоединяться к морскому кондуктору.

Напряжения на связывающей колонне обсадных труб зависят от подводных течений и волн, плавучести и маневренности платформы, давления глинистого раствора, веса буровой колонны и т. п.

Инструмент для сверхбурового бурения

Подсчитано, что бурение для достижения мантии Земли будет продолжаться около 3 лет.

Но уже сейчас прошли испытания бурового инструмента и оборудования в Техасе при бурении в крепких базальтовых породах, которые по данным лабораторных и геофизических исследований подобны базальтам, залегающим под дном океана. За 82 дня была пробурена в базальтах скважина глубиной около 1000 м.

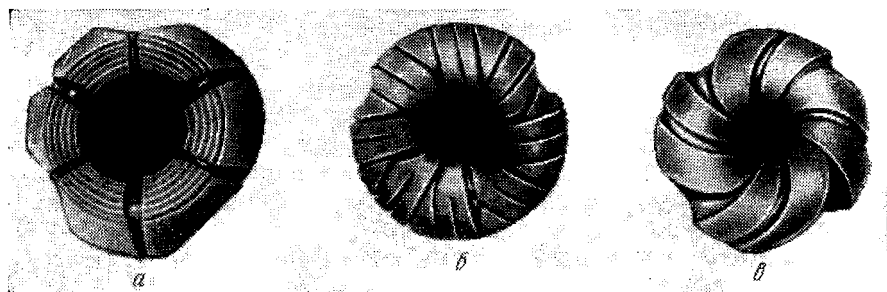


Рис. 74. Алмазные коронки.

а — с радиальными и кольцевыми канавками; *б* — с радиальными расходящимися канавками; *в* — с радиальными канавками.

При испытании бурение производилось роторным способом и турбинным.

Турбобур показал преимущества перед приводом с поверхности в том отношении, что при турбинном бурении колонна бурильных труб не вращается, что значительно снижает аварийность.

Испытания проводились для определения скорости бурения и износоустойчивости алмазных долот при проходке крепких базальтов турбинным способом.

Было испытано три типа колонковых алмазных долот (рис. 74).

Отличались эти долота друг от друга установкой и качеством алмазов, твердостью матрицы и конструкцией промывочных каналов.

Особый интерес представляют для сверхглубокого бурения алмазные съемные долота (коронки) типа ЗPS-FP (рис. 75). Такое долото состоит из трех подвижных лап, армированных алмазами, которые могут спускаться на забой через бурильные трубы, находясь друг над другом (последовательно). Коронка с керноприем-

ной трубой и фиксирующим устройством бросается через бурильные трубы и для ускорения движения проталкивается промыточной жидкостью, нагнетаемой насосами.

Подъем производится специальным овершотом на кабель-канате при контроле за глубиной специальным прибором с сигнальными лампами. Перед началом подъема буровую колонну поднимают над забоем на 10—12 м и устанавливают на роторный стол с помощью автоматического захвата, после чего скважину хорошо промывают.

Затем в скважину опускают на кабель-канате специальный овершот, который захватывает за верх керноприемника (загрибок). По показаниям прибора узнают о правильном соединении овершота и поднимают керноприемник и съемное алмазное долото вместе с керном на поверхность через бурильную колонну.

Для осмотра долото поднимается после каждого рейса. Углубление за рейс составляет в среднем 9—10 м.

Диаметры съемного долота наружный 188 мм, внутренний 51 мм, диаметр керна 50 мм.

Для окончательного обоснования выбора наиболее эффективного типа алмазных коронок и долот было произведено экспериментальное бурение алмазными долотами различных типов в крепких породах (базальтах). В результате исследования было выяснено, что использование съемного алмазного долота дает наилучшие результаты.

Намечается еще провести работы по использованию таких долот, но с приводом от электробур. Уже и сейчас получены хорошие результаты. Одно долото прошло 200 м за 109 ч 13 мин при средней скорости проходки 1,83 м/ч при бурении базальтов с $\sigma_{сж} = 4000 \text{ кг/см}^2$.

Другим вариантом съемного алмазного инструмента был керноприемник, спуск и подъем которого производился на кабель-канате.

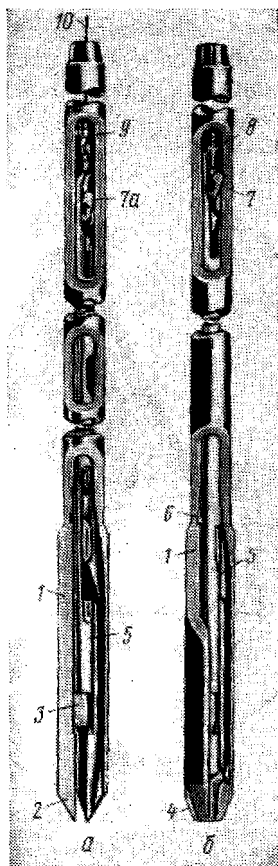


Рис. 75. Колонковое долото со съемной керноприемной трубой, несущей внизу раздвижную алмазную коронку (раздвижное съемное долото).

а — положение при подъеме керна; б — положение в процессе бурения. 1 — корпус, 2 — направляющие пазы под раздвижные секторы алмазной коронки, 3 — секторы алмазной коронки (долота) в транспортном положении, 4 — секторы алмазной коронки в процессе бурения, 5 — керноприемная труба (грунтоноска), 6 — ориентирующая чека, 7 — фиксатор керноприемной трубы во время бурения, 7а — фиксатор при подъеме, 8 — головка-грибок для захвата овершотом, 9 — овершот, 10 — подъемный канат.

Семижильный кабель, разработанный для сверхглубокого бурения, способен удержать груз 4,5 т. Кабель одновременно служит каналом для передачи информации о состоянии бурового инструмента и процесса бурения к специальным контрольно-измерительным приборам на поверхности. Блок контрольно-измерительных датчиков, который находится на забое, в процессе бурения передает информацию о положении крепления керноприемника и долота, о величине крутящего момента, осевой нагрузке, числе оборотов долота, высоте керна в керноприемнике, процент выхода керна, натяжении несущего кабеля, отклонении инструмента от вертикали и об износе подшипников долота.

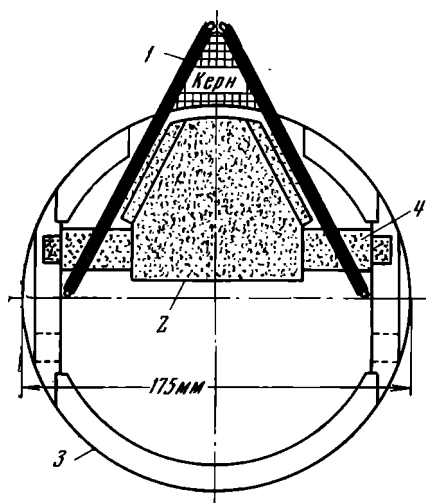


Рис. 76. Керноотборник из стенок скважины.

1 — алмазные дисковые пилы; 2 — корпус электродвигателя; 3 — корпус керноотборника; 4 — ось поворота корпуса электродвигателя.

Для отбора проб был испытан также боковой керноотборник, который спускался в скважину на кабеле (рис. 76). Режущим инструментом керноотборника являются алмазные дисковые пилы толщиной 4 мм, которые выпиливают треугольный керн в стенке скважины.

Для спуско-подъемных операций бурильных труб на буровой плавучей платформе запроектировано применение автоматических стеллажей (см. рис. 73).

Бурильные трубы подаются к устью скважины двумя подъемными кранами и конвейерами.

Для подъема бурильной колонны будет использована лебедка с электродвигателем мощностью 4000 л. с., а для вращения — ротор с приводом от электродвигателя мощностью 500 л. с. Минимальная скорость вращения ротора 10 об/мин. Медленное вращение будет необходимо при турбинном бурении для предотвращения прихвата турбобура или колонны бурильных труб. Для контроля качества бурильных труб намечено широко применять ультразвуковые и гамма-дефектоскопы.

В сверхглубокой скважине по проекту «Мохол» должны проводиться разнообразные исследования.

Как уже отмечалось, особенно важно получение и изучение образцов пород (кернов) из самых нижних слоев земной коры и верхней мантии Земли.

Так же важно проведение разного рода измерений и наблю-

дений как в процессе бурения скважины, так и после ее окончания. При бурении будут произведены следующие измерения: кавернометрия, электроразведка по методу сопротивления, инклинометрия, измерение пластового давления, термокаротаж, сейсмографический каротаж, гамма-нейтронный каротаж, гамма-каротаж, акустический каротаж, отбор образцов боковым грунтоносом, ориентации керна, измерение интенсивности магнитного поля, изучение магнитной восприимчивости, измерение теплопроводности, измерение деформации пород. Рассмотрены возможные условия проведения всех измерений. При этом конечный диаметр сверхглубокой скважины должен быть не менее 168 мм, при конечной глубине скважины около 11 км. При удельном весе промывочной жидкости $1,0-1,44 \text{ г/см}^3$ давление столба промывочной жидкости достигнет около 1600 кг/см^2 , температура на забое скважины ожидается $\sim 200^\circ \text{C}$ (хотя по некоторым источникам она может быть значительно выше). Все измерительные инструменты будут спускаться на 7-жильном кабеле в тефлоновой оболочке, длина кабеля составит $\sim 12 \text{ км}$.

Морское бурение при помощи шлангокабеля

Преимущества бурения при помощи гибкого шлангокабеля и забойного двигателя (см. рис. 55) навели на мысль применения этого метода для разведки месторождений, залегающих на дне моря.

Достоинство бурения на море при помощи гибкого шланга заключается в том, что этот метод позволяет осуществлять бурение в условиях сильного волнения.

Для успешной работы в этих условиях были разработаны:

1) яс — для устранения влияния вертикальной качки судна путем поддержания на поверхности постоянного и регулируемого натяжения гибкого шланга;

2) устройство для быстрой сборки и спуско-подъема жесткой части колонны (долота, забойного двигателя и УБТ) длиной $\sim 30 \text{ м}$ и весом $\sim 5 \text{ т}$.

На современном этапе экспериментирования бурение при помощи гибкого шланга и забойного двигателя является по сравнению с обычными методами более простым и надежным средством проведения буровых работ в суровых океанических условиях.

Глава VII

УДАРНО-КАНАТНОЕ БУРЕНИЕ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ударно-канатное бурение применяется при проходке гидрогеологических и водозаборных скважин, при разведке россыпных месторождений и вкрапленных руд, для проходки взрывных сква-

жин. Ударно-канатное бурение обычно производится с помощью передвижных буровых установок.

Схема ударно-канатного бурения дана на рис. 77.

Буровой снаряд, состоящий из долота 1, ударной штанги 2, раздвижной штанги-ножниц 3 и канатного замка 4, опускается в скважину на канате 5.

Канат, один конец которого закрепляется в канатном замке, огибает головной ролик 7 на вершине мачты 9, оттяжной ролик 10 балансирующей рамы 11 и направляющий ролик 12. Конец каната намотан и закреплен на инструментальном барабане 13 с тормозом 14.

Головной ролик 7 устанавливается на резиновых или пружинных амортизаторах 8. При включении ударного вала кривошип 15 вращается и при помощи шатуна 16 приводит в колебательное движение балансируемую раму 11 с оттяжным роликом 10. В результате канат 5 будет поднимать, а затем опускать буровой снаряд, который лезвием долота, имеющим форму двустороннего клина, будет наносить удары по породе забоя и разрушать ее.

Для получения скважин круглого сечения долото после каждого удара должно поворачивать-

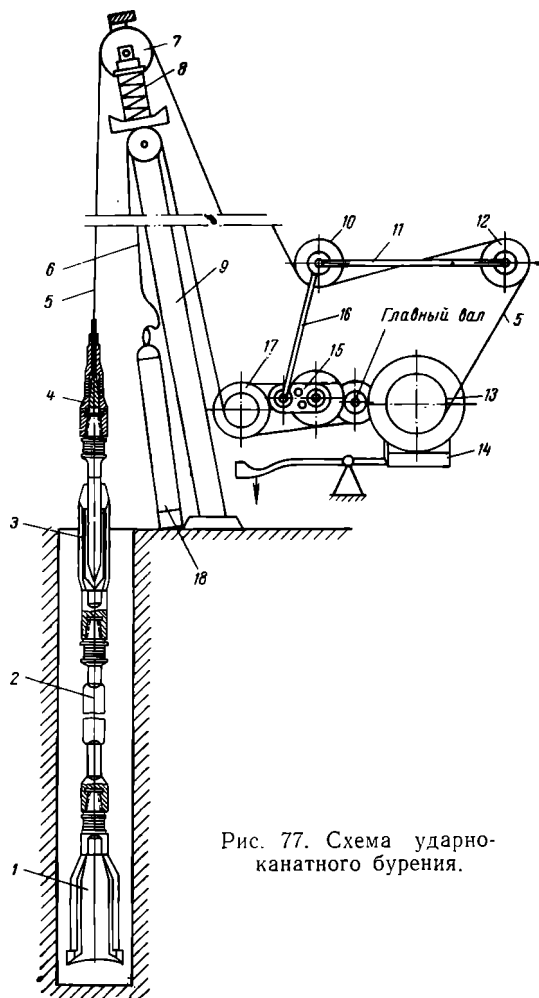


Рис. 77. Схема ударно-канатного бурения.

ся. Вращение долота при ударно-канатном бурении осуществляется при его подъеме над забоем.

Ударно-канатное бурение производится без промывки, но на забое скважины должна быть вода, в которой частицы породы могут находиться во взвешенном состоянии. Проходка за один рейс колеблется в пределах от 40 см до 100 см. После проходки буровой снаряд извлекается и в скважину с барабана 17 опус-

кается на канате 6 желонка 18 для чистки скважины. При бурении в неустойчивых породах приходится сразу же закреплять стенки скважины обсадными трубами.

§ 2. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ УДАРНО-КАНАТНОГО БУРЕНИЯ

Буровой инструмент для ударно-канатного бурения состоит из: 1) бурового снаряда для углубления скважин; 2) инструмента для чистки скважин от шлама; 3) ловильного инструмента; 4) обсадных труб.

Кроме того, имеется вспомогательный инструмент для свинчивания и развинчивания бурового снаряда и другие принадлежности.

Буровой снаряд для ударно-канатного бурения показан на рис. 77.

Основной рабочей частью бурового снаряда является долото 1. Оно выковывается из качественной стали с содержанием 0,6—0,7% углерода. Чаще всего применяются желобчатые долота, в трещиноватых породах — крестовые долота.

Угол приострения лезвия долота берется от 80° для мягких пород до 120° для наиболее крепких пород. Для пород средней твердости угол приострения принимается в пределах 90—100°. Лезвие долота закаливается.

В качестве бурильных и желоночных канатов применяются стальные канаты диаметром от 12 до 25 мм.

На рис. 78 изображена желонка для очистки скважин, которая состоит из трех основных частей: пустотелого цилиндра 2, дужки 1, к которой прикрепляется конец каната, и башмака 4, снабженного клапаном 3. Желонка с плоским клапаном (рис. 78, а) предназначена для очистки забоя скважины от крупных осколков породы и гальки. Желонка с полусферическим клапаном (рис. 78, б) применяется для сбора разжиженного шлама.

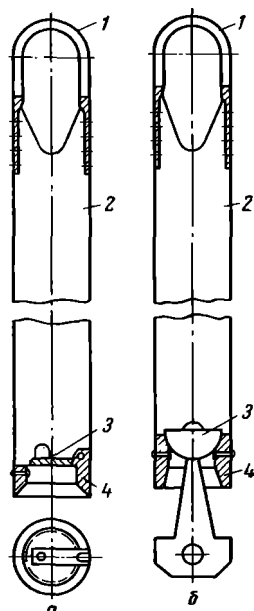


Рис 78. Желонки для чистки скважин.

а — с плоским клапаном;
б — с полусферическим.
1 — дужка, 2 — корпус (труба), 3 — клапан, 4 — башмак.

§ 3. СТАНКИ ДЛЯ УДАРНО-КАНАТНОГО БУРЕНИЯ

Станки для ударно-канатного бурения изготавливаются передвижными и оборудуются мачтами. Станки для бурения водяных и гидрогеологических скважин бывают в большинстве случаев несамходными, на колесном ходу.

Станки для разведки россыпей и бурения взрывных скважин изготавливаются самоходными, на гусеничном ходу.

В любых станках для ударно-канатного бурения имеется главный трансмиссионный вал, получающий вращение от двигателя.

От этого вала приводятся ударный механизм, инструментальный, желоночный и талевый барабаны. Обычно станки для бурения взрывных скважин, и для разведки россыпей талевое барабана не имеют.

Общий вид станка типа УКС-22М, применяемого при бурении скважин на воду, приведен на рис. 79.

Спуско-подъемные операции осуществляются с помощью телескопической мачты, на вершине которой установлены ролики для инструментального, желоночного и талевого канатов.

При перевозке мачта укладывается в горизонтальное положение. Перед началом бурения мачта поднимается, выдвигается и раскрепляется растяжками. Для облегчения подъема и спуска тяжелых деталей (долот) мачта оборудована укосиной с талью (цепным блоком).

Трансмиссионный вал станка, вращающийся на роликовых подшипниках, передает вращение всем рабочим механизмам станка. На этом валу посажены приемный шкив, шестерни для привода ударного вала, желоночного и талевого барабанов и звездочка для

привода инструментального барабана. Шестерни и звездочка сидят свободно и включаются при помощи фрикционных муфт.

Ударный механизм (см. рис. 77) состоит из оттяжной рамы с направляющим и оттяжным роликами. В качательное движение

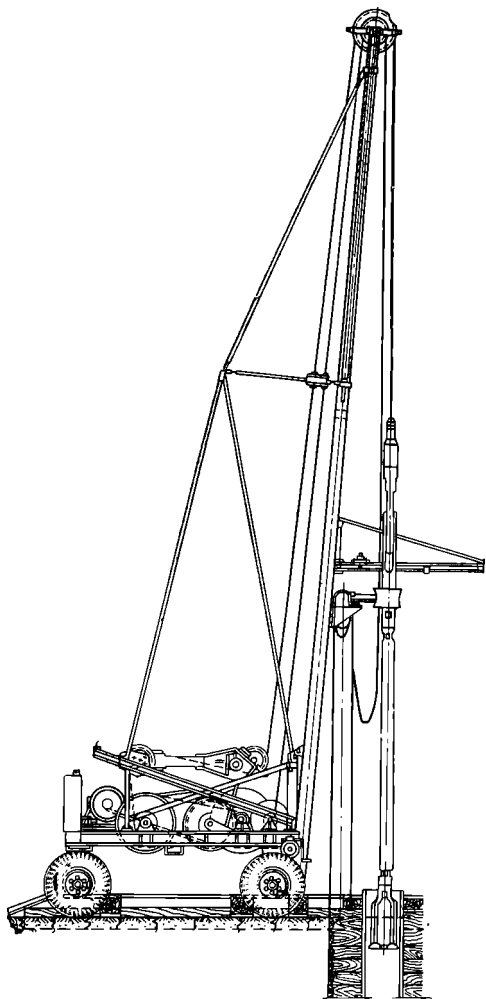


Рис. 79. Установка станка УКС-22М для бурения.

Характеристика ударно-канатных станков

Показатели	Марка станка					
	УКС-22М	УКС-30М	«Амурец-6» (БСА-6)	«Таксиес» 5 1/2 (импорт)	БУ-20-2М	БС-1М
Максимальная глубина бурения, м	300	500	100	100	200	100
Максимальный диаметр бурения, мм	600	900	150	135	400	300
Грузоподъемность барабана, кг:						
инструментального	2000	3000	2000	2000	1200	3000
желоночного	1300	2000	500	500	300	1000
талевого	1500	3000	—	—	—	—
Число ударов бурового снаряда в 1 мин	40, 45, 50	40, 45, 50	58, 60	58	50—52	48—52
Средняя скорость навивки канатов на барабан, м/сек:						
инструментального	1,18—1,47	1,1—1,42	0,4	0,35	1,4	0,9
желоночного	1,26—1,6	1,21—1,68	1,5	1,5	2,1	1,8
талевого	0,8—1,0	0,95—1,22	—	—	—	—
Канатоемкость барабанов, м:						
инструментального	350	500	150	160	270	150
желоночного	350	500	150	160	290	160
талевого	135	210	—	—	—	—
Диаметр каната, мм:						
инструментального	21,5	26	20	19	19	30
желоночного	15,5	17,5	8	8	12	15,5
талевого	15,5	21,5	—	—	—	—
Высота подъема бурового снаряда над забоем, мм:						
наибольшая	1000	1000	550	550	700	1100
наименьшая	350	500	250	250	—	600
Регулировка высоты подъема бурового инструмента над забоем						

Перестановка пальцев шатунов в отверстиях кривошипов ударного механизма

Показатели	Марка станка					
	УКС-22М	УКС-30М	«Амурец-6» (БСА-6)	«Такспес 5 1/2» (импорт)	БУ-20-2М	БС-1М
Грузоподъемность мачты, <i>т</i>	12	25	—	—	—	20,0
Способ передвижения станка	Колесный ход, прицепной				Самоходный на гусенич- ном ходу	Самоходный на гусенич- ном ходу
Мачта	Телескопическая двухзвеньевая			Однозвеньевая телескопи- ческая		—
Высота мачты (в рабочем положении) от устья скважины до центра оси инструменталь- ного ролика	13,5	16	8,1	8,3	11,7	15,5
Двигатель	Электродвигатель		Дизель	Бензино- керосиновый «Бергбуль- ген У-9» 9 л. с.	Электро- двигатель —	Электро- двигатель —
Тип	АО-73-6	АО-93-8	1710,5/13—24	«Бергбуль- ген У-9» 9 л. с. 1400—1500	—	—
Мощность, <i>квт</i>	20	40	10 л. с.	9 л. с.	20	55
Число оборотов в 1 мин	980	735	1500	1400—1500	980	980
Привод от двигателя	Клиноременный		Плоским ремнем	Клино- ременный	Роликовой цепью	Плоским ремнем
Способ передвижения	На колесах перевозится машиной или трактором				Самоходный на гусенич- ном ходу	Самоходный на гусенич- ном ходу
Габаритные размеры в транспортном положе- нии, <i>м</i> :						
длина	8,5	10	4,72	4,75	11,2	8,86
ширина	2,29	2,64	1,71	1,68	2,62	3,46
высота	2,75	3,5	2,57	2,55	3,4	3,8
Вес станка с мачтой и двигателем, <i>т</i>	7,6	12,7	3,11	1,6	10,7	24

оттяжная рама приводится от ударного вала с помощью двух кривошипов и двух шатунов.

Инструментальный барабан служит для спуска и подъема бурового снаряда и регулирования его подачи во время бурения (при помощи тормоза). Барабан имеет тормозной шкив и делитель, который отделяет нерабочую (избыточную) часть каната от рабочей (которая участвует в работе).

Желоночный барабан предназначен для спуска и подъема желонки при чистке скважины.

Талевый барабан служит для спуска и подъема колонны обсадных труб. Все барабаны снабжены ленточными тормозами.

Краткая характеристика станков ударно-канатного бурения приведена в табл. 19.

Кроме приведенных в табл. 19 станков, для бурения гидро- и инженерно-геологических скважин применяется легкая ударно-канатная установка БУВ-1Б, смонтированная на раме одноосного прицепа. Глубина бурения до 30 м. Диаметры скважин 168, 127 и 108 мм.

Способ бурения ударно-канатный забивным станком или желонкой. Посадка обсадных труб осуществляется вибромолотом, наносящим 1000—1400 ударов/мин. Мощность двигателя — 8 л. с.

§ 4. ТЕХНОЛОГИЯ УДАРНО-КАНАТНОГО БУРЕНИЯ

Производительность ударно-канатного бурения зависит от веса инструмента. В практике канатного бурения введено понятие о так называемом относительном весе инструмента, отнесенном к 1 см длины лезвия долота. На основании данных практики относительные веса принимаются:

Для мягких пород	25—35	кг/см
Для пород средней крепости	40—50	»
Для крепких пород	50—65	»
Для весьма крепких пород	65—80	»

Бурение должно вестись при натянутом канате. Если ослабить канат, то инструмент может развернуться. Кроме того, при ослаблении инструментального каната можно искривить скважину. Поэтому перед включением ударного механизма надо сделать «навеску» каната, т. е. долото немного приподнять над забоем.

Число ударов по забою должно рассчитываться так, чтобы было обеспечено свободное падение долота на забой. Если число ударов будет ниже требуемого, то долото будет достигать забоя с некоторым замедлением, что ослабляет удар долота по забою. Вреднее сказывается излишнее число ударов. При числе ударов выше оптимального происходят сильные рывки каната вследствие того, что опускание оттяжного ролика (т. е. подъем каната) начинается раньше, чем долото достигает забоя. При таком режиме канат быстро изнашивается. Обычно ход инструмента (высота

подъема долота) 60—110 см. При этом число ударов 55—45 в 1 мин. Чем больше ход, тем меньше должно наноситься ударов.

Такие породы, как пески, плывуны, лёсс, легко проходятся желонками. Для успешности бурения желонку часто соединяют с легкой ударной штангой и ножницами.

Посадка труб при разведочном ударно-канатном бурении осуществляется забивкой (боем). Забивка производится специальной забивной штангой.

Мощные толщи песков и плывунов сразу невозможно перекрыть обсадными трубами, поэтому посадку труб чередуют с бурением при помощи желонки.

При проходке напорных плывунов, поднимающихся в обсадные трубы и дающих пробки, рекомендуется бросать в скважину жирную глину или наполнять обсадную колонну глинистым раствором. Мягкие и вязкие породы можно с успехом проходить стаканами, соединяемыми с ударной штангой и ножницами (см. рис. 4).

Крепкие породы проходятся тяжелыми долотами.

Во избежание плохого округления скважины при проходке крепких пород необходимо не допускать слабого натяжения каната. В то же время нельзя допускать и чрезмерного вывешивания инструмента, так как последнее влечет за собой снижение производительности. Кроме того, необходимо периодически проверять скважину округляющим долотом.

Ударно-канатное бурение взрывных скважин постепенно вытесняется:

- 1) на угольных карьерах — шнековым бурением;
- 2) на рудных карьерах:
 - а) в породах с $f=8\div 16$ — шарошечным и пневмоударным бурением;
 - в) в породах $f>16\div 18$ — термическим бурением.

При строительстве водозаборных скважин удельный вес ударно-канатного бурения постепенно сокращается за счет роторного (особенно с всасывающей промывкой).

Только при разведке россыпей ударно-канатное бурение пока находит большое применение.

Глава VIII

БУРЕНИЕ СКВАЖИН НА ВОДУ

§ 1. ВЫБОР СПОСОБА БУРЕНИЯ

Скважины на воду бурятся в основном ударно-канатным и роторным способами. Мелкие скважины при благоприятных геологических условиях могут буриться шнековыми станками. Гидрогеологические скважины в крепких породах проходятся колонковым бурением. Кроме того, при сложном геологическом разрезе, когда скважины пересекают породы различных физико-механических свойств, нередко применяется комбинированное бурение.

Ударно-канатное бурение при строительстве скважин на воду целесообразно применять: 1) в районах со слабо изученной гидрогеологией; 2) при бурении на слабонапорные водоносные горизонты; 3) при бурении разбросанных единичных скважин, водо- и глиноснабжение которых затруднительно; 4) при бурении скважин глубиной не более 100—150 м.

Роторное бурение на воду с применением промывки глинистым раствором рекомендуется применять при: 1) хорошей изученности гидрогеологии района; 2) напорных водоносных горизонтах; 3) удобном снабжении буровых работ водой и глиной; 4) достаточно хорошем утеплении буровой установки в зимнее время; 5) бурение скважин глубиной свыше 150 м.

Шнековый способ бурения эффективно применяют в благоприятных геологических условиях при глубинах скважин не более 50—60 м. При этом для посадки обсадных труб часто используют вибратор.

Опыт показывает, что при роторном бурении скважин на воду скорость проходки повышается в 2—3 раза по сравнению с ударно-канатным способом, значительно сокращается расход обсадных труб, а стоимость работ снижается, но при роторном бурении продуктивный горизонт часто сильно глинизируется, поэтому много времени и труда приходится затрачивать на разглинизацию водоносного горизонта. Это часто бывает при вскрытии слабонапорных водоносных горизонтов, сложенных мелкозернистыми песками.

За последние годы начали применять роторное бурение с продувкой скважин сжатым воздухом.

Конструкция скважины на воду выбирается, исходя из геологического разреза, глубины скважины и способа бурения. Конечный диаметр скважины определяется размером фильтра и его конструкцией.

Конструкция скважины наиболее сложной получается при ударно-канатном бурении, ибо выход обсадных колонн из-под башмака предыдущей обычно не превышает 40—60 м. При роторном бурении конструкция скважины получается значительно более простой и может ограничиться двумя основными колоннами — кондуктором и тампонажной, которая может быть одновременно и эксплуатационной.

Ударное и роторное бурение скважин на воду подробно освещено в многочисленных работах. Остановимся на гидравлическом бурении и на вращательном бурении с всасывающей промывкой, которые применяются при строительстве водозаборных скважин.

§ 2. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ БУРЕНИЕ

При ударном и вращательном бурении на воду в начале бурится скважина, а потом в нее спускается фильтр той или иной конструкции. При гидравлическом бурении фильтр погружается в

процессе строительства (размыва) скважины. Гидравлическое бурение производится в мягких породах.

Общий вид установки для гидравлического бурения представлен на рис. 80. Гидравлическое бурение осуществляется двойной колонной — обсадной и напорной. Между обсадными и напорными трубами монтируется вниз фильтр. Высота фильтра определяется мощностью водоносного пласта. Обсадные трубы на участке установки фильтра должны быть перфорированы. На низ обсадной колонны укрепляют стальной конус с отверстиями — соплами. В нижней части напорных труб устанавливается обратный клапан, препятствующий при наращивании колонны попаданию жидкости со шламом в напорные трубы.

Бурение осуществляется с помощью самоходного крана. В напорные трубы насосом нагнетается промывочная жидкость, чаще всего вода. При диаметре обсадных труб 250—300 мм обычно подается 50—80 м³/ч жидкости при давлении 10—30 кг/см². Жидкость с большой скоростью вылетает из сопел конусной головки и размывает грунт. Подачу труб производят непрерывно с лебедки крана, в соответствии со скоростью размыва грунта. Колонну обсадных труб при этом полезно поворачивать и расхаживать. Нарращивание колонн — напорной и обсадной — должно осуществляться быстро, без перебоев. В противном случае обсадная колонна может быть прихвачена шламом.

Эффективность гидравлического бурения зависит от физико-механических свойств пород, скорости и давления струи жидкости, вылетающей из сопел конуса. Обычно гидравлическое бу-

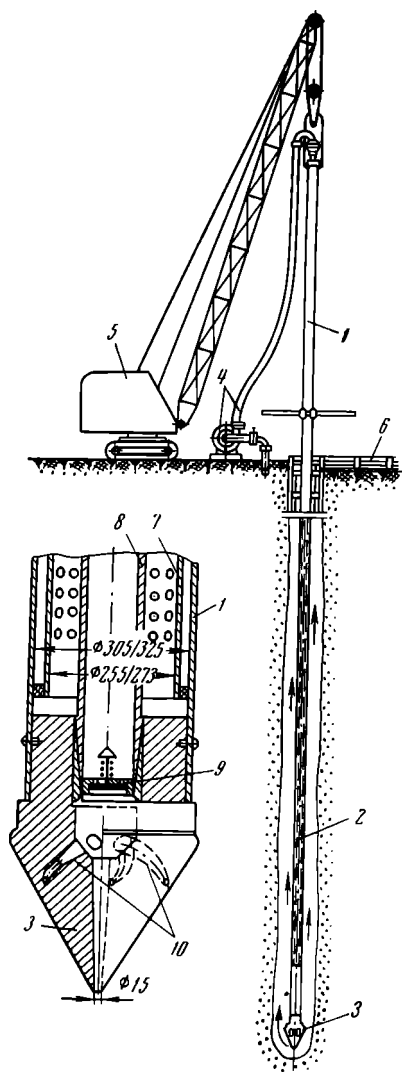


Рис. 80. Установка для гидравлического бурения.

1 — обсадные трубы, 2 — перфорированный участок обсадных труб, 3 — конус, 4 — насос, 5 — подъемный кран, 6 — отводной желоб, 7 — фильтр, 8 — напорная труба, 9 — обратный клапан, 10 — сопла.

рение осуществляется в породах I—III категорий. Чем плотнее грунт, тем выше должно быть давление струй, вылетающих из сопел конуса.

Практика гидравлического бурения показывает, что в песчано-гравелистых грунтах погружение колонны труб диаметром 300 мм на глубину ~45 м осуществляется за 3—4 ч.

§ 3. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ С ОБРАТНОЙ ВСАСЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫВКОЙ

За последнее время при строительстве водозаборных скважин с успехом применяется так называемое «всасывающее» вращательное бурение. Сущность этого способа бурения состоит в том, что

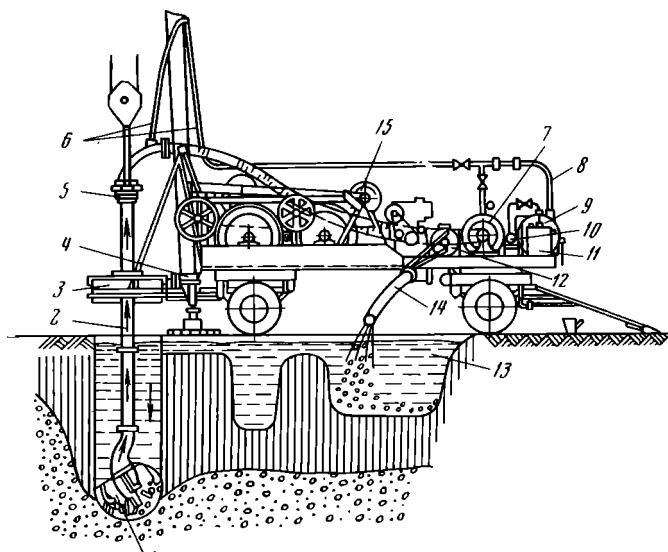


Рис. 81. Установка для роторного бурения со всасывающей обратной промывкой.

1 — долото, 2 — буровая колонна, 3 — ротор, 4 — гидродвигатель для привода ротора, 5 — вертлюг-сальник, 6, 8 — вакуумный трубопровод, 7 — центробежный насос с приводом от дизеля, 9 — вакуумный котел, 10 — вакуумный насос, 11 — радиатор, 12 — маслонасос, 13 — емкость, 14 — сливная труба, 15 — ударный механизм.

в процессе бурения промывочная жидкость самотеком поступает из емкости (зумпфа) в затрубное пространство между буровыми трубами и стенками скважины и вместе с разбуренной породой отсасывается центробежным насосом или с помощью эрлифта (рис. 81). Гидростатическое давление воды удерживает стенки скважины от обрушения. Для уменьшения гидравлических сопротивлений в трубопроводах следует пользоваться буровыми трубами возможно большего диаметра, что способствует увеличению

скорости проходки скважины за счет выноса более крупного галечного материала. Для скважин глубиной до 200 м рекомендуется применять трубы диаметром 150—200 мм. В комплект гидрофицированной буровой установки входят: емкость промывочной жидкости (для скважин глубиной до 100 м, объемом 240 м³), ротор, гидродвигатель для привода ротора, всасывающий центробежный насос, вакуумный насос, ударный механизм для разбивания валунов, долото для всасывающего бурения и другое буровое оборудование. Всасывающий метод обеспечивает высокие скорости бурения в рыхлых породах, особенно в скважинах диаметром до 600—1000 мм, глубиной до 100—150 мм.

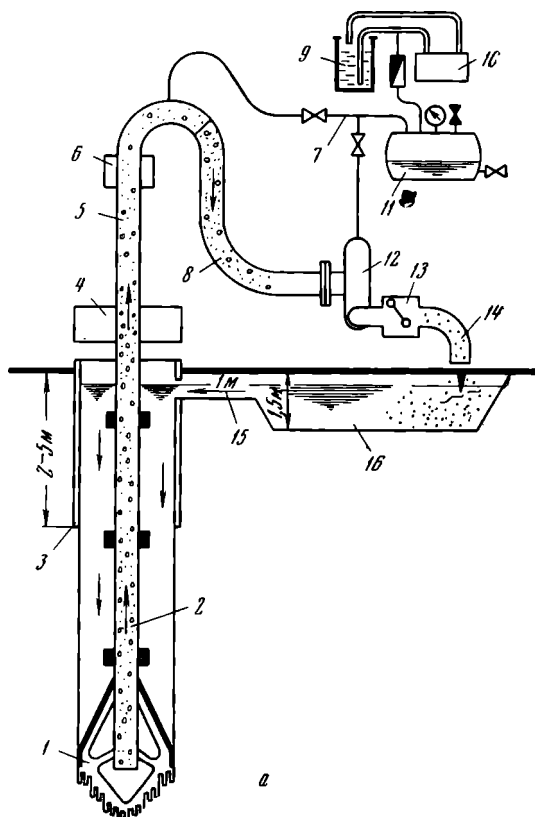


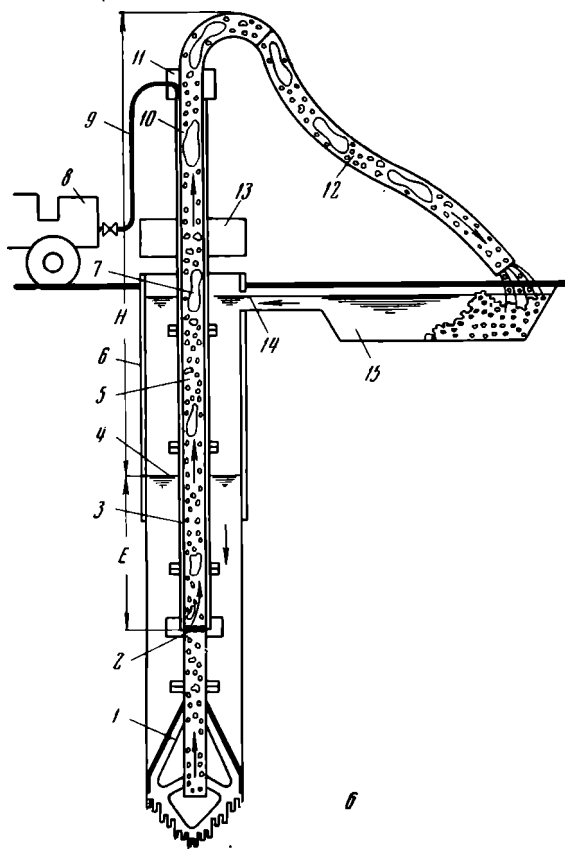
Рис. 82. Принципиальная схема роторного бурения

а — центробежным насосом: 1 — долото, 2 — буровая труба, 3 — кондуктор, 4 — роторный вращающийся шланг, 9 — резервуар для холодной воды, 10 — вакуум-насос, 11 — вакуумный котел, 15 — канава для подвода воды в скважину, 16 — емкость для промывочной жидкости; б — эрвенть грунтовых вод, 5 — буровой шлам, 6 — кондуктор, 7 — пузырьки воздуха, 8 — компресс шланг, 13 — роторный стол, 14 — канава для подвода воды

Принципиальная схема всасывающего бурения представлена на рис. 82, а и б.

В качестве породоразрушающего механизма при бурении в рыхлых породах используются долота различных конструкций: эксцентричные долота диаметром от 500 до 1200 мм; долото Зублина и крестообразное ромбическое долото. При бурении крепких пород применяются комбинированные шарошечные долота.

В процессе бурения шлам разрушенной породы поднимается на поверхность по внутренней полости бурильных труб. Обычно восходящая скорость движения промывочной жидкости в бурильных трубах составляет ~ 3 м/сек, что обеспечивает быстрый вы-



ния с обратной всасывающей промывкой.

стол, 5 — рабочая труба, 6 — сальник-вертлюг, 7 — шланг от вакуумной системы; 8 — всасывающий центробежный насос, 13 — обратный ударный клапан, 14 — отводной шланг, лифтом: 1 — долото, 2 — смеситель; 3 — воздушная кольцевая труба, 4 — статический уросор, 9 — воздушный шланг, 10 — рабочая штанга, 11 — сальник-вертлюг, 12 — выбросной в скважину, 15 — емкость для промывочной жидкости.

нос породы (со скоростью от 1,2 до 1,8 м/сек) и устойчивость стенок скважины.

Оптимальными внутренними диаметрами бурильных труб являются диаметры от 150 до 300 мм. При применении станков с бурильными трубами диаметром 150 мм можно бурить скважины диаметром от 300 до 800 мм, глубиной до 150 м, при диаметре труб 300 мм — диаметром от 900 до 3000 м, глубиной до 500 м.

Для всасывающего способа бурения используется вода, количество которой определяется объемом скважины и потерями промывочной жидкости на фильтрацию. В песках, гравийно-галечниках и глинах потери воды незначительны; в грубозернистом гравии, обломочных образованиях и трещиноватых скальных породах фильтрационные потери больше и поэтому должны учитываться.

В среднем объем промывочной жидкости должен быть равен тройному объему проходимой скважины. Для проходки скважины диаметром 1 м на глубину 100 м отстойник для воды следует принимать объемом около 240 м³. Котлован для отстойника или отрывается при помощи экскаватора или собирается на месте из сборных элементов. Для осуществления циркуляции жидкости, привода ротора и лебедки бурового станка со всасывающей трубой диаметром 300 мм мощность двигателя должна быть ~85—100 л. с., а со всасывающей трубой диаметром 150 мм — 60 л. с.

Для станков всасывающего бурения с центробежным насосом необходимо заряжающее приспособление в виде вакуумной установки. Перед вводом в действие всасывающего насоса, который осуществляет циркуляцию, скважина должна быть наполнена водой до устья.

Если потери промывочной жидкости оказываются большими и не имеется возможности подвести необходимое количество воды, то уровень воды в скважине будет понижаться, что исключает возможность применения всасывающего бурения с помощью центробежного насоса; тогда установка всасывающего бурения обору-дуется эрлифтом (рис. 82, б).

В этом случае применяется двойная бурильная колонна. Сжатый воздух от компрессора направляется к смесителю по кольцевому зазору между наружной и внутренней трубами. Может сжатый воздух подаваться к смесителю по трубе или по шлангу, спущенному в бурильную колонку.

Глава IX

ИСКРИВЛЕНИЕ СКВАЖИН, ИЗМЕРЕНИЕ ИСКРИВЛЕНИЯ И НАПРАВЛЕННОЕ БУРЕНИЕ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Буровые скважины часто искривляются. Произвольное, неуправляемое искривление скважин приносит большой вред.

Степень искривления скважин в значительной мере зависит от

геологических условий. Обычно искривление происходит, когда скважины под острым углом пересекают слои пород различной твердости.

К техническим и технологическим причинам искривления скважин следует отнести:

1) неправильную установку шпинделя станка и связанное с этим отклонение от заданного направления в самом начале бурения;

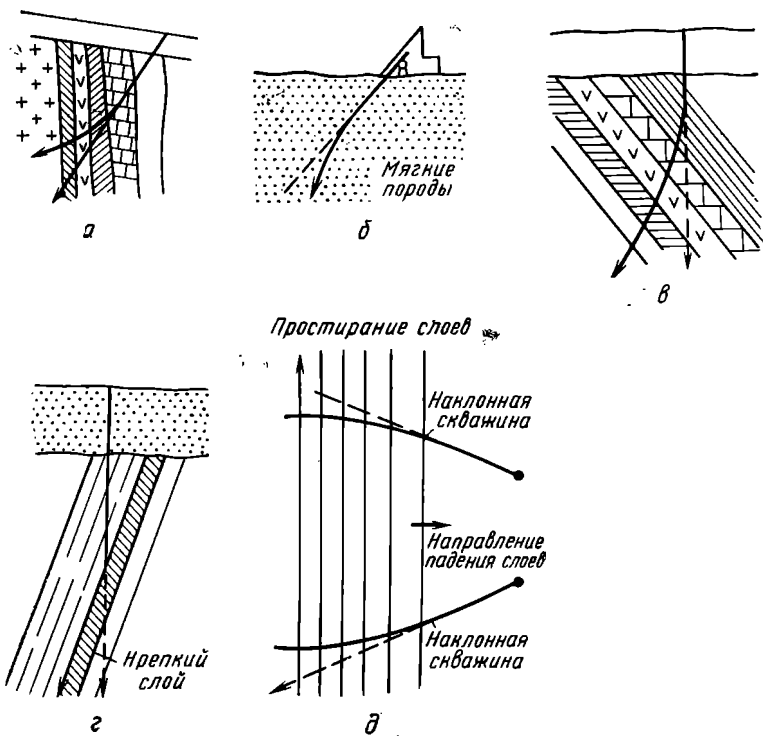


Рис. 83. Закономерности искривления скважин.

а — искривление наклонной скважины в крепких породах; б — искривление скважины в рыхлых и мягких породах; в — искривление вертикальной скважины при пересечении слоистых пород; г — искривление при пересечении слоев при малом угле встречи; д — возможные азимутальные искривления.

2) неправильную установку направляющей трубы;

3) применение бурильных труб малого диаметра в скважине большого диаметра;

4) бурение искривленными бурильными и колонковыми трубами;

5) применение очень сильной промывки, особенно если промывочный раствор может размывать стенки скважины;

6) чрезмерная нагрузка на забой при несоответствии диаметра штанг диаметру скважины и при коротких колонковых снарядах.

На основании большого фактического материала можно установить следующие общие закономерности искривления скважин:

а) наклонные скважины, как правило, при искривлении выполаживаются (рис. 83, а). Только при пересечении плавучих и рыхлых пород угол наклона скважины может становиться более крутым (рис. 83, б);

б) особенно сильно искривляются вертикальные и наклонные скважины, пересекающие под острым углом слоистые породы перемещающейся крепости. При этом ось скважины стремится постепенно занять положение, перпендикулярное к напластованию (рис. 83, в).

в) наклонные скважины, буримые дробью, искривляются в большей мере, чем скважины, буримые твердыми сплавами или алмазами, что объясняется неравномерностью распределения дробин на забое и большой разработкой ствола по диаметру;

г) при бурении вертикальных скважин ось скважины обычно постепенно отклоняется в направлении, перпендикулярном к залеганию пластов. Однако при пересечении пород с крутым падением и при малом угле встречи (менее $15-20^\circ$) ось скважины может пойти вдоль висячего бока крепкой породы (рис. 83, г). Поэтому бурить вертикально скважины при таком залегании пород не рекомендуется.

Часто изменяется и азимут оси скважины (рис. 83, д), так как ствол скважины стремится занять направление, перпендикулярное простиранию пород.

Для предупреждения искривления скважины при забурировании необходимо: проверить соосность сборки всех деталей бурового снаряда, правильность установки шпинделя и направляющей трубы под соответствующим углом и в требуемом направлении.

Меры против искривления скважин в процессе бурения сводятся к применению длинного прямолинейного жесткого колонкового снаряда, УБТ с центрирующими приспособлениями и т. д.

§ 2. ИЗМЕРЕНИЕ ИСКРИВЛЕНИЯ СКВАЖИН

Правильное геологическое заключение на основе данных буровых работ можно сделать только в том случае, если известны на разных глубинах направление (азимут) и наклон скважины. Поэтому необходимо производить в различных точках скважины (например, через 50 м) измерение угла наклона оси скважины от вертикали, называемого зенитным углом Θ , и азимута скважины α , т. е. горизонтального угла между определенным направлением (например, на точку севера) и проекцией оси скважины на горизонтальную плоскость.

Приборы, измеряющие зенитный угол (наклон скважины), работают или по принципу горизонтальности уровня жидкости, или по принципу отвеса.

Метод плавиковой кислоты использует принцип горизонтально-

ти уровня жидкости. Для измерения зенитного угла используют стеклянную трубку, плотно закрытую сверху и снизу резиновыми пробками и наполненную на $\frac{1}{3}$ раствором плавиковой кислоты. Такую трубку в герметичном патроне опускают в скважину на определенную глубину и оставляют в покое. Благодаря растворяющему действию плавиковой кислоты на стенках трубки получится отпечаток уровня жидкости. Линия отпечатка служит для измерения зенитного угла скважины.

Линия соприкосновения поверхности жидкости со стенками цилиндрического сосуда при вертикальном положении последнего представляет собой круг, а при наклонном положении — эллипс, ось которого тем более вытянута, чем больше угол наклона скважины.

Электролитический прибор тоже использует принцип горизонтального уровня жидкости. Для определения зенитного угла можно применять электролитический метод, заключающийся в том, что на двухжильном кабеле опускают в скважину на требуемую глубину герметический сосуд (патрон), в котором строго по оси его введен позолоченный медный цилиндрический стержень, являющийся катодом. В сосуд налит водный раствор медного купороса. Для осаждения меди требуется гальваническая батарея в 4—5 в. Плюс батареи соединяют с жилой кабеля, включенной на корпус прибора, а минус батареи — с жилой, которая подключается к цилиндрическому катоду.

Преимущества измерения этим прибором заключаются в быстроте измерения и в большой точности.

В приборах, работающих по принципу отвеса, последний должен быть в точке измерения свободен, а измерительный прибор должен лежать параллельно оси скважины. Перед подъемом отвес арретируют, угол между отвесом и осью прибора будет зенитным.

Приборы для полного измерения кривизны буровых скважин

Определение азимута α скважины производят непосредственными измерениями и косвенными методами. Для непосредственного определения азимута скважины применяют приборы, имеющие магнитную стрелку или индукционную буссоль, а в некоторых случаях курсовой гироскоп.

Приборы, основанные на принципе магнитного компаса или на принципе измерения индукционных токов, образующихся в индукционной рамке при ее вращении в геомагнитном поле, сравнительно просты по устройству, поэтому они получили широкое распространение в тех случаях, когда геомагнитное поле в скважинах не искажено близко расположенными магнитными рудами или стальными обсадными трубами.

Гироскопические приборы, обеспечивающие достаточную точность измерений, могут применяться даже в тех скважинах, где имеются сильно возмущенные магнитные поля.

Современные малогабаритные инклинометры

Наименование инклинометров	Диаметр, мм	Диапазон измерений, град.	Чувствительный элемент для измерения		Способ спуска прибора	Количество жил кабеля	Способ регистрации показаний
			зенитных углов	азимутов			

Для слабомагнитных пород

УМИ-25	25	0—50	Отвес	Магнитная стрелка	На кабеле	1	Визуально на пульте			
И6	48	0—45			На тросе	—	Автономная фоторегистрация			
Одноточечный	От 54,6	0—10								
(США)		0—18								
		0—90								
Многоточечный	до 89,0	0—12								
(США)		0—20								
		0—90								
ИК	58	0—50						На кабеле	1	Визуально на пульте
ИШ-4	60									
ИТ-200	74									
И7	80									

Для сильномагнитных пород

МИА-ШМ	Вариант I	32	0—60	Датчик экстремального сигнала		На штангах	1	То же
	Вариант II		0—60			На кабеле		
Электромагнитный индикатор Крелиус (Швеция)		34	0—85					
Гироин-клинометры (ЧССР)	ИГ-50	50	0—60	Отвес	Гироскоп		3	То же (на диаграммной бумаге)
	ИГ-70	70	0—60					
Зенит-IV		42 и 50	3—70		Отвес			
Гироин-клинометры	Сперри (США)	72,6	0—60	Крестнителей	Гироскоп	На кабеле		Автономная фоторегистрация
	ИГ-2	89	0—30	Уровень				Визуально на пульте
	ИГ-110 (ПНР)	110	0—60					

При измерениях скважин малого диаметра применяются инклинометры, оснащенные курсовым гироскопом и отвесом.

Курсовой гироскоп является прибором, у которого ось ротора, укрепленного в карданном подвесе, вращается с очень большой скоростью (до 30 000 об/мин) и в течение определенного времени сохраняет неизменное положение относительно земных ориентиров. Из существующих гироскопических инклинометров на разведочных работах применяются инклинометры ИГ-2 и ИГ-70.

Азимут в скважинах малого диаметра также измеряют косвенным путем — по методу ориентации с поверхности.

При измерении азимута по методу ориентации с поверхности прибор, замеряющий только зенитный угол, опускают в скважину на колонне штанг, имеющей по всей длине одну общую образующую, воображаемую или отмеченную на поверхности колонны.

По образующей верхнего конца колонны можно установить так называемую «нулевую плоскость» и определить горизонтальный угол между нулевой плоскостью и апсидальным и ориентировочным направлениями. Благодаря этому имеется возможность, измеряя только зенитные углы, определить направление скважины при условии, что колонна штанг не скручена и нулевая образующая протянута от измерительного патрона до верха колонны параллельно оси скважины. Этот метод применим в скважинах, обсаженных трубами, и в ферромагнитных средах.

Характеристика современных инклинометров приведена в табл. 20.

§ 3. НАПРАВЛЕННОЕ МНОГОЗАБОЙНОЕ БУРЕНИЕ

Одним из путей снижения стоимости разведочных работ является бурение скважин по разреженной разведочной сети с последующим сгущением ее на глубине путем проводки многозабойных скважин, стволы которых пересекают тело полезного ископаемого на заданных расстояниях. Особую эффективность многозабойное бурение приобретает при разведке глубоко залегающих крутопадающих рудных тел (рис. 84).

Многократное использование основного ствола скважины позволяет значительно сократить объем бурения.

Общая схема искусственного искривления скважины в желаемом направлении осуществляется в следующей последовательности.

1. Создание искусственного забоя, если искривление необходимо осуществить выше забоя скважины.

2. Спуск отклонителя.

3. Ориентация и раскрепление отклонителя.

4. Бурение нового ствола.

Искусственный забой создается с помощью деревянной или металлической пробки или путем создания цементного моста.

Ориентирование отклонителя в скважине часто производят при помощи забойных сигнализаторов (при зенитном угле $\theta \geq 3^\circ$).

Сигнализатор представляет собой приспособление, подающее оператору с забоя сигнал о принятии отклонителем в скважине необходимого положения.

Электрический сигнализатор работает на следующем принципе. Электрическая цепь, в которую последовательно включены на поверхности источник питания, источник света или вольтметр и сигнализатор у забоя скважины, разорвана в сигнализаторе и может быть замкнута при помощи металлического шарика. Шарик свободно катается в кольцевом желобе и всегда находится на стороне лежащей стенки скважины.

Отклонитель, который может быть повернут на любой угол по отношению к электрическому разрыву сигнализатора, закрепляют на поверхности при определенном положении желоба отклонителя относительно этого разрыва. Отклоняющий снаряд, спущенный на требуемую глубину, медленно вращают с поверхности.

В момент замыкания цепи шариком оператор получит сигнал о заданном положении отклонителя в скважине.

Бурение искривленного ствола производится специальным снарядом, представленным на рис. 85. Этот снаряд состоит из трех основных частей: отклоняющего приспособления 2, отбурочного снаряда 4 и раскрепляющего устройства (распорного клина) 6.

Распорный клин и буровой снаряд во время спуска прикреплены к отклоняющему приспособлению штифтами 5. Буровой снаряд представляет собой короткую колонковую трубу с коронкой, заправленной твердыми сплавами или алмазами, которая присоединена к штангам при помощи шарнирного переходника 3.

Вся компоновка с установленным выше отклоняющим приспособлением сигнализатором 1 опускается в скважину. Над забоем скважины при помощи сигнализатора желоб отклоняющего клина ориентируется в заданном направлении. Затем компоновка опускается на забой. При упоре в забой скважины срезаются нижние штифты 5 и при движении отклоняющего клина вниз происходит его закрепление в скважине распорным клином 6.

Затем при дополнительном давлении на забой 1500—2000 кгс срезаются верхние штифты 5, удерживающие буровой снаряд, и

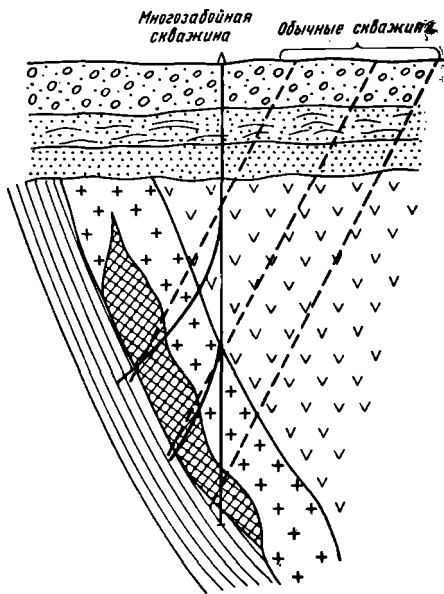
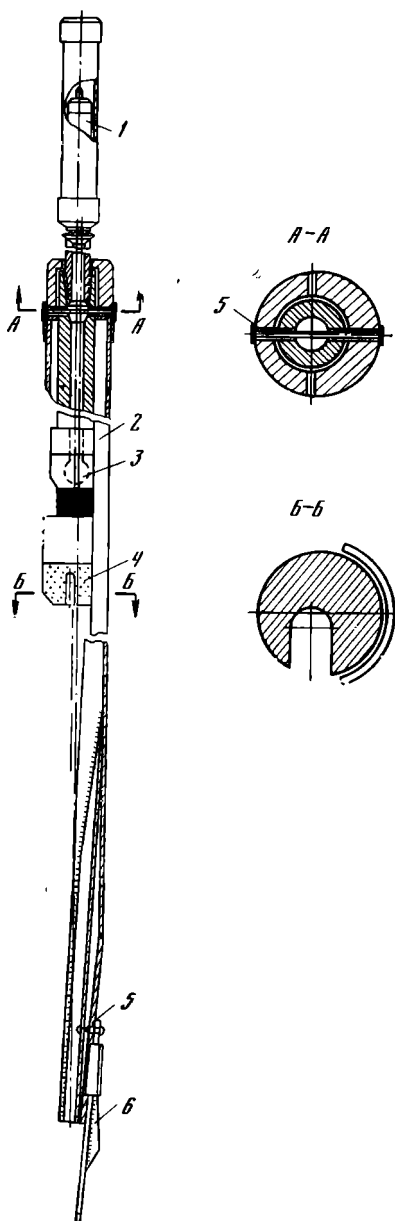


Рис. 84. Схема разведки крутопадающего рудного тела многозабойной и обычными скважинами.



производится отбурка бокового ствола, после чего съемный клин извлекается из скважины.

Дальнейшим развитием работ по направленному бурению и инклинометрии должны быть разработка основ теории искривления скважин, а также создание и внедрение:

а) технических средств для направленного и многозабойного бурения скважин малого диаметра и в том числе отклоняющего снаряда для искусственного искривления скважин полным диаметром, универсального шарнира, инструмента для забуривания дополнительных стволов многозабойных скважин;

б) аппаратуры для ориентации искусственных отклонителей в вертикальных скважинах, а также приборов для контроля кривизны глубоких скважин, проходящих в аномальной магнитной среде;

в) технологии бурения направленных и многозабойных скважин в различных геологических условиях;

г) методики разведки месторождений, основанной на многозабойном бурении.

Рис. 85. Снаряд для искривления скважин.

БУРЕНИЕ СКВАЖИН ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ВВЕДЕНИЕ

При разработке месторождений полезных ископаемых повышенной крепости наиболее трудоемкими являются буровые работы.

Основными и наиболее распространенными способами бурения взрывных скважин (шпуров) при разработке месторождений полезных ископаемых являются ударный, вращательный и ударно-вращательный. На открытых горных работах, при бурении весьма крепких пород, успешно применяется термический способ бурения.

При бурении крепких и весьма крепких пород, имеющих коэффициент крепости по шкале проф. Протодяконова М. М. от $f=10 \div 12$ до $f=20$ и выше (VIII—XII категории по шкале ЕНВ) преимущественно применяют буровые машины ударного действия.

Буровые машины вращательного действия в зависимости от рабочих качеств породоразрушающих инструментов применяются для бурения горных пород самых различных физико-механических свойств — от самых мягких до самых твердых.

Буровые машины ударно-вращательного действия, впервые получившие практическое признание в 1952—1953 гг., успешно применяются при бурении горных пород с коэффициентом крепости $f=6 \div 16$.

Буровые машины, применяемые при разработке месторождений при проведении буровзрывных работ, нашли также применение на геологоразведочных работах, при эксплуатационной разведке и оконтуривании морфологически сложных рудных тел.

Применение компактных и высокопроизводительных горнобуровых машин для проходки разведочных скважин взамен проведения горноразведочных выработок в несколько раз ускорило темпы промышленной разведки при значительном снижении стоимости. Особенно большие возможности ускорения разведочных буровых работ имеет метод бескернового бурения с применением каротажа скважин.

В Криворожском бассейне на всех рудниках и шахтах для разведочного бурения широкое применение получили пневматические колонковые перфораторы, ударно-вращательные буровые агрегаты и станки шарошечного бурения. Применение более производительных способов бурения и бурового оборудования обусловило повышение всех технико-экономических показателей на участках эксплуатационной разведки, при этом объем работ по проходке горно-разведочных выработок в бассейне уменьшился почти в 3 раза. В Донбассе для эксплуатационной разведки часто применяют реконструированные колонковые электросверла. Положительная практика применения горно-бурового оборудования при выполнении разведочных работ известна и на многих других месторождениях.

Глава I

УДАРНО-ПЕРФОРАТОРНОЕ БУРЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При ударном бурении разрушение горной породы на забое скважины или шпура происходит за счет кинетической энергии, развиваемой движущимся элементом машины и расходуемой при ударе. Лезвие ударного бурового инструмента представляет собой симметричный двусторонний клин.

При ударной нагрузке лезвие бурового инструмента входит в породу, при этом щеки клина раздвигают породу, разрушая ее на отдельные кусочки за счет деформации сдвига. Непосредственно под острием лезвия происходит раздавливание породы. При деформации сдвига получаются сравнительно крупные фракции буровой мелочи. При раздавливании под лезвием бура порода превращается в тонкую пыль. Чем больше степень затупления лезвия, тем на меньшую глубину погружается в породу буровой инструмент, тем меньше объем разрушенной породы. При этом относительное количество крупных фракций уменьшается, а количество тонких фракций увеличивается.

При проникновении лезвия бурового инструмента в породу последняя, разрушаясь, скользит по его щекам, вызывая их износ. Износ тем больше, чем больше трение между щеками лезвия и породой, а также чем абразивнее порода. В момент ударного нагружения буровой инструмент чаще неподвижен, величина крутящего момента небольшая, поворот бура производится после удара, обычно при усилии прижатия, почти равном нулю; поэтому затупление лезвия при ударном способе бурения протекает менее интенсивно, чем при других способах бурения.

Скорость ударного бурения пропорциональна мощности, развиваемой ударным механизмом буровой машины.

Главным мероприятием, ведущим к росту скорости ударного бурения, является увеличение мощности буровой машины.

Мощность любой ударной буровой машины прямо пропорциональна произведению величины кинетической энергии A_0 , развиваемой ударным механизмом, на частоту ударов в одну секунду U_s , т. е.

$$N = A_0 U_s. \quad (48)$$

Буровыми машинами ударного действия являются пневматические, гидравлические и электрические перфораторы (бурильные молотки) и станки ударно-канатного и ударно-штангового бурения.

На горных работах из ударных буровых машин наибольшее значение имеют пневматические перфораторы. Конструкции электрических и гидравлических ударных перфораторов, пока что не доведены до промышленного состояния. Станки ударно-канатного и ударно-штангового бурения находят применение на открытых разработках, постепенно уступая место более производительным станкам термического и шарошечного бурения.

Ударно-канатные станки еще широко применяются при разведке россыпей благородных и редких металлов и при бурении на воду.

§ 2. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ПЕРФОРАТОРЫ

Пневматические перфораторы по сравнению с другими буровыми машинами обладают наиболее высокими эксплуатационными качествами. Они имеют наименьший относительный вес на единицу развиваемой мощности и небольшой общий вес, невелики по габаритам, легко и просто обслуживаются и работают на самой безопасной и гибкой энергии — энергии сжатого воздуха. Пневматические перфораторы успешно бурят породы любой крепости и применяются при подземной разработке месторождений, а также на буровзрывных работах в любых горно-геологических условиях.

Пневматические перфораторы в зависимости от технико-эксплуатационных данных делят на четыре класса: ручные, телескопные, колонковые и погружные. Каждый класс делится на типы, определяемые весом и мощностью перфоратора. Отдельные конструкции (модели) перфораторов имеют марку или индекс; кроме того, каждая выпускаемая машина имеет очередной заводской номер.

При бурении пневматическими перфораторами применяют вспомогательное установочное оборудование. Ручные перфораторы устанавливаются на пневматических поддерживающих колонках. Телескопные перфораторы — на пневматических подающих механизмах (телескопах). Колонковые перфораторы монтируются на подающих механизмах, установленных на винтовых распорных

колонках или на буровых каретках (тележках). Забойные перфораторы, входящие в скважину, крепятся на колонне штанг, закрепляемой в патроне подающего механизма, установленного на кронштейне распорной колонки, на треноге или на буровой каретке.

Конструкция пневматического перфоратора

Независимо от класса и типа все пневматические перфораторы имеют следующие основные узлы (рис. 86).

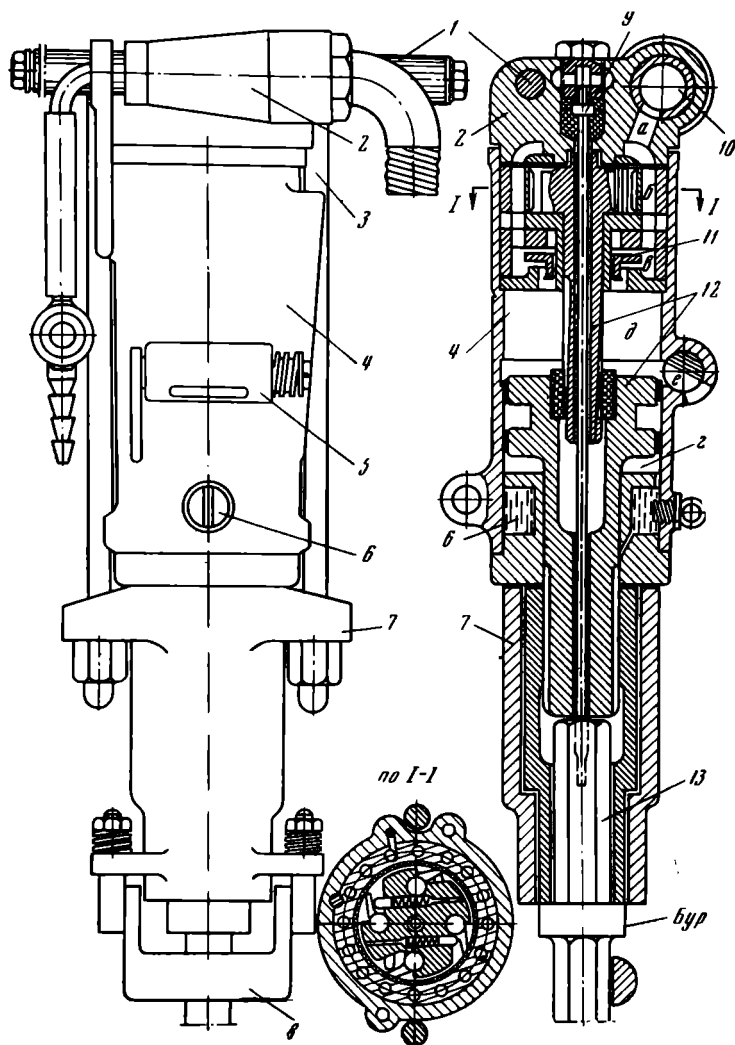


Рис. 86. Общий вид пневматического перфоратора.

Ударно-поворотный механизм 12, который наносит удары по хвостовику 13 бура и поворачивает его; воздушный пусковой кран 10; воздухораспределительное устройство 11; промывочное устройство 9; буродержатель 8; масленку перфоратора 6.

Если снять стяжные болты 3, то перфоратор распадается на три части: головку 2, цилиндр 4 и патрон 7. Выхлопное окно цилиндра *e* иногда имеет кран 5 для прямой продувки шпура. В головке перфоратора имеется ручка 1 для удерживания машины при работе. На патрубок воздуховпускного крана крепится шланг, питающий перфоратор сжатым воздухом, а на штуцер промывочного устройства — шланг, подводящий воду.

Сжатый воздух через полость в пробке пускового крана 10 по каналу *a* в головке 2 и дальше по каналу *б* в корпусе храпового кольца попадает в кольцевое пространство *в*, имеющееся внутри воздухораспределителя. Дальше сжатый воздух клапаном (или золотником) по каналам в корпусе цилиндра направляется в нижнюю *г* или верхнюю *д* полости цилиндра.

При поступлении сжатого воздуха в полость цилиндра *д* осуществляется ход поршня перфоратора вперед. При ходе поршня вперед поворотный винт поворачивается на некоторый угол. В конце хода поршень наносит удар по торцевой плоскости хвостовика бура. При движении поршня вперед, в начале хода воздух из полости *г* выходит в атмосферу через выхлопное окно и через зазоры в шлицевом сопряжении штока поршня с поворотной буксой. При дальнейшем движении поршень перекрывает выхлопное окно и сжимает воздух, оставшийся в полости цилиндра *г*. Сжимаемый воздух через каналы в теле цилиндра устремляется в воздухораспределитель и перебрасывает клапан в положение, при котором сжатый воздух направляется в нижнюю полость цилиндра. В этом случае произойдет ход поршня назад. При этом ходе поворотный винт стопорится храповым механизмом, а поршень поворачивается вместе с поворотной буксой и буром.

При бурении, обязательным условием является постоянная промывка шпура промывочной жидкостью.

Теория работы пневматического перфоратора

Основными показателями, характеризующими технико-эксплуатационные качества пневматических перфораторов, являются следующие:

мощность, развиваемая перфоратором, л. с.	<i>N</i>
кинетическая энергия поршня, кг·м	<i>A₀</i>
частота ударов поршня в 1 мин	<i>U</i>
величина максимального крутящего момента, кг·м	<i>M_{кр}</i>
угол поворота бура после удара, град.	<i>β</i>
число оборотов бура в 1 мин, об/мин	<i>n</i>
расход воздуха в 1 мин, м³/мин	<i>Q</i>
отдача перфоратора и соответствующее ей усилие подачи, кг	<i>C</i>
уровень шума перфоратора при работе, дБ	<i>l</i>
коэффициент использования перфоратора	<i>η</i>
себестоимость единицы бурения, руб.	<i>S</i>

Мощность, развиваемая пневматическим перфоратором при работе, как любой машины ударного действия, можно определить по формуле

$$N = \frac{A_0 U}{75 \cdot 60} \text{ л. с.} \quad (49)$$

Кинетическая энергия поршня

$$A_0 = \frac{m_1 v_1^2}{2} \kappa \Gamma \cdot \text{м.} \quad (50)$$

Масса поршня m_1 равна весу поршня G , деленному на ускорение $g=9,81 \text{ м/сек}^2$, т. е.

$$m_1 = \frac{G}{g} \frac{\kappa \Gamma \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}. \quad (51)$$

Скорость поршня перед ударом по буру v_1 можно рассчитать по формуле

$$v_1 = \sqrt{\frac{2sP_1}{m_1}} \text{ м/сек,} \quad (52)$$

где s — длина хода поршня в м ; P_1 — сила, движущая поршень при ходе вперед, в $\kappa \Gamma$, $P = F_1 \rho^1$, где ρ^1 среднее рабочее давление воздуха в цилиндре; F_1 — рабочая площадь поршня.

Как показали исследования, длина хода поршня перфоратора s является величиной, изменяющейся в зависимости от величины давления сжатого воздуха, от качества и массы бура, а также от физико-механических свойств буримых пород и условий бурения.

Если принять наибольшую возможную (конструктивную) длину хода поршня за $s_{\max}$, то рабочая длина хода поршня s при давлениях $4\text{—}6 \kappa \Gamma/\text{см}^2$ равна $(0,7\text{—}0,8) s_{\max}$.

Рабочее давление воздуха в цилиндре перфоратора ρ' является величиной непостоянной, зависящей от величины давления сжатого воздуха, поступающего в перфоратор из трубопровода и замеряемого обычно манометром, и от потерь давления, имеющих место при прохождении сжатого воздуха из магистрали в цилиндр перфоратора. Особенно значительны потери при недостаточных сечениях каналов в шланге, штуцере, присоединяющем шланг к перфоратору, в воздухопускном кране и в воздухораспределительном устройстве. Бывают потери давления воздуха также в каналах корпуса цилиндра, подводящих воздух в рабочие полости перфоратора.

При давлении сжатого воздуха $5\text{—}8 \kappa \Gamma/\text{см}^2$ рекомендуются следующие соотношения между рабочей площадью поршня и сечением: канала штуцера $F_s \geq 0,05 F_1$; каналов, подводящих воздух, $F_h \geq 0,025 F_1$; выхлопных окон $F_v \cdot (0,10\text{—}0,25) F_1$, где F_1 — рабочая площадь поршня при ходе вперед.

Наиболее выгодно выхлопные окна располагать по окружности при минимальной длине их.

Если обозначить манометрическое давление сжатого воздуха в трубопроводе возле перфоратора через ρ кг/см², а коэффициент потерь давления воздуха через η_n , то среднее индикаторное (рабочее) давление в цилиндре перфоратора будет равно:

$$\rho' = \rho (1 - \eta_n) \text{ кг/см}^2. \quad (53)$$

Экспериментальным путем установлено, что величина коэффициента потерь давления воздуха η_n весьма значительна. При давлении сжатого воздуха от 4 до 7 кг/см² значение η_n у современных перфораторов находится в пределах 0,4—0,5 в задней полости цилиндра и 0,5—0,6 в передней полости цилиндра. При расчетах с точностью, достаточной для практики, значение η_n можно принимать равным 0,5.

На основании приведенных материалов можно рассчитать величину энергии, развиваемой поршнем пневматического перфоратора.

При ударе поршня по буру фактическая энергия, передаваемая на лезвие бурового инструмента A_k будет

$$A_k = A_0 \eta_0, \quad (54)$$

где η_0 — коэффициент, учитывающий потери энергии удара при передачи ее на лезвие бурового инструмента:

$$\eta_0 = \eta_1 \eta_2,$$

η_1 — к. п. д. удара:

$$\eta_1 = \frac{m_1 m_2 (1 + \varepsilon)^2}{(m_1 + m_2)^2}, \quad (55)$$

где m_2 — масса бура кг·сек²/м; m_1 — масса поршня бойка кг·сек²/м; ε — коэффициент восстановления соударяющихся тел, при перфораторном бурении $\varepsilon \approx 0,90—0,95$; η_2 — коэффициент, учитывающий потери энергии в соединениях (замках) бура. Непосредственными замерами установлено, что одно резьбовое соединение имеет $\eta_2 = 0,75 \div 0,85$, а конусное $\eta_2 \approx 0,6 \div 0,75$.

На основании исследований установлены минимальные значения величины энергии, передаваемой на лезвие бурового инструмента в зависимости от крепости горных пород. При меньших значениях скорость бурения значительно снижается.

Крепость пород (по
шкале проф. Про-
тодьконова)

Величина энергии на лезвии инструмента
 A_k

До 8	$\geq 0,06$	кг·м/мм	длины	лезвия
» 12	$\geq 0,10$	»	»	»
» 16	$\geq 0,16$	»	»	»
Более 16	$\geq 0,20$	»	»	»

У современных пневматических перфораторов величиной, лимитирующей увеличение кинетической энергии, развиваемой поршнем и передаваемой буру, является запас прочности деталей ма-

шины и прочность бурового инструмента. Наиболее слабым звеном в настоящее время является лезвие буровой коронки, армированной твердым сплавом ВК-15 и допускающей нагрузку (работу) при бурении, не превышающую $3 \text{ кг} \cdot \text{м}$ на 1 см^2 сечения пластинки твердого сплава. При больших нагрузках пластинки преждевременно выходят из строя, раскалываясь и не выдерживая нормального количества заточек.

Частота ударов поршня перфоратора в одну минуту определяется по формуле

$$U = 21,2 \sqrt{\frac{F\rho'}{sm_1}} \text{ ударов/мин}, \quad (56)$$

где $F = 0,5(F_1 + F_2)$; F_2 — рабочая площадь поршня при ходе назад в см^2 ; s — длина хода поршня в м .

Увеличение мощности, а следовательно, и производительности пневматических перфораторов возможно за счет увеличения частоты ударов. Если рабочую площадь поршня увеличить, а длину хода поршня уменьшить во столько же раз, то частота ударов увеличится в это же число раз, при сохранении величины силы удара.

Если у обычных перфораторов отношение величин диаметра к длине хода поршня находится в пределах 1,0—1,25, то у высокочастотных (быстроударных) это отношение равно 2 и больше.

В настоящее время созданы конструкции пневматических перфораторов, имеющих частоту ударов до 5000—6000 в 1 мин, увеличивших скорость бурения в 3—5 раз. Практическое применение этих высокопроизводительных машин тормозится из-за отсутствия мероприятий, снижающих шум, создаваемый при работе, который превышает допускаемые санитарные нормы.

Если в формулу (49) подставить полученные значения энергии поршня A_0 и частоты ударов U и произвести преобразования, то получим формулу, показывающую зависимость мощности перфоратора от его внутренних параметров:

$$N = 0,047 \sqrt{\frac{F^3 \rho'^3 s}{m_1}}. \quad (57)$$

Мощность перфоратора наиболее выгодно можно увеличивать за счет увеличения рабочей площади F и давления воздуха ρ^1 .

Поворот бура осуществляется при ходе поршня назад. Поступательное движение поршня с помощью поворотного винта и гайки преобразуется во вращательное движение поршня и поворотной буксы.

В зависимости от крепости горных пород, в которых производится бурение, рекомендуются следующие значения углов поворота бура β_0 : при бурении горных пород крепостью $f < 10$, $\beta_0 = 18^\circ - 36^\circ$; при бурении горных пород крепостью $f = 10 \div 16$, $\beta_0 = 9^\circ - 18^\circ$, а при бурении горных пород крепостью $f > 16$ $\beta_0 < 9^\circ$.

Расход сжатого воздуха пневматическим перфоратором при работе определяют по формуле

$$Q = (F_1 + F_2) s U \rho k \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{мин.} \quad (58)$$

В формуле размеры F_1 и F_2 в см^2 , s — в см , коэффициент k , учитывающий утечки сжатого воздуха и неполную степень заполнения цилиндра, для новых перфораторов $k=0,8$, для изношенных $k=1$.

Ручные пневматические перфораторы

Ручные перфораторы предназначены для бурения шпуров при проведении горизонтальных и вертикальных горных выработок.

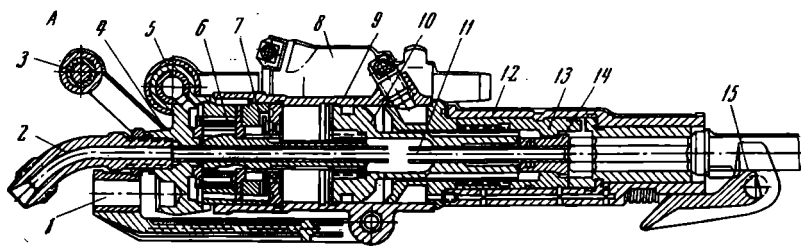


Рис. 87. Пневматические перфораторы с пылеотсосом ПРО-30Л.

1 — вилка, 2 — патрубок пылеотсасывающего устройства, 3 — ручка, 4 — головка, 5 — воздухопускной кран, 6 — храповой механизм, 7 — воздухораспределительное устройство, 8 — автомасленка, 9 — цилиндр, 10 — поршень, 11 — трубка, 12 — пат-
рой, 13 — поворотная букса, 14 — боек, 15 — буродержатель.

Легкие ручные перфораторы весом до 18—20 кг применяют при бурении горных пород с коэффициентом крепости до $f \leq 10$, при диаметре буровой коронки до 40 мм и глубине шпура до 3 м. Работа бурения выполняется с руки или с легкой пневматической поддерживающей колонки.

Ручные перфораторы среднего веса (до 25 кг) применяют при бурении пород с коэффициентом крепости от $f=10$ до $f=16$, при диаметре буровой коронки до 50 мм и глубине шпура до 5 м. Бурение производится при помощи пневматической поддерживающей колонки.

Тяжелые ручные перфораторы весом свыше 25 кг применяются при бурении горных пород с коэффициентом крепости $f \geq 14 \div 16$, при диаметре коронки до 65 мм и глубине шпура до 6 м. При бурении шпуров, направленных вниз (при проходке и углубке стволов шахт, шурфов), работа перфоратором может осуществляться с руки. При бурении шпуров, имеющих горизонтальное направление или с отклонением от горизонтали до 45° , перфоратор устанавливается на пневматическую поддерживающую колонку или другое установочное оборудование.

Техническая характеристика ручных перфораторов

Показатели	Легкие ¹				Среднего веса ²						Тяжелые ³			
	ПР-10	ПР-13Л	ПР-18Л	ПР-19	ПР-22	ПА-23	ПР-24Л	ПР-24ЛБ	ПР-25	ПРС-4	ПР-35	ПР-30К	ПР-30Л	ПР-30ЛБ
Вес, кг	11	13	18	22	25	25	26	25	25	26	28	30	31	30
Длина, мм	470	500	570	612	635	620	610	670	632	547	638	620	687	687
Ход поршня, мм	25	38	40	50	55	50	40	40	35	35	55	60	60	55
Нормальное давление воздуха, кг/см ²	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Диаметр воздушного шланга, мм	25	16	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Расход воздуха, м ³ /мин	2,2	1,8	2,6	2,5	2,8	2,3	3	3,2	2,8	3,2	2,8	3	3	3
Диаметр водяного шланга, мм	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Расход воды, л/мин	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
Диаметр буровой стали, мм	22	22	22	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Длина хвостовика бура, мм	82	82	82	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
Допускаемый диаметр буровой коронки, мм	32	32	46	46	49	46	49	49	49	49	65	65	65	65
Мощность перфоратора, л. с.	1,3	1,25	2	1,4	2,3	1,4	2,75	2,87	2,85	2,3	2	2,4	2	2,2
Энергия поршня, кгм	1,72	2	3,5	3,5	5	3,5	5	5	5	4	5	6	5	5,8
Число ударов в 1 мин	3400	2800	2700	1850	1850	1825	2500	2600	2600	2600	1800	1800	1800	1700
Максимальный крутящий момент, кг·см	68	50	100	100	150	125	200	250	200	225	160	180	135	135
Уровень шума, дБ	118	—	—	113	114	115	115	117	118	114	112	113	113	—
Коэффициент крепости пород, f	До 10				До 14						Более 14			
Скорость бурения гранита ($f=10÷12$), мм/мин	85	—	—	75	105	75	140	135	120	115	75	90	75	80
Глубина бурения, м	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5

¹ Взамен легких перфораторов намечено выпускать перфоратор ПР-12.² Взамен перфораторов среднего веса намечено выпускать перфоратор ПР-25.³ Взамен тяжелых перфораторов намечено выпускать перфоратор ПР-30.

При бурении шпуров с промывкой водой на забоях горных выработок возникает сырость, отрицательно действующая на здоровье человека. С целью создания пневматических перфораторов, работающих без промывки шпура, разработано несколько конструкций перфораторов, работающих с отсасыванием буровой пыли.

Ленинградский завод «Пневматика» изготавливает конструкцию ручного тяжелого перфоратора ПРО-30Л (рис. 87), который имеет промежуточный боек и пылеотсасывающую трубку, сопрягающуюся со штуцером, к которому присоединяют рукав для отвода пыли к пылеуловителю. Идентично устроены перфораторы ПР-30КС, изготавливаемые Кыштымским машиностроительным заводом.

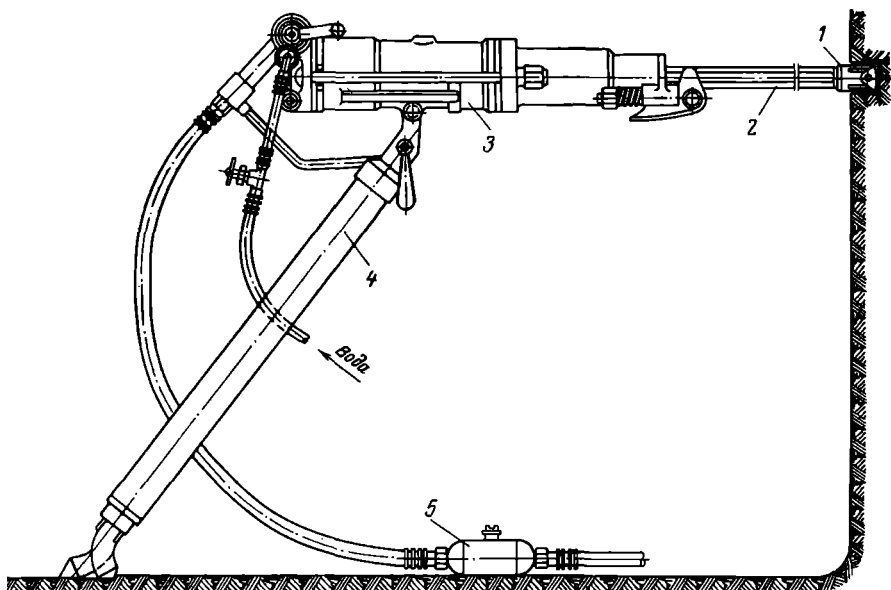


Рис. 88. Пневматические поддерживающие колонки для ручных перфораторов.
1 — съемная коронка, 2 — бур, 3 — ручной перфоратор, 4 — пневмоподдержка, 5 — автомасленка

Технические характеристики ручных пневматических перфораторов приведены в табл. 21.

Пневматические поддерживающие колонки для ручных перфораторов изготавливаются в двух конструктивных вариантах: а) неподвижным является шток поршня, движется же цилиндр, на головке которого крепится перфоратор, и б) неподвижен цилиндр, движется же поршень со штоком, на котором закреплен перфоратор. Общий вид установки ручного перфоратора на пневмоподдержке при бурении горизонтальных шпуров показан на рис. 88.

Телескопные пневматические перфораторы

Телескопные перфораторы предназначаются для бурения шпуров, направленных вертикально вверх или с отклонением от вертикали до $35\text{--}45^\circ$ в горных породах и рудах любой крепости на очистных работах, при проходке восстающих горных выработок и при бурении неглубоких разведочных скважин.

В Советском Союзе выпускаются легкие телескопные перфораторы весом до 35 кг, среднего веса до 45 кг и тяжелые — весом больше 45 кг.

Из легких телескопных перфораторов в настоящее время распространен перфоратор ПТ-29 (рис. 89), предназначенный для бурения шпуров коронкой диаметром до 46 мм при глубине бурения до 3 м. Перфоратор ПТ-29 состоит из двух основных частей: перфоратора и подающего механизма-телескопа, соединенных стяжными болтами. Телескоп состоит из цилиндра 12, поршня с головкой 10 и штоком 11. Упор штока 22 вилкообразный, на штоке имеются две лыски, благодаря которым перфоратор удерживается от вращения во время работы, вызываемого излишне большим реактивным крутящим моментом перфоратора. Перфоратор может бурить после установки и запуска без бурильщика, чем создаются условия для многоперфораторного обслуживания.

Телескопные перфораторы среднего веса ПТ-36, ПТ-45ВМ, ПТ-45ЛП, ПТ-45К, ТП-4-2 и ПТС-2 предназначаются для бурения шпуров диаметром до 65—85 мм, глубиной до 8—10 м.

Основными конструкциями телескопных перфораторов в настоящее время являются новые модели ПТ-36 (завод «Коммунист») и ПТ-45ВМ (Кыштымский машиностроительный завод). Новые модели перфораторов, по сравнению со старыми, имеют примерно в 2 раза большую мощность, повышенную частоту ударов поршня и увеличенный крутящий момент при том же весе.

Изготавливаются телескопные перфораторы также с боковым расположением телескопа, они предназначаются для работы в горных выработках малой высоты.

На шахте «Гигант-Глубокая» (Кривбасс) для бурения шпуров глубиной до 20 м был изготовлен тяжелый двухтелескопный перфоратор П2Т-60, которым можно бурить шпур, направленный вертикально вверх или же с отклонением до $25\text{--}35^\circ$ от вертикали.

Перфоратор П2Т-60 при бурении до 8—10 м работает, используя усилие подачи одного телескопа, которое равно 180 кг. При большой глубине бурения подача осуществляется двумя телескопами, развивающими усилие до 360 кг.

С 1968 г. вместо выпускаемых в настоящее время разнообразных конструкций телескопных перфораторов намечается выпуск всего трех типовых машин, в том числе разрабатывается наиболее мощный перфоратор ПТ5 с энергией удара 9,25 кгм при частоте до 2300—2600 ударов в 1 мин, развивающий крутящий момент до 250 кг·см и мощность до 5,3 л. с. Технические характеристики телескопных перфораторов приведены в табл. 22.

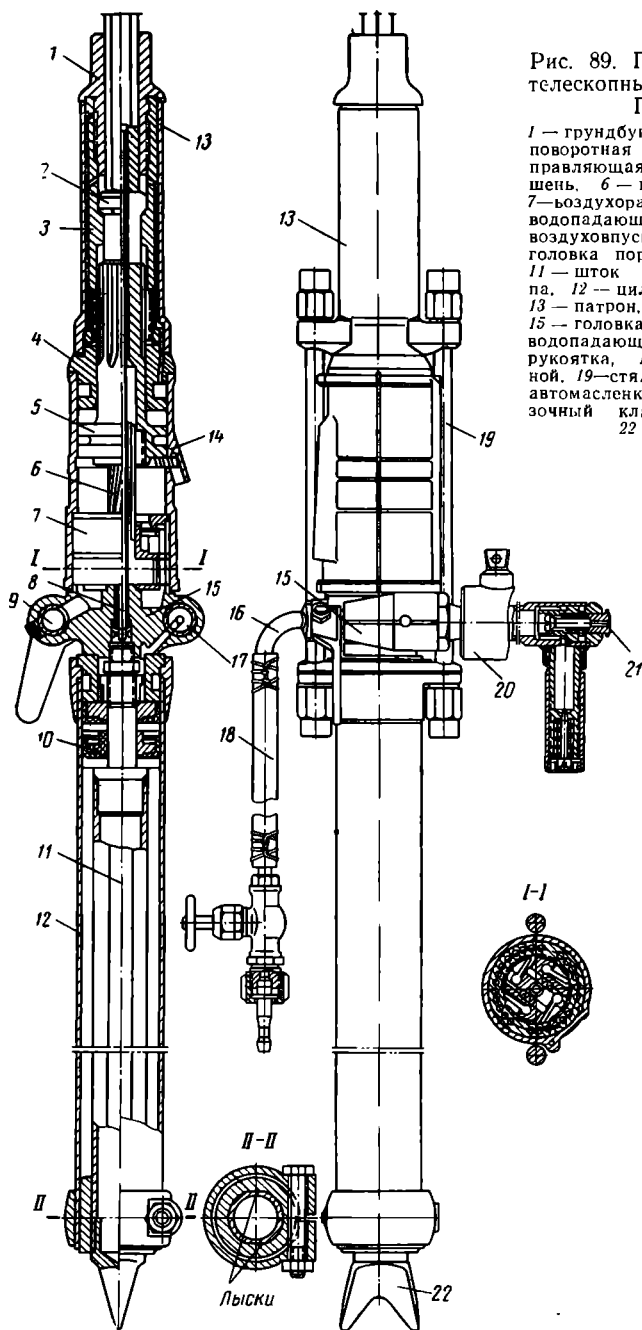


Рис. 89. Пневматический
телескопный перфоратор
ПТ-29.

1 — грундбукса, 2 — боск, 3 — поворотная букса, 4 — направляющая втулка, 5 — поршень, 6 — поворотный винт, 7 — воздухораспределение, 8 — водопадающая трубка, 9 — воздуховпускной край, 10 — головка поршня телескопа, 11 — шток поршня телескопа, 12 — цилиндр телескопа, 13 — патрон, 14 — цилиндр, 15 — головка молотка, 16 — водопадающий патрубок, 17 — рукоятка, 18 — шланг водяной, 19 — стяжные болты, 20 — автомасленка, 21 — разгрузочный клапан телескопа, 22 — упор.

Технические характеристики пневматических телескопных перфораторов

Показатели	Завод «Коммунист»					Кыштымский машиностроительный завод		Завод «Пневматика»	Институт «Гипрорудмаш»		Шахта «Гигант»
	ПТ-29	ПТ-2	ПТ-36	ПТ-3 ¹	ПТ-5 ¹	ПТ-45К	ПТ-45ВМ	ПТ-45ЛП	ПТС-2	ПТТ-2	ПТТ-60
Общий вес, кг	38	26	47	36	47	45	44	45	40	50	60
Полная длина, мм	1418	—	1400	—	—	1700	1460	1320	1480	1485	1750
Давление воздуха, кг/см ²	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Диаметр воздушного шланга, мм	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Диаметр водяного шланга, мм	13	13	13	13	13	13	13	—	13	13	13
Диаметр буровой стали, мм	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Диаметр буровой коронки, мм	46	50	65	65	85	65	65	65	65	85	85
Диаметр цилиндра перфоратора, мм	76	—	100	—	—	75	110	76	90	110	100
Вес поршня, кг	1,14	—	2,16	—	—	2,5	2,2	2,2	2,0	2,2	2,16
Ход поршня, мм	40	—	38	—	—	55	39	34	30	30	35
Энергия поршня, кгм	4,0	4,0	6,0	5,8	9,25	5,0	5,5	5,4	4,0	6,0	6,0
Частота ударов поршня в 1 мин	2500	2500	2700	2500	2500	1700	2600	2600	2600	2700	2900
Максимальный крутящий момент, кг·см	120	120	210	180	250	180	200	200	200	200	210
Число оборотов в 1 мин	140	—	80	—	—	120	150	135	150	150	80
Мощность перфоратора л. с.	2,1	2,12	3,8	3,5	5,3	1,85	3,0	3,0	2,2	3,5	3,8
Расход воздуха, м ³ /мин	3,5	2,8	4,2	3,5	4,5	3,2	5,0	5,3	3,8	5,0	4,3
Расход воды, л/мин	4,0	4,0	4	4,0	5,0	4,0	4,0	—	4,0	4,0	4,0
Уровень шума, дБ	116	—	122	—	—	112	122	122	116	122	122
Глубина бурения, м	5	5	10	10	15	8	8	8	6	12	20
Диаметр поршня телескопа, мм	67	—	76	—	—	65	85	76	65	82	76
Длина подачи, мм	650	—	650	—	—	600	735	600	750	750	1000
Усилия подачи, кг	120	95	180	115	160	115	190	175	115	180	360
Скорость бурения гранита ($f=10÷12$) мм/мин	84	—	135	—	—	75	—	100	85	125	135

¹ Эти перфораторы намечены к выпуску.

Колонковые пневматические перфораторы применяются при проходке выработок, на очистных работах для бурения шпуров, а также для бурения разведочных скважин, направленных горизонтально или же с отклонением от горизонта до $\pm 45^\circ$. Более высокие технико-экономические показатели получают при бурении горных пород и руд с коэффициентом крепости не ниже $f=6\div 8$.

В Советском Союзе выпускаются три типа колонковых перфораторов: легкие, весом до 40 кг, среднего веса — от 40 до 50 кг и тяжелые — более 50 кг. В комплект колонкового перфоратора обычно входит сам перфоратор, подающий механизм, распорная винтовая колонка и автоматическая масленка. По отдельному заказу комплект колонкового перфоратора может быть выполнен в ином составе, с манипуляторами при бурении, с каретки или с треногой при высокой потолочине в горной выработке, когда невозможно установить распорную колонку.

Для нормальной работы пневматического перфоратора требуется, чтобы вес распорной колонки был равен не менее чем полутонному весу самого перфоратора.

У лучших конструкций колонок перестановка перфоратора на новое место бурения шпура механизирована. Распорная колонка крепится в выработке при помощи вывинчивания распорного винта, перфоратор с податчиком монтируются на кронштейне. При перестановке перфоратора ослабляют гайки стяжных болтов хомута кронштейна, после чего, вращая подъемную гайку, за ручки, передвигают кронштейн вместе с перфоратором вверх или вниз.

Для смазки всех трущихся элементов перфоратора на воздухопитающем шланге устанавливается масленка-лубликатор с автоматической подачей масла в перфоратор.

Легкие колонковые перфораторы предназначаются для бурения шпуров коронкой диаметром до 65 мм при глубине бурения до 10 м.

Колонковый перфоратор среднего веса КС-50 предназначается для бурения шпуров коронкой диаметром до 85 мм.

На рис. 90 изображен перфоратор КС-50 в рабочем положении.

Бурение перфоратором производится с податчика ППЗ, установленного на винтовой распорной колонке ВК-80 или ВК-100. На последнюю можно монтировать на двух кронштейнах две машины КС-50.

В комплект перфоратора КС-50 входит автомасленка ФАМ-2, устанавливаемая вместо воздуховпускного патрубка на головке перфоратора.

Конструкция КС-50 имеет наибольшее распространение на шахтах Криворожского бассейна, являясь малогабаритной и сравнительно не тяжелой буровой машиной, обслуживаемой одним человеком.

Тяжелые колонковые перфораторы ПК-60 и КТ-70 предназна-

чаются для бурения наиболее крепких горных пород, при начальном диаметре буровой коронки до 100 мм, при глубине бурения до 25—30 м.

КТ-70 обладает более высокими эксплуатационными качествами, он более производитель и надежен в работе, имеет меньший уровень шума.

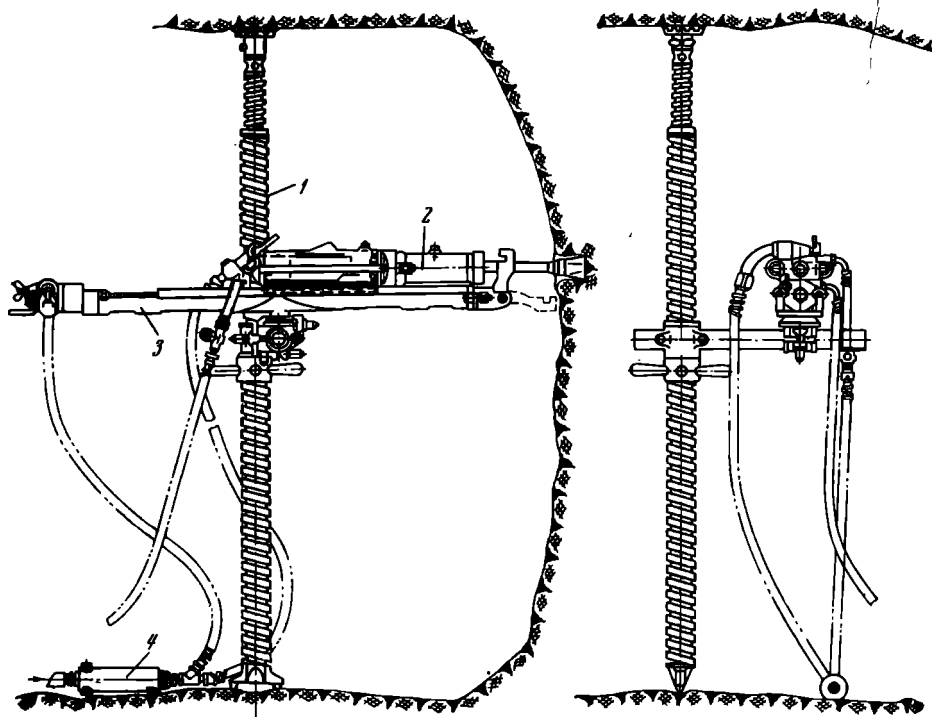


Рис. 90. Перфоратор КС-50 в рабочем положении.
1 — колонка, 2 — перфоратор, 3 — автоподатчик, 4 — автомасленка.

На рис. 91 показан перфоратор КТ-70 в рабочем положении. Перфоратор с податчиками смонтирован на двух колонках.

Подающий механизм перфоратора КТ-70 пневматический моторный, с цепной подачей. Вращательное движение от поршневого двухцилиндрового двигателя МП-4, вращающего коленчатый вал, передается через червячный редуктор на ведущую звездочку цепной передачи. Пластинчатая цепь охватывает звездочки, установленные на концах рамы салазок; концы крепятся в проушинах на корпусе перфоратора. Одна звездочка установлена жестко на раме на неподвижных подшипниках, вторая — на натяжном винтовом устройстве (см. рис. 96, в).

Пуск и управление перфоратором и подающим механизмом

находится на одном общем щите, что облегчает обслуживание машины.

Смазка перфоратора производится с помощью автомасленки, установленной на воздуховпускном окне клапанной коробки перфоратора.

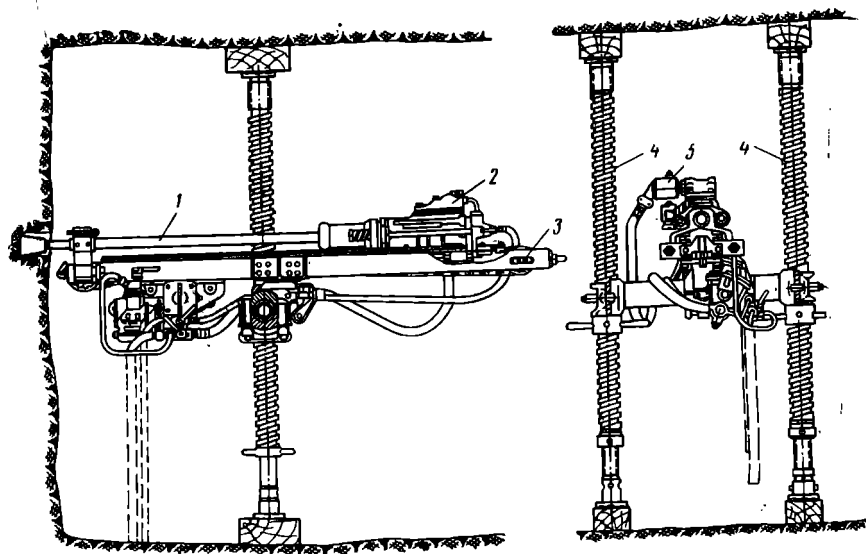


Рис. 91. Колонковый тяжелый перфоратор КТ-70.

1 — бур, 2 — перфоратор, 3 — автоподатчик, 4 — распорные колонки, 5 — автомасленка.

Установка перфоратора КТ-70 на двух колонках имеет следующие преимущества: колонки более легкие, что облегчает доставку и установку их; кроме того, обеспечивается хорошая устойчивость всего оборудования во время бурения.

В настоящее время разрабатываются более производительные конструкции колонковых перфораторов. Технические данные колонковых перфораторов приведены в табл. 23.

Забойные (погружные) пневматические перфораторы

Проблема бурения глубоких скважин с большими скоростями, в породах и рудах любой крепости наиболее полноценно решается с помощью погружных забойных пневматических перфораторов.

При перенесении на забой скважины пневматического перфоратора, представляющего собой ударный и вращательный механизм, кроме создаваемой при этом возможности проходки скважин с постоянной скоростью бурения, решаются такие проблемы,

Технические характеристики колонковых перфораторов

Наименование показателей	Легкие	Средние		Тяжелые		Новые перфораторы, намеченные к выпуску с 1969—1970 гг.		
	КЦМ-4	КС-50	ПКА	ПК-60	КТ-70	ПКЗ	ПК5	ПК-9
Вес, кг	40	50	44	60	70	30	42	60
Длина, мм	650	720	620	760	750	—	—	—
Диаметр цилиндра, мм	76	90	125	100	100	—	—	—
Вес поршня, кг	2,9	4,0	4,0	5,25	6,0	—	—	—
Ход поршня, мм	70	70	30	75	75	—	—	—
Давление сжатого воздуха, кг/см ²	5	5	5	5	5	5	5	5
Диаметр воздушного шланга, мм	25	25	25	25	25	25	32	38
Расход воздуха, м ³ /мин	4,0	4,5	6,0	5,0	5,0	3,5	4,5	7,1
Диаметр водяного шланга, мм	13	13	13	13	13	—	—	—
Расход воды, л/мин	4	5	5	5	5	—	—	—
Диаметр буровой стали, мм	32	32	32	32	32	—	—	—
Диаметр буровой коронки, мм	52	65	65	85	85	52	65	85
Длина хвостовика бура, мм	97	97	97	97	97	—	—	—
Мощность перфоратора, л. с.	3,0	3,5	3,5	3,8	3,7	3,35	5,3	8,5
Энергия поршня, кг·м	7,0	9,0	7,0	12,0	12,0	5,3	9,25	15,0
Частота ударов поршня, удар/мин	1750	1600	2500	1300	1250	2300	—	2600
Число оборотов бура, об/мин	60	40	120	40	40	—	—	—
Максимальный крутящий момент, кг·см	180	235	250	300	325	180	250	350
Окружное усилие, кг	35	27	41	35	38	35	29	41
Нормальное усилие подачи (угол бурения = 0), кг	75	90	280	100	95	115	110	260
Уровень шума, дБ	116	116	121	112	110	—	—	—
Мощность, приходящаяся на 1 мм диаметра коронки, кг·м/мм	4,3	3,1	3,1	3,4	3,3	4,8	4,7	7,5
Работа одного удара на 1 мм диаметра коронки, кг·м/мм	0,135	0,106	0,082	0,141	0,140	0,111	0,109	0,176
Глубина бурения, м	10	15	15	20	25	6	12	25
Удельный расход сжатого воздуха, см ³ /кг·м	325	310	340	320	325	300	300	300
Коэффициент использования, K _и	0,6	0,6	—	0,55	0,55	—	—	—

как уменьшение шума при бурении, разгрузка буровых штанг и создание возможности направленного бурения.

При бурении буровыми агрегатами с забойными пневмодарниками идея забойной буровой машины используется только на-

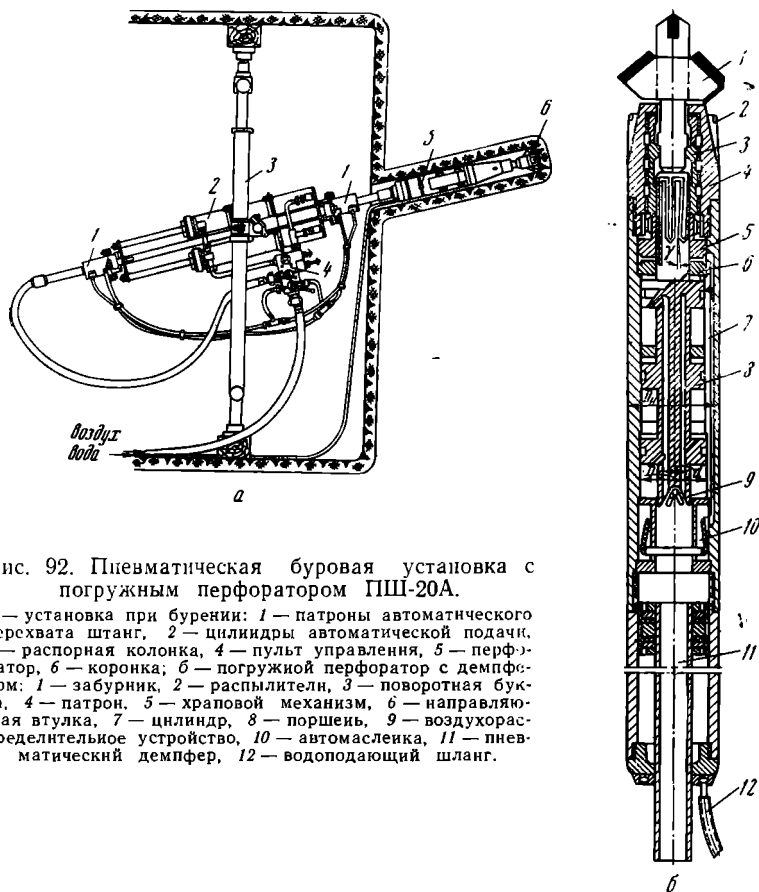


Рис. 92. Пневматическая буровая установка с погружным перфоратором ПШ-20А.

а — установка при бурении: 1 — патроны автоматического перехвата штанг, 2 — цилиндры автоматической подачи, 3 — распорная колонка, 4 — пульт управления, 5 — перфоратор, 6 — коронка; *б* — погружной перфоратор с демпфером: 1 — забурник, 2 — распылитель, 3 — поворотная букаса, 4 — патрон, 5 — храповой механизм, 6 — направляющая втулка, 7 — цилиндр, 8 — поршень, 9 — воздухораспределительное устройство, 10 — автомасленка, 11 — пневматический демпфер, 12 — водоподающий шланг.

половину, так как в скважину посылается только один ударный механизм.

Забойные перфораторы предназначены для бурения глубоких взрывных и разведочных скважин в породах любой крепости.

Диаметр скважины равен наружному диаметру перфоратора плюс 10—15 мм. Практически для буровзрывных работ бурят скважины глубиной до 80 м, при этом проходка скважин возможна в любом направлении.

На рис. 92 показан общий вид буровой установки ПШ-20А. На распорной винтовой колонке установлен пневматический авто-

податчик, в зажимных патронах которого крепятся штанги, несущие забойный перфоратор. Патроны и двухцилиндровая пневматическая подача работают автоматически, выполняя подачу в скважину или из скважины на всю длину штанги. Нарастивание штанг выполняется вручную. Управление установкой сосредоточено на пульте.

Окружное усилие, развиваемое поворотным механизмом перфоратора при оптимальной величине осевого давления, погашающего отдачу и подающего перфоратор вперед, при бурении обычно не превышает 25—30 кГ. При наличии избыточной силы осевого давления величина крутящего момента, развиваемого перфоратором, может быть недостаточной, перфоратор может «заглохнуть», остановиться. Для забойных перфораторов во избежание излишнего прижатия его при бурении устанавливают между штангами и перфоратором воздушный, пружинный или комбинированный демпфер, обеспечивающий оптимальную величину осевого давления на перфоратор и нормальную его работу.

Основным мероприятием, ведущим к увеличению мощности и производительности пневматического перфоратора в несколько раз, является применение повышенного давления сжатого воздуха до 8—10 кГ/см². При работе обычных перфораторов это мероприятие сопровождается увеличением вибраций и шума машины, что ухудшает условия работы бурильщика. При работе забойными перфораторами применение воздуха давлением 10 кГ/см² и выше ведет только к увеличению его производительности. Как показали лабораторные наблюдения, при увеличении давления воздуха с 5 до 10 кГ/см² скорость бурения перфоратора ПШ-20 увеличивается в 3 раза, а величина крутящего момента в два раза. Перфоратор работает бесперебойно. В Криворожском бассейне известны конструкции погружных перфораторов с колонковым снарядом для бурения разведочных скважин.

Погружные перфораторы рассчитаны на бурение взрывных скважин диаметром 100—150 мм до глубины 50—60 м. Число ударов в 1 мин 1800—2400. Энергия удара от 7 до 16 кГ·м.

§ 3. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРФОРАТОРНОГО БУРЕНИЯ

Механизация и автоматизация работ при перфораторном бурении производятся с помощью применения механизированных колонок, буровых кареток, манипуляторов и автоматических подающих механизмов.

Механизированные распорные колонки

При бурении тяжелыми колонковыми перфораторами рекомендуются специальные колонки с приспособлениями, механизующими операцию перестановки перфоратора по колонке (см. рис. 90—91).

Применение механизированных колонок повышает сменную производительность бурильщика.

Буровые каретки

Буровые каретки различают по назначению, количеству установленных перфораторов, способу передвижения и роду применяемой энергии.

Легкие буровые каретки на один или два перфоратора предназначены для работы в однопутевых горизонтальных горных выработках и обслуживаются одним человеком.

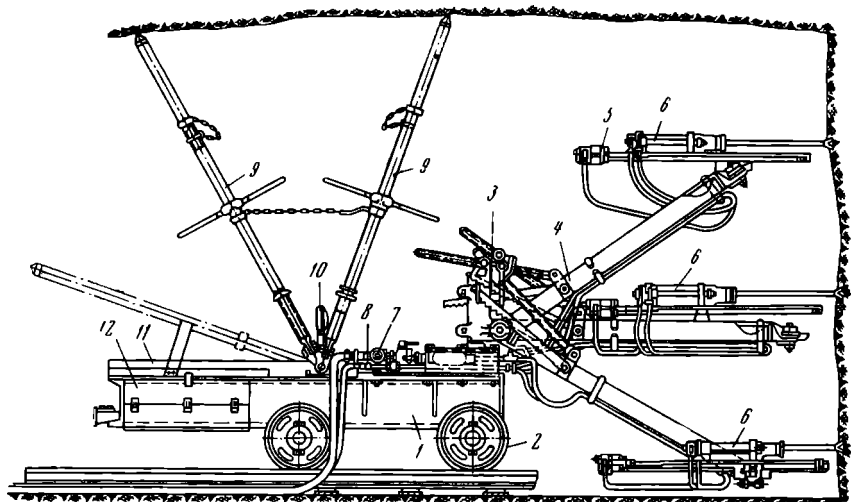


Рис. 93. Буровая каретка БК-3.

Буровая каретка на три или четыре пневматических перфоратора (рис. 93) применяется в однопутевых и двухпутевых горных выработках. На каретке устанавливаются мощные колонковые перфораторы, обслуживаемые одним или двумя бурильщиками.

Каретка имеет платформу 1, сваренную из швеллерного проката и установленную на два полуската 2. На платформе смонтированы стойки 3, к которым шарнирно присоединяются стрелы манипуляторов 4. На кронштейнах манипуляторов крепятся автоподатчики 5 с пневматическими перфораторами 6. На платформе устанавливаются два коллектора: воздушный 7 и водяной 8, распорные колонки 9, прожектор 10 и ящики для бурового инструмента 11 и набора слесарного инструмента 12.

К забою выработки каретка в сложенном виде доставляется с помощью электровоза и затем раскрепляется с помощью колонок 9. Все механизмы приводятся в рабочее положение, после чего приступают к бурению.

В последние годы созданы и внедряются самоходные буровые каретки на колесном и гусеничном ходу.

Самоходная колесная буровая каретка СБКНС-3 показана на рис. 94.

Каретка СБКНС-3 имеет ходовой механизм с электрическим приводом. Вращательное движение от электродвигателя через шестеренчатый редуктор передается на оси полускатов 10. Питание электроэнергией производится через токосъемник 6 или через кабель. На трех стрелах манипуляторов 7 установлены автоподатчики 3 с перфораторами 5. Движение стрел манипуляторов

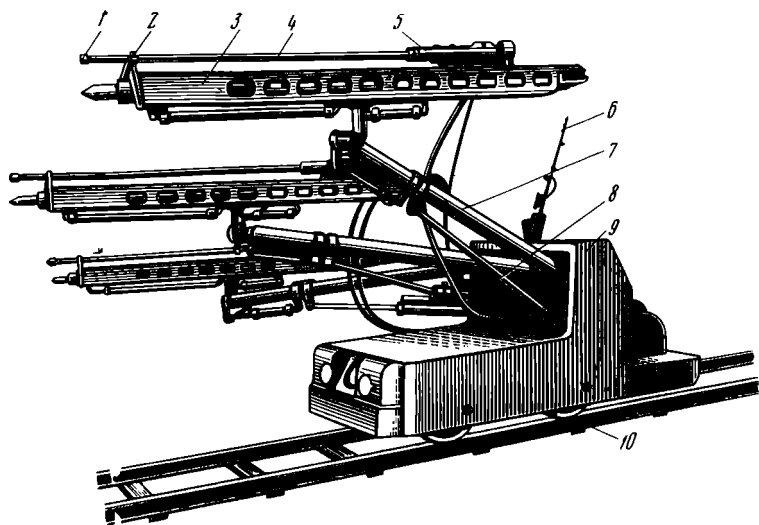


Рис. 94. Самоходная буровая каретка СБКНС-3.

1 — коронка буровая, 2 — буронаправитель, 3 — подающий механизм, 4 — буровая штанга, 5 — перфоратор, 6 — токосъемник, 7 — стрела манипулятора, 8 — гидравлический домкрат, 9 — корпус каретки, 10 — полускаты.

производится с помощью гидравлических домкратов 8. Давление жидкости в гидросистеме создается с помощью маслонасоса с электроприводом, установленных на каретке.

Недостатком буровых кареток, имеющих колесный рельсовый ход, является необходимость выкатки их из горной выработки для освобождения железнодорожного пути, по которому должны быть поданы к забою погрузочная машина и состав вагонов. Эта операция требует иногда значительных непроизводительных затрат времени на маневрирование. Указанный недостаток устраняется при установке буровой каретки на гусеничном ходу. На рис. 95 показана буровая каретка с гусеничным ходовым оборудованием.

Стойки со стрелами манипуляторов смонтированы на раме тележки 12, опирающейся на две гусеницы. Каждая гусеница имеет балку 13, на одном конце которой на закрепленных подшипниках установлена ведущая звездочка, а на другом конце на подвижных подшипниках установлена натяжная звездочка.

В стесненных подземных условиях более удобны в эксплуатации гусеничные тележки с отдельным приводом для каждой гусеницы. При включении двигателя одной гусеницы на ход вперед, а двигателя второй — на ход назад, тележка поворачивается на месте вокруг собственного центра.

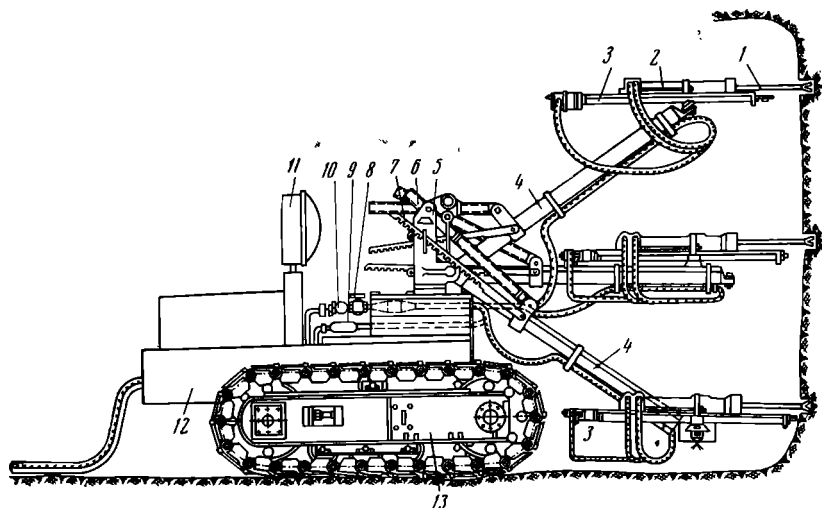


Рис. 95. Самоходная буровая каретка с гусеничным ходовым оборудованием.

1 — бур, 2 — перфоратор, 3 — подающий механизм, 4 — стрела манипулятора, 5 — стойка, 6 — подъемный винт манипулятора, 7 — фиксатор, 8 — кран, 9 — водяной коллектор, 10 — воздушный коллектор, 11 — прожектор, 12 — рама, 13 — гусеничная балка.

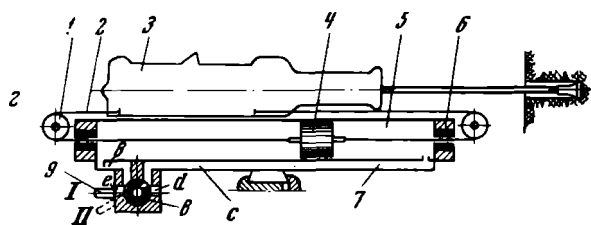
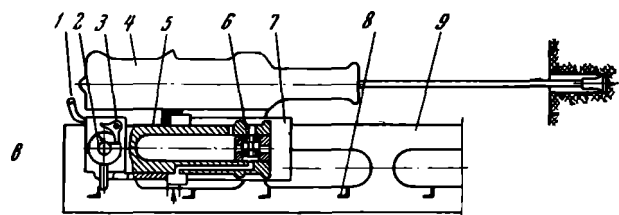
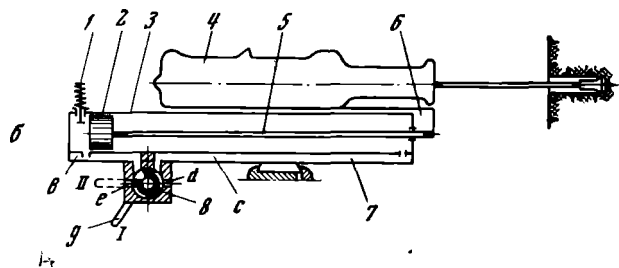
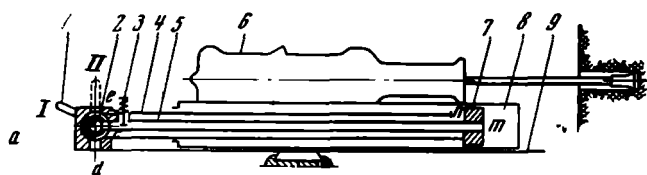
Манипуляторы

Назначение манипуляторов — механизация вспомогательных операций при перфораторном бурении. Манипуляторы можно монтировать на буровых каретках, корпусах погрузочных машин и распорных колонках. Как в Советском Союзе, так и за рубежом известно большое количество различных конструкций манипуляторов. По принципу работы привода их можно разделить на механические, гидравлические, пневматические и комбинированные.

Автоматические подающие механизмы

С помощью автоподатчиков механизмуется операция подачи пневматического перфоратора вперед при бурении и назад после окончания бурения на длину подачи. Конструкции, выполняющие эти операции без вмешательства человека, называют автоподатчиками.

Автоподатчики по принципу работы можно разделить на следующие группы и подгруппы:



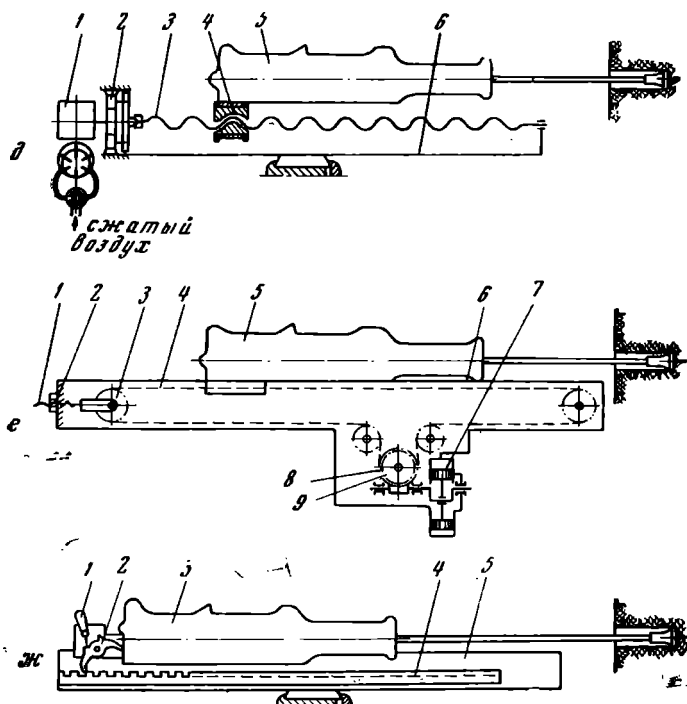


Рис. 96. Кинематические схемы автоподатчиков.

а — пневматический телескопный автоподатчик с неподвижным поршнем: 1 — ручка крана, 2 — пробка крана, 3 — разгрузочный клапан, 4 — наружная трубка штока, 5 — внутренняя трубка штока, 6 — перфоратор, 7 — поршень, 8 — цилиндр, 9 — салазки; б — пневматический телескопный автоподатчик с неподвижным цилиндром: 1 — разгрузочный клапан, 2 — поршень, 3 — цилиндр, 4 — перфоратор, 5 — шток поршня, 6 — держатель перфоратора, 7 — воздухоподводящая трубка, 8 — пробка крана, 9 — ручка крана; в — пневматический телескопный шагающий автоподатчик: 1 — ручка реверсирования подачи, 2 — упор, 3 — собачка, 4 — перфоратор, 5 — поршень, 6 — золотник, 7 — цилиндр, 8 — упорная планка, 9 — корпус салазок; г — пневматический канатный автоподатчик: 1 — ролик, 2 — канат, 3 — перфоратор, 4 — поршень, 5 — цилиндр, 6 — крышка цилиндра с уплотнением, 7 — трубка, 8 — пробка крана, 9 — ручка крана; д — пневматический моторный винтовой автоподатчик: 1 — ротационный двигатель, 2 — планетарный редуктор, 3 — подающий винт, 4 — подающая гайка, 5 — перфоратор, 6 — салазки; е — пневматический моторный цепной автоподатчик: 1 — натяжной винт, 2 — натяжная гайка, 3 — натяжная звездочка, 4 — цепь, 5 — перфоратор, 6 — корпус салазок, 7 — пневматический поршневои мотор, 8 — червячный редуктор, 9 — ведущая звездочка; ж — вибрационный автоподатчик: 1 — ручка реверсирования подачи, 2 — упор, 3 — перфоратор, 4 — рейка, 5 — салазки.

1. Телескопные автоподатчики: а) с неподвижным поршнем и движущимся цилиндром; б) с неподвижным цилиндром и движущимся поршнем; в) шагающий; г) канатный.

2. Моторные автоподатчики: а) с подающим винтом и гайкой; б) с подающей цепью.

3. Вибрационные автоподатчики.

4. Дифференциально-винтовые автоподатчики.

По применяемой энергии автоподатчики различают: пневматические, электрические, гидравлические или комбинированные, пневмогидравлические и электрогидравлические. Практическое значение в настоящее время имеют автоподатчики, работающие на пневматической энергии.

Кинематические схемы автоподатчиков показаны на рис. 96.

Телескопный автоподатчик с неподвижным поршнем, шток которого крепится в корпусе воздухопускной коробки (рис. 96, а), получает сжатый воздух от шахтного воздухопровода через шланг и дальше внутрь полости коробки крана. Если окно «в» совпадает с каналом внутренней трубки штока, то сжатый воздух попадает в переднюю полость цилиндра «т», заставляя последний двигаться вперед. В это время задняя полость цилиндра «п» с помощью выточки на пробке кране «е» и кольцевой полости, имеющейся между внутренней и наружной трубками штока, через выпускное окно «д» сообщается с атмосферой.

При повороте ручки крана во II положение сжатый воздух пойдет в заднюю полость цилиндра, производя реверсирование подачи, передняя полость цилиндра через выточку в пробке крана и окно будет поставлена на выхлоп сжатого воздуха. При слишком большом усилии подачи, развиваемой автоподатчиком, вызывающем снижение работоспособности перфоратора, давление воздуха в цилиндре телескопа можно понизить, нажимая кнопку разгрузочного клапана 3.

Телескопный автоподатчик с неподвижным цилиндром (рис. 96, б) имеет подвижный поршень, шток которого соединен с держателем перфоратора. Питание сжатым воздухом передней и задней полостей цилиндра производится через трубки «в» и «с». При I положении ручки воздушного крана происходит подача перфоратора вперед, при II положении ручки — подача назад.

Телескопный шагающий автоподатчик (рис. 96, в) имеет небольшую длину подачи (150—300). При работе шток поршня упирается упором в планки, имеющиеся на салазках, цилиндр передвигается вперед с перфоратором на длину подачи. Затем поршень вытягивается в цилиндр, делая шаг и процесс возобновляется.

Автоматическое шагание осуществляется с помощью золотникового воздухораспределения.

Телескопный канатный автоподатчик (рис. 96, г) имеет вместо штока у поршня гибкий элемент — канат. Канат крепится к головке поршня, проходит через уплотненные отверстия в крышках цилиндра и присоединяется к держателю перфоратора.

Сжатый воздух с помощью крана направляется по каналам трубок «в» и «с» в правую или левую полости цилиндра телескопа, создавая соответствующее перемещение головки поршня и подачу перфоратора.

Моторный винтовой автоподатчик (рис. 96, д) вращательное движение ротора преобразует с помощью винтовой пары в поступательное движение перфоратора. Реверсирование подачи перфоратора производится за счет перемены направления питания сжатым воздухом двигателя.

Моторный цепной автоподатчик (рис. 96, е) вращательное движение, через червячный редуктор, передает на ведущую звездочку пластинчатой цепи. Цепь, будучи прикреплена концами к держателю перфоратора, перемещает его вперед или назад в зависимости от направления движения, создаваемого мотором. Натяжение цепи регулируется натяжным устройством.

Вибрационный автоподатчик (рис. 96, ж) использует собственные колебания перфоратора, возникающие вследствие действия в машине знакопеременных сил. При этом механизм гасит одно направление колебаний, оставляя свободным второе направление. Сумма колебаний в одну сторону создает движение подачи перфоратора.

В зарубежной практике известно несколько конструкций вибрационных автоподатчиков, применявшихся при перфораторном бурении. Парой, фиксирующей колебания перфоратора, может быть упор и рейка, винт и гайка с несомотормозящейся резьбой, система клиньев и др.

§ 4. БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ПРИ ПЕРФОРАТОРНОМ БУРЕНИИ

При перфораторном бурении рабочим инструментом являются буры, изготавливаемые из шестигранной или круглой пустотелой, инструментальной углеродистой стали марок У7А и У8А (ГОСТ 1435-54) или марки 5502 (ГОСТ 2052-53). При мелком бурении (до 2—5 м) применяются цельные буры, при более глубоком бурении — составные, состоящие из отдельных штанг, соединяющихся на резьбе с помощью муфт. Рабочим элементом бура является головка или съемная буровая коронка. Наиболее широкое распространение получили буровые коронки, армированные пластинками твердого сплава ВК-15 и ВК-11.

Наиболее часто применяют буровые коронки долотчатой, крестовой и ступенчатой форм, реже коронки звездчатой и кольцевой форм.

Качество бурового инструмента, а особенно его рабочей части — лезвия, является одним из основных факторов, влияющих на производительность труда бурильщика. Увеличение износостойкости коронки в два раза ведет к увеличению производительности бурения не менее чем в полтора раза.

Основными качественными показателями буровых коронок при прочих равных условиях являются:

1. Механическая скорость бурения.
2. Стойкость буровой коронки, измеряемая в m шпура или в m^3 выбуренного объема породы на одну заточку коронки и на все заточки до полного износа коронки.
3. Стоимость коронки на принятую единицу стойкости коронки ($руб./m$ или $руб./m^3$),
4. Удельный расход энергии при бурении в $kГ \cdot м/см^3$ разрушенной породы.

Как известно, затраты энергии при разрушении любых материалов, в том числе и пород, пропорциональны суммарной площади поверхностей частиц, образовавшихся после разрушения, минус площадь поверхностей, которые были до разрушения.

Разрушение пород при бурении более крупными кусками ведет к уменьшению удельных затрат энергии на единицу объема выбуриваемой скважины, увеличивая к. п. д. процесса бурения и скорость бурения.

Работоспособность буровых коронок, т. е. их производительность и стойкость, может быть повышена за счет следующих мероприятий: уменьшения общей длины лезвий; центрирования коронки при бурении; расположения лезвий по отношению к поверхности забоя в соответствии с количеством работы, затрачиваемой при разрушении породы на различных его участках; уменьшения диаметра коронки; оптимальной величины угла приострения; применение оптимального режима бурения; полного удаления буровой мелочи сразу же после отделения ее от забоя; охлаждения лезвий и всего корпуса коронки; повышения надежности и стойкости материала лезвий и корпуса коронки.

Наиболее производительными буровыми коронками считаются коронки долотчатой формы, имеющие по сравнению с крестовой и звездчатой формами наименьшую суммарную длину лезвий.

За счет уменьшения суммарной длины лезвий коронки можно получить увеличение скорости бурения на 20—30%, без снижения прочности всех элементов буровой коронки.

При бурении коронками долотчатой формы шпур выбуривается не круглого, а трехгранного сечения.

Чем больше ширина пера коронки, тем больше округляются углы поворота и тем ближе к форме круга сечение шпура. Круглый шпур получится, если угол поворота вокруг мгновенных центров вращения будет равен нулю и вращение коронки будет происходить вокруг ее геометрического центра.

Круглую форму шпура можно получить при наличии второй опоры у бура в виде центрирующего элемента (выступающего лезвия или выреза в центре). Шпур в этом случае выбуривается круглого сечения, при этом скорость бурения увеличивается на 10—15%.

Наиболее удачно вопрос центрирования бура решается за счет создания на самой коронке центрирующего выступающего лезвия. Последнее центрирует коронку при бурении, выбуривая

передовой шпур. Как показали исследования, наличие передового шпура определенных размеров облегчает работу разрушения породы за счет создания дополнительных плоскостей обнажения на забое шпура.

На основании анализа данных эксплуатации коронок ступенчатой формы на шахтах Криворожского бассейна, а также проведенных исследований было определено оптимальное соотношение основных параметров ступенчатой буровой коронки, обеспечивающее наибольшую производительность при бурении.

При заданном наружном диаметре буровой коронки d_k (рис. 97) диаметр опережающего лезвия d_s можно определить по формуле

$$d_s = d_k \sqrt{\frac{\lambda_s}{\lambda_k}}, \quad (59)$$

где λ_s — суммарная длина лезвий опережающего элемента коронки; λ_k — суммарная длина всех лезвий коронки. В нашем случае $\lambda_s = d_s$; $\lambda_k = \lambda_p' + \lambda_p'' + \lambda_p'''$.

При таком отношении диаметров d_s и d_k количество породы, разрушаемой опережающими и периферийными лезвиями, будет равномерно распределяться между ними. Последнее обеспечивает более равномерный и одновременный износ всех лезвий коронки, и в результате увеличивает шпурометраж, пробуриваемый на каждую заточку коронки.

Чем больше длина выступающего лезвия h_s , тем больше площадь обнажения забоя шпура. Однако на скорости бурения положительно сказывается увеличение длины выступающего лезвия до определенной величины. Рекомендуется принимать величину $h_s = 0,5 d_k$.

Скорость бурения горных пород в значительной степени зависит от величины диаметра шпура (скважины). При бурении работа расходуется как бы по двум направлениям. Одна часть ее расходуется на раздробление породы в объеме шпура, а вторая — на отрыв, отделение этого же объема от массива.

Наибольшее количество работы расходуется в области отрыва породы у стенок шпура, где порода находится в зажатом состоянии и имеет небольшие плоскости обнажения. Меньшее количество работы затрачивается на разрушение породы на участках у центра забоя.

На буровых работах одним из основных факторов, вызывающих снижение сменной скорости бурения, является неравномерный

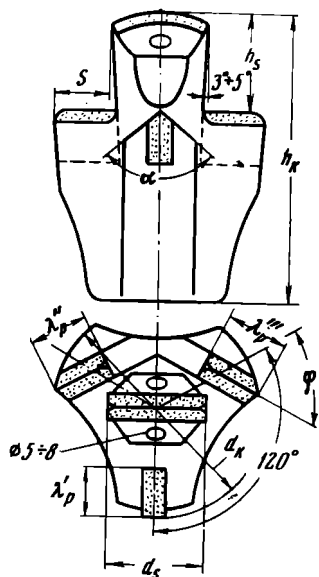


Рис. 97. Основные элементы буровой коронки ступенчатой формы.

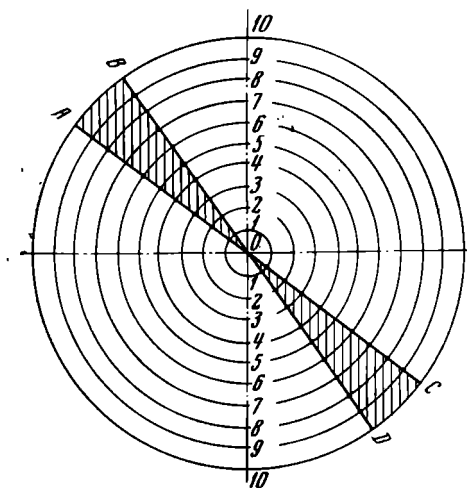
износ (затупление) лезвий буровой коронки. Наиболее интенсивно изнашиваются концы лезвия, в то же время центральная часть его остается незатупившейся. В практике чаще всего бурение прекращается из-за изношенных концов лезвия, т. к. буровую коронку начинает клинить и ее приходится заменять. Как показали наблюдения, в условиях шахты «Гигант» (Кривбасс) время, затрачиваемое на замену затупившихся коронок, составляет от 30 до 50% от общего времени смены.

Создание буровых коронок с равномерным износом всех участков лезвия позволило бы повысить сменную скорость бурения примерно в полтора раза.

При разрушении (дроблении) любых хрупких материалов, в том числе и горных пород, затраты энергии пропорциональны разрушаемому объему материала. При бурении затрачиваемая работа пропорциональна объему выбуриваемого шпура, а также объему, теряемому лезвием коронки вследствие затупления.

При перфораторном бурении кроме затрат на разрушение породы имеются затраты на преодоление сил трения лезвия о забой при поворотах бура. Работа, затрачиваемая на преодоление сил трения на участках лезвия, будет пропорциональна примерно средней длине дуги, описываемой участком лезвия. Относительные затраты работы на преодоление сил трения будут пропорциональны радиусам вращения (рис. 98). Общую суммарную работу, выполняемую на каждом участке лезвия, условно принимаем равной сумме работ, затрачиваемых на разрушение горной породы и преодоление сил трения.

Рис. 98. Схема к анализу работы буровой коронки.



Объем лезвия коронки, теряемый при бурении горных пород вследствие затупления, пропорционален количеству работы, выполненной лезвием. Поэтому лыска затупления лезвия будет иметь форму, приведенную на рис. 98 (секторы AOB и COD).

Буровую коронку равного износа можно создать, если лезвия коронки расположить в соответствии с распределением затрат работы при бурении на забое шпура или скважины.

Практикой перфораторного бурения установлены углы приострения лезвий буровых коронок, при которых наблюдаются наиболее высокие показатели: при бурении мягких пород ($f < 5$), $\alpha =$

$=80\div90^\circ$; пород средней крепости ($f<10$), $\alpha=90\div100^\circ$; крепких пород ($f<15$), $\alpha=100\div110^\circ$; весьма крепких пород ($f>15$), $\alpha=110\div120^\circ$.

При бурении пород мягких и средней крепости при наличии лыски шириной 1—2 мм (площадки) вместо острия наблюдается некоторое увеличение проходки на одну заточку.

Для перфораторного бурения у нас ежегодно изготавливается ~4 миллионов коронок. Для бурения шпуров диаметром 30—

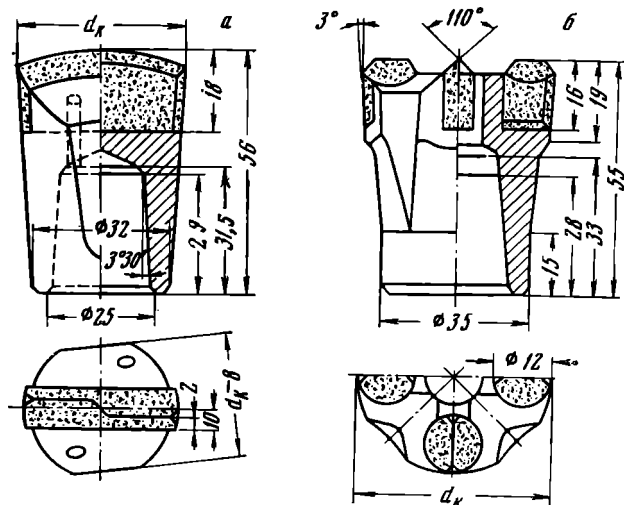


Рис. 99. Буровые коронки малого диаметра (диаметр 30—50 мм).

Таблица 24

Характеристика коронок

Показатели	Долот- чатые	Крестовые		Ступенчатые		
	АК-19А	КО	СИ	АК-85	АКС-85	АКЗ-65
Диаметр, мм	40	43	40	85	85	65
Твердый сплав	ВК-15	ВК8В	ВК8В	ВК-15	ВК-15	ВК8В
Скорость бурения гранита ($f=8\div10$) мм/мин	84	86	98	75	110	109
Стойкость (в м на одну за- точку), м	2,6	2,8	3,0	1,50	1,75	2,5
Число заточек	6	6	6	5	6	6
Средняя удельная работа, затрачиваемая при буре- нии, кгм/см ³	43	39	34	22	12	15
Соединение со штангой	Конусное			Резьбовое		
Вес коронки, кг	0,48	0,34	0,42	1,9	1,8	1,2

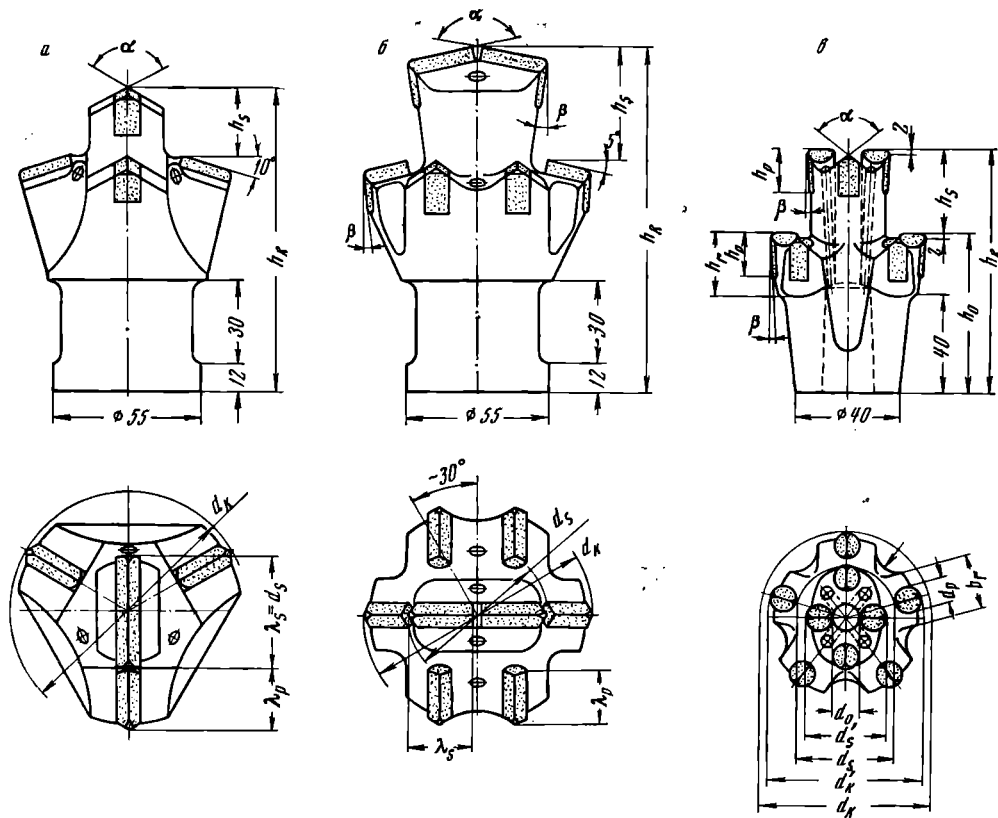


Рис. 100. Буровые коронки для штангового бурения (диаметром 65—85 мм).
 а — стандартная АК-85; б — коронка АКС-85; в — коронка АК3-65.

50 мм применяются долотчатые *a* и крестовые коронки *б* со сплошным и прерывистым лезвием (рис. 99). Для глубокого бурения при диаметре шпуров больше 50 мм применяются коронки ступенчатой формы, с опережающим лезвием, реже крестовой формы. На рис. 100 приведены стандартная конструкция коронки АК-85 и новые коронки повышенной стойкости и производительности.

Основные данные коронок приведены в табл. 24.

§ 5. ПЕРСПЕКТИВЫ УДАРНО-ПЕРФОРАТОРНОГО БУРЕНИЯ

Скорость ударного бурения находится в прямой зависимости от величины ударной мощности, передаваемой на рабочие лезвия бурового инструмента.

Ударная мощность, развиваемая механизмом буровой машины, прямо пропорциональна частоте и силе удара. Как показала практика, частоту ударов можно увеличить в несколько раз без ущерба для ударного механизма и для работоспособности бурового инструмента. Увеличение же силы удара возможно только при соответствующем увеличении запаса прочности наиболее слабых звеньев системы: буровая машина — бур — буровая коронка — лезвия, разрушающие породу.

Увеличение ударной мощности пневматических ударных машин — перфораторов, согласно формуле (57), может быть достигнуто в основном за счет повышения давления сжатого воздуха (ρ) и увеличения рабочей площади поршня перфоратора. Теоретически

$$\frac{N}{N_x} = \left(\frac{\rho}{\rho_x} \right)^{1,5}, \quad (60)$$

где N — мощность, развиваемая пневматическим ударным механизмом при давлении воздуха — ρ в кг/см^2 ; N_x — мощность, развиваемая при давлении воздуха ρ_x в кг/см^2 .

Увеличение частоты ударов при повышении давления сжатого воздуха имеет вид:

$$\frac{U}{U_x} = \left(\frac{\rho}{\rho_x} \right)^{0,5}, \quad (61)$$

где U — частота ударов поршня перфоратора при давлении воздуха ρ в кг/см^2 ; U_x — частота ударов поршня при давлении воздуха ρ_x в кг/см^2 .

Увеличение энергии поршня за счет повышения давления сжатого воздуха имеет вид:

$$\frac{A}{A_x} = \frac{\rho}{\rho_x}, \quad (62)$$

где A — кинетическая энергия, развиваемая поршнем перфоратора при давлении воздуха ρ в кг/см^2 ; A_x — энергия, развиваемая поршнем при давлении воздуха ρ_x в кг/см^2 .

Таким образом, применение сжатого воздуха повышенного и высокого давления является одним из основных источников значительного повышения скорости ударного бурения пневматическими перфораторами.

По данным института НИГРИ (г. Кривой Рог), увеличение давления сжатого воздуха от 5 до 12 кг/см² сопровождалось увеличением скорости перфораторного бурения в 3—4 раза. При этом удельный расход воздуха на бурение 1 м шпура уменьшался в среднем в полтора раза. Также уменьшался расход бурового инструмента на один погонный м шпура. Увеличились шум перфоратора на 10—15 дБ и вибрация.

При бурении пневматическими перфораторами сжатым воздухом с давлением 20 кг/см² скорость бурения увеличивается в 7—8 раз, однако при этом бур и буровая коронка быстро выходят из строя.

Но величину энергии поршня можно увеличивать только до значения, допускаемого прочностью лезвий буровой коронки. Фактически эта граница уже достигнута у современных перфораторов, поэтому увеличение мощности их возможно в основном за счет увеличения частоты ударов поршня.

При увеличении рабочей площади поршня в x раз при одновременном уменьшении длины хода поршня s в то же число x раз мощность перфоратора увеличивается в это же число раз, при этом величина силы удара поршня остается прежней.

Как видим, конструкция пневматических ударных буровых машин имеет большие возможности увеличения развиваемой мощности. За счет повышения давления сжатого воздуха, питающего перфоратор, возможно увеличение его мощности в 4—5 раз и более. За счет изменения конструктивных параметров ударных пневматических машин можно достичь увеличения их мощности в 5—6 раз. Использование в комплексе обоих направлений создает возможность увеличения мощности, а следовательно, и скорости перфораторного бурения до любых заданных пределов, допускаемых современным состоянием и возможностями в машиностроении.

При бурении обычными пневматическими перфораторами по мере увеличения глубины шпура, а соответственно, и длины бура наблюдается снижение скорости бурения. Последнее объясняется потерями удельной энергии, передаваемой на лезвие бурового инструмента, а также увеличением расхода мощности на вращение бура.

Общий коэффициент потерь у обычных перфораторов при глубине шпура до 1 м равен примерно 0,2, но уже на глубине 5 м достигает значения 0,5, а на 10 м — 0,7. Это обстоятельство обуславливает технико-экономическую целесообразность применения перфораторного бурения только при проходке неглубоких шпуров и скважин.

Потери, сопутствующие обычному перфораторному бурению, устраняются при перенесении пневматического перфоратора в

скважину, к ее забою. Погружной, забойный перфоратор, сохраняя все положительные качества обычных, решает проблему бурения глубоких скважин, обеспечивая высокую стабильную скорость бурения независимо от глубины. Кроме того, **погружные перфораторы обладают следующими положительными качествами.**

1. После вхождения перфоратора в скважину работа его становится бесшумной, чем решается проблема борьбы с шумом и создается возможность для неограниченного увеличения мощности машины.

2. Бур перфоратора короткий, небольшой, что обуславливает возможность изготовления его из наиболее высококачественных, износостойких материалов без ущерба для экономических показателей при бурении. Штанги, наращиваемые в затылок перфоратора, не испытывают ударной нагрузки и могут изготавливаться из наиболее недорогих сортов стали.

3. Погружной перфоратор создает возможность направленного бурения скважины, чем создается возможность для усовершенствования технологии и организации буровых и горных работ.

Погружные перфораторы имеют наименьшую металлоемкость и наибольший и постоянный коэффициент полезного действия при передаче ударной энергии буровому инструменту.

Наиболее перспективными конструкциями погружных перфораторов являются высокочастотные, установленные на демпфер-телескоп (см. рис. 92) и рассчитанные на работу при давлении воздуха до $20\text{—}30 \text{ кг/см}^2$. Такие конструкции могут уже в настоящее время увеличить скорость бурения во много раз.

Применение для изготовления деталей перфораторов высококачественных сталей и новых материалов, новых методов технологии изготовления и упрочнения, в частности пористого хромирования, разрешило значительно увеличить срок службы этих машин. Дальнейшие работы в этом направлении создают возможность изготовления более мощных и более производительных конструкций.

Механизация и автоматизация перфораторного бурения, создавая возможность обслуживания одному бурильщику нескольких машин, ведет к росту производительности труда.

Наиболее высокими рабочими качествами обладают конструкции автоматических подающих механизмов, работающие с пневматическим перфоратором как единая машина. Такими конструкциями являются дифференциально-винтовые и вибрационные автоподатчики, имеющие общий единый привод. Надежные и работоспособные конструкции автоподатчиков этого типа еще не созданы.

Наиболее эффективно механизированы операции перестановки перфоратора с автоподатчиком относительно забоя и удерживания их во время бурения с помощью манипуляторов. Лучшими конструкциями являются гидравлические и винтовые манипуляторы. Они обеспечивают наиболее высокую гибкость при маневрирова-

нии, во время перестановки и достаточную жесткость при фиксации машины в рабочем положении. Манипуляторы могут быть смонтированы на любом ходовом механизме — буровой тележке, электровозе, погрузочной машине и т. п.

При разработке новых конструкций любых буровых машин и оборудования для механизации и автоматизации буровых работ одним из основных требований является самая строгая увязка создаваемого объекта с условиями его работы.

Глава II

ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При разработке месторождений полезных ископаемых и выполнении буровых работ широко применяются вращательные буровые машины. Преимуществом этих машин является значительно меньший шум, пониженное пылеобразование и более широкие возможности электрификации и автоматизации процессов бурения.

Для бурения шпуров в мягких породах применяются электрические и пневматические сверла.

Для бурения скважин на подземных и открытых горных работах применяются станки вращательного бурения, работающие на электрической, реже на пневматической энергии.

В зависимости от рабочих качеств бурового инструмента вращательный способ бурения применяется в самых различных горно-геологических условиях. Буровой инструмент с коронками и долотами стальными — калеными или наваренными твердыми сплавами обеспечивает удовлетворительные показатели при бурении горных пород с коэффициентом крепости до $f=2$. Коронки, армированные пластинками металлокерамического сплава марки ВК, выгодно применять при бурении пород, имеющих f до 6—8. При увеличенном осевом давлении (силовое бурение) положительные результаты получены при бурении пород с f до 10—12.

Коронки, армированные алмазами, рекомендуется применять при бурении горных пород с коэффициентом крепости не ниже $f=8$.

Шарошечные зубчатые долота показали удовлетворительные показатели при бурении скважин в породах крепостью до $f=6\div 8$. Шарошечные долота, армированные штырями металло-керамического твердого сплава ВК-15, оказались выгодными при бурении пород крепостью не ниже $f=8\div 10$.

Дробовое бурение, как наименее эффективное и к тому же позволяющее бурить только скважины, направленные вниз, не нашло широкого применения на буровзрывных работах.

§ 2. СВЕРЛА

Для сверления шпуров в горных породах невысоких крепостей изготавливаются электрические, пневматические и гидравлические сверла. Удовлетворительные технико-экономические показатели можно получить при сверлении пород с коэффициентом крепости не выше $f=6\div 8$ и при этом не имеющих включений и прослоек более крепких пород. Сверла получили наибольшее распространение на буровых работах при разработке угольных и соляных месторождений. Попытки внедрить электросверла на шахтах, разрабатывающих металлические руды, не имели успеха. Последнее объясняется тем, что даже мягкие металлические руды крайне неоднородны и часто имеют крепкие прослойки.

Более широкое распространение имеют сверла с электрическим приводом, изготавливаемые Томским электромеханическим заводом и заводом «Красный металлист» в г. Конотопе (Украина).

Для бурения шпуров диаметром до 46 мм и глубиной до 2 м применяются ручные электросверла с мощностью двигателя до 1,5 кВт. Сверление ими производится с руки или со вспомогательной легкой распорной колонки.

Ручные электросверла имеют три основных узла: двигатель, редуктор и рабочий буровой инструмент — бур из витой стали со съёмным резцом — коронкой.

В последние годы ведутся работы, направленные на усовершенствование конструкции и повышение эксплуатационных показателей буровых сверл. Предложены конструкции вращательно-вибрационных сверл, у которых бур кроме вращательного имеет колебательные движения с частотой 100—500 гц при амплитуде от 0,5 до 3 мм. Наличие вибрации увеличивает скорость бурения. Во избежание вредного воздействия вибраций на бурильщика ручки, за которые удерживается сверло при бурении, крепятся к рамке, соединяющейся с корпусом через амортизирующий узел.

Колонковые сверла являются более мощными буровыми машинами, с двигателем мощностью от 2,5 до 5 кВт. Они применяются при сверлении шпуров диаметром до 50 мм, глубиной до 5 м в породах с f до 8—10.

Кинематические схемы основных конструкций колонковых электросверл приведены на рис. 101.

У сверл с винтовой дифференциальной подачей (рис. 101, а) вращательное движение от двигателя 6 через редуктор, имеющий шестерни z_1 , z_2 , z_3 , двойную шестерню $z_4—z_5$ и z_6 , передается на втулку 1. Последняя сопрягается с подающим винтом 2 с помощью трех скользящих шпонок. Подающий винт, получая вращательное движение, может иметь возвратно-поступательное движение. На переднем конце винта имеется патрон 4 для крепления бура. Подача и реверсирование винта с буром производятся с помощью гайки подачи 3, получающей вращение через шестерни z_7 и z_8 , при включении кулачковой муфты 7, сопрягающейся с

валиком 5 с помощью скользящих шпонок и управляемой устройством 8.

При включении кулачковой муфты число оборотов, передаваемое на гайку подачи $n_r > n_v$ числа оборотов винтового шпинделя. При выключении кулачковой муфты $n_r = n_v$. При торможении ку-

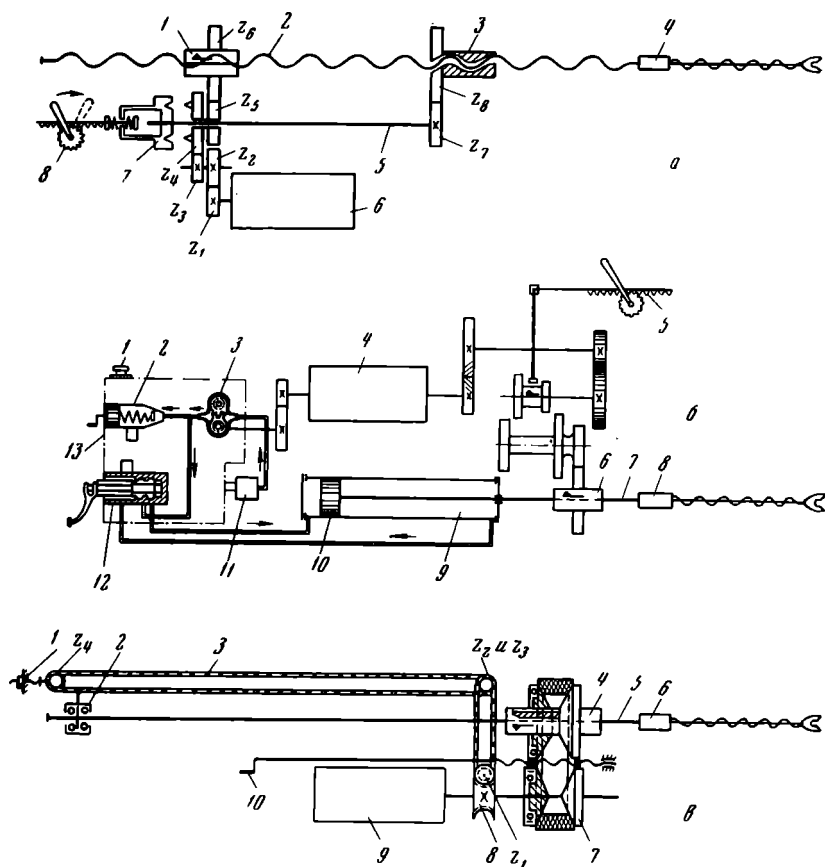


Рис. 101. Кинематические схемы сверл с подачей.
а — винтовой; б — гидравлической; в — цепной.

лачковой муфты $n_r = 0$. Скорость подачи винта можно определить по формулам (32) — (34).

У сверл с гидравлической подачей (рис. 101, б) вращательное движение от электродвигателя 4 передается через редуктор на втулку 6 и на шпиндель 7 с патроном 8 для крепления бура. Шпиндель имеет две скорости вращения, включаемых с помощью реечного устройства 5 и рукоятки. Подача и реверсирование шпинделя производятся с помощью гидроподачи, состоящей из порш-

ня 10, шток которого подвижно соединен со шпинделем, и неподвижного цилиндра 9.

Давление масла в гидросистеме создается с помощью гидронасоса 3, работающего от двигателя 4, и регулируется клапаном 2. При питании маслом задней полости цилиндра производится подача вперед, при питании передней полости — реверсирование бура. Управление выполняется золотником 12. Масло закачивается из бачка 13 через фильтр 11. Заполнение бачка производится через отверстие, закрываемое пробкой 1.

Томским электромеханическим заводом (ТЭЗ) в содружестве с кафедрой горных машин Томского политехнического института были созданы и испытаны длинноходовые электросверла с увеличенным ходом подачи, за счет чего уменьшаются затраты времени на вспомогательные операции. Длинноходовые электросверла типа ЛДС-2, ЭДП-14 и ЭДП-20 по сравнению с серийными конструкциями показали увеличение сменной скорости бурения пород с $f=4\div 6$ в 1,5—2,0 раза.

Интересная конструкция легкой электробурильной машины предложена в Никополь-Марганцевом бассейне — с длинноходовой цепной подачей. На рис. 101, в приведена схема машины. Вращательное движение от двигателя 9 через киноременную передачу 7, с изменяющимися диаметрами шкивов, передается на вращающую втулку 4. Последняя подвижно соединена со шпинделем 5, имеющим свободу поступательного движения. В патроне 6 крепится бур или штанги, если шпиндель пустотелый. Подача вперед и реверсирование выполняются цепной подачей, состоящей из червячной пары 8, приводной системы z_1, z_2 и подающей системы z_3, z_4 с натяжным устройством 1. Одно из звеньев цепи 3 соединяется со шпинделем через два упорных шарикоподшипника 2. Регулирование числа оборотов шпинделя от 100 до 1000 *об/мин* производится рукояткой 10 с помощью винтового устройства, раздвигающего и сближающего шкивы клиноременной подачи. При бурении машина монтируется на распорной колонке или раме.

При бурении шпуров в шахтах, имеющих напорные гидромагистраль, применяются сверла с гидроприводом, представляющим собой гидравлическую турбину. Вращательное движение турбины передается к патрону сверла через планетарный редуктор. Гидросверла имеют плавную регулировку скорости вращения бура и бесшумны в работе.

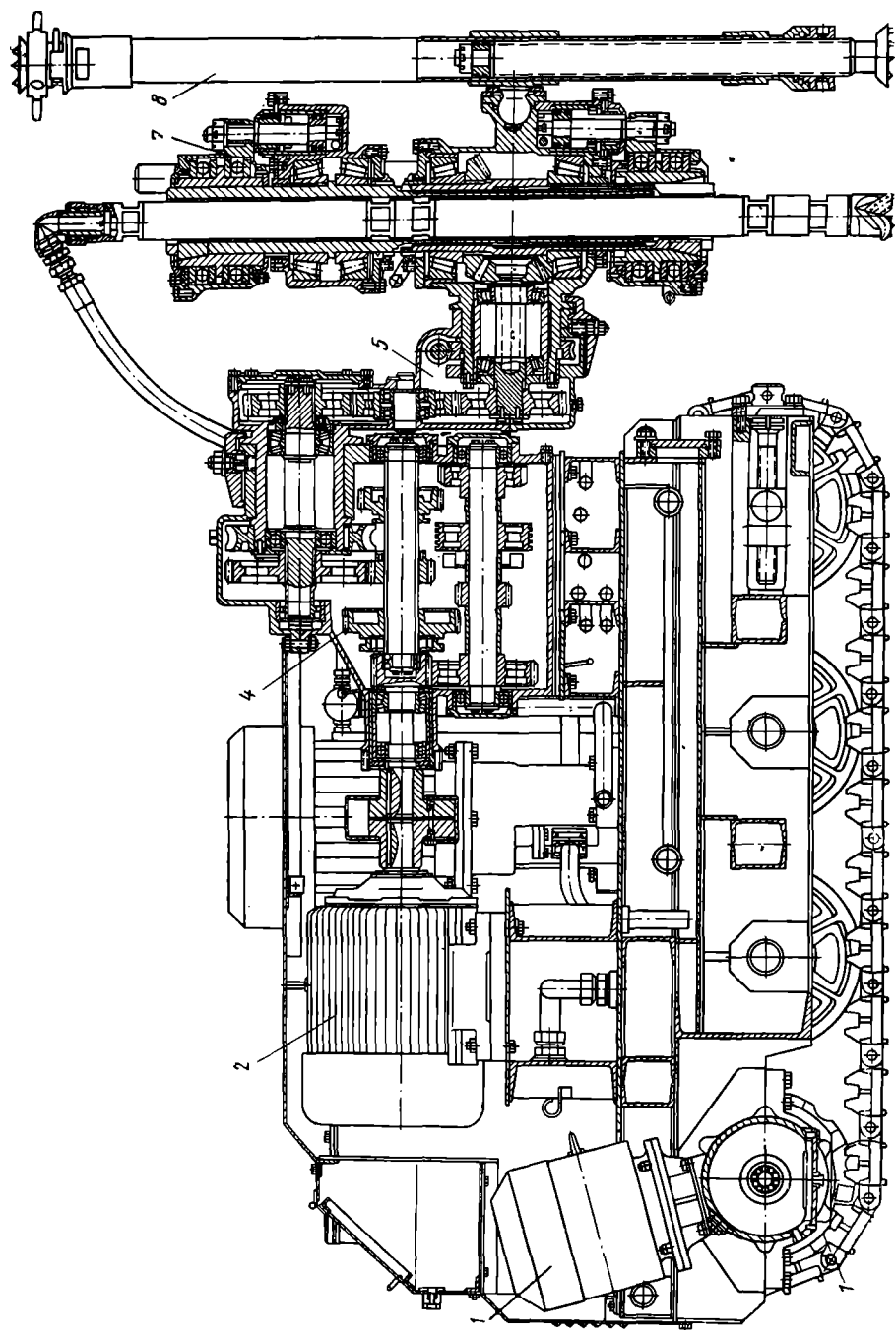
На угольных шахтах тяжелые колонковые электросверла нередко применяют для бурения разведочных скважин глубиной до 50—60 м. При этом обычный спиральный бур заменяется буровыми штангами диаметром 33,5/24 мм и колонковым снарядами с кольцевой коронкой. Бурение ведется с промывкой скважины водой через промывочный сальник, установленный на первую штангу, закрепленную в патроне сверла.

Колонковые электросверла имеют привод от электродвигателей мощностью от 2,5 до 4,5 кВт при $n=2700\div 2850$ *об/мин* и рас-

Техническая характеристика станков вращательного бурения с гидравлической подачей для подземных условий

Показатели	БАШ-5	СБ-4	БСШ-1	БСШ-2	ПБС-2т	АБШ-2	АБШ-1	П-23	БАШ-150
Диаметр скважины, мм	150	150	150	150	200	97—145	90—118	145	150
Глубина бурения, м	50	50	50	50	350	100	100	50	50
Вeer скважин, град:									
вертикальных	360	180	360	—90+15	120	0—360	0—180	0—360	0—360
горизонтальных	0	0	360	0	360	0—360	—	—	—
Габариты, м:									
высота	1,5	1,2	2,25	1,55	1,47	1,6+3,36	2,4+3,36	1,58	2,0
ширина	0,95	0,75	1,4	1,0	0,88	1,3	1,3	1,55	1,246
длина	1,4	2,5	2,15	1,9	1,74	3,0	3,22	3,14	2,0
Полный вес, кг	833	1330	2500	1050	2100	4755	4750	1600	1600
Скорость подачи шпинделя, мм/мин	0—3000	0—3200	0—3000	0—3000	—	0—7000	0—4380	0—3000	0—3000
Длина подачи шпинделя, мм	530	500	500	400	600	300	300	400	400
Осевое усилие, кг	8000	6000	5000	3000	6000	10000	6700	12000	5000
Число оборотов, об/мин:									
1-я скорость »	104	94	100	250	50—85	85	90	200	180
2-я » »	—	—	125	—	80—125	190	170	300	—
3-я » »	—	—	150	—	120—185	355	300	400	—
4-я » »	—	—	—	—	185—325	—	—	500	—

Показатели	БАШ-5	СБ-4	БСШ-1	БСШ-2	ПБС-2т	АБШ-2	АБШ-1	П-23	БАШ-150
Диаметр штанги, мм	89	89	50	50	73	73,89	63,5; 73	127	89
Длина штанги, мм	1060	1000	—	—	—	950	1100	1100	865
Мощность двигателя станка, квт	17	14	11,5	11,5	11,8	30	28	28	28
Расходы воды, л/мин	49	45	45	45	—	60	60	60	60
Грузоподъемность лебедки, Т .	—	—	1	1	3	—	—	—	—
Мощность двигателя маслоса- соса, квт	—	2,8	1,5	1,5	—	13	7	—	—
Давление в гидросистеме, кг/см ²	—	—	—	—	—	100	100	—	—
Вес станка на 1 квт, кг/квт .	50	95	220	92	180	160	180	60	60
К. п. д. станка	0,95	0,8	0,7	0,8	—	0,75	0,72	0,7	0,7
Вес наиболее тяжелого узла, кг	50	50	—	—	—	—	—	—	—
Обслуживающий персонал, чел.	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Способ транспортировки	По узлам вручную				Самостоятельная			По узлам вручную	
Скорость хода, м/мин	—	—	—	—	—	10	11	—	—
Мощность ходового двигателя, квт	—	—	—	—	—	2×4	2×4,5	—	—



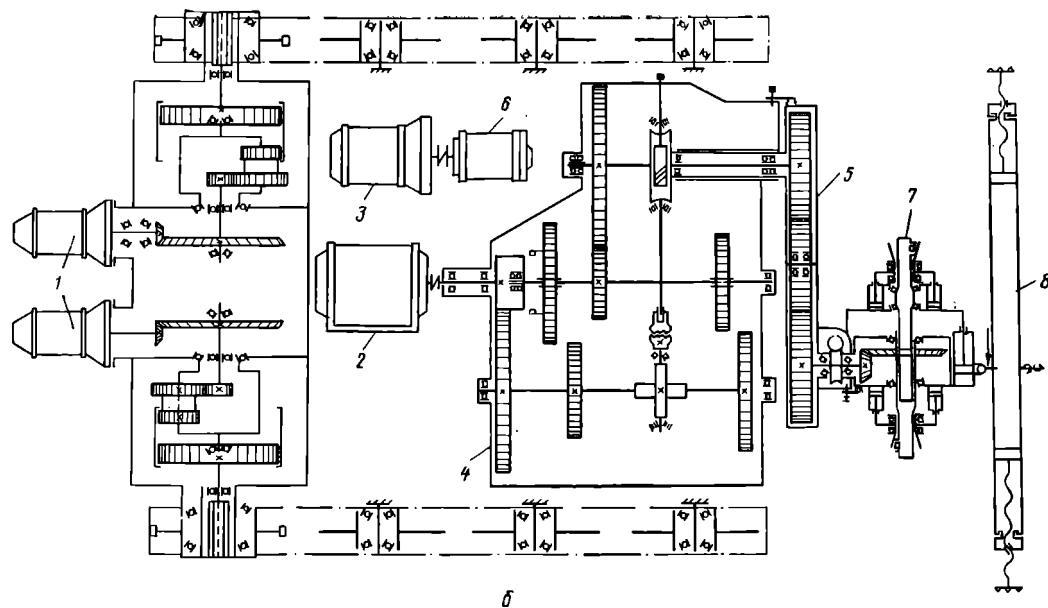


Рис. 102. Агрегат буровой шахтный типа АБШ-2.

а — общий вид; б — кинематическая схема. 1 — электродвигатели для привода гусениц, $N=4$ квт каждый, 2 — электродвигатель, $N=30$ квт для привода вращателя, 3 — электродвигатель, $N=13$ квт для привода маслонасоса, 4 — коробка скоростей, 5 — редуктор, 6 — маслонасос, 7 — вращатель с гидравлической подачей, 8 — распорная колонка.

считаны на усилие подачи до 800—1500 кг. Скорость вращения сверл от 100 до 700 об/мин.

Колонковые электросверла выпускаются конотопским заводом «Коммунист» и томским заводом горного оборудования.

§ 3. СТАНКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ С ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕЙ

Для бурения глубоких взрывных скважин широкое применение нашли станки с гидравлической подачей. Гидравлическая подача обеспечивает плавность перемещения бурового снаряда при бурении и разрешает развивать очень большое осевое усилие (более 10 Т). Станки с гидравлической подачей могут бурить шарошечными долотами, долотами и коронками, армированными твердым сплавом, алмазными и дробовыми коронками.

Для работы в подземных горных условиях применяются несколько конструкций станков с гидравлической подачей (табл. 25).

На рудниках Криворожского железорудного бассейна применяются станки завода «Коммунист» БСШ-1 и БСШ-2. На рудниках цветных металлов применяются станки СБ-4, БАШ-5М, П-23, БАШ-150 и др. В настоящее время наиболее совершенной конструкцией, отвечающей требованиям эксплуатации в подземных условиях, является самоходный буровой агрегат АБШ, разработанный институтом «Гипрорудмаш» в двух вариантах: АБШ-1 и АБШ-2.

На рис. 102, а приведен общий вид АБШ-2. Конструкция агрегата позволяет применять различный буровой инструмент — колонковый снаряд с коронками кольцевого типа, армированными твердым сплавом, долота торцевого резания, пневмоударники и шарошечные долота.

На рис. 102, б показана кинематическая схема агрегата. Агрегат имеет полуавтоматическую подачу и оборудован механизмом для развинчивания буровых штанг. Ходовой механизм состоит из двух гусениц, каждая гусеница имеет отдельный двигатель. Такая конструкция создает возможность поворота агрегата на месте стоянки. Коробка передач имеет три переключения, соответственно чему можно получить три скорости шпинделя — 85, 190 и 355 об/мин. Шпиндель поворачивается в вертикальной плоскости, создавая возможность бурения скважин от вертикально направленных вниз до вертикально направленных вверх. Гидросистема имеет отдельный электродвигатель мощностью 13 кВт и маслонасос типа НШ-46. Во время бурения агрегат раскрепляется в горной выработке с помощью распорной колонки.

На открытых горных работах для бурения взрывных скважин применяется также несколько конструкций самоходных буровых станков с гидравлической подачей, разработанных отечественными институтами.

На рис. 103 приведена принципиальная схема станка вращательного бурения с гидравлической подачей на гусеничной ходовой платформе для бурения в условиях открытых горных работ.

На раме, сваренной из стального швеллерного проката, размещается все основное оборудование: компрессор 10, вырабатывающий сжатый воздух для продувки скважины и очистки ее от штыба, маслонасос 9, создающий давление в гидросистеме станка,

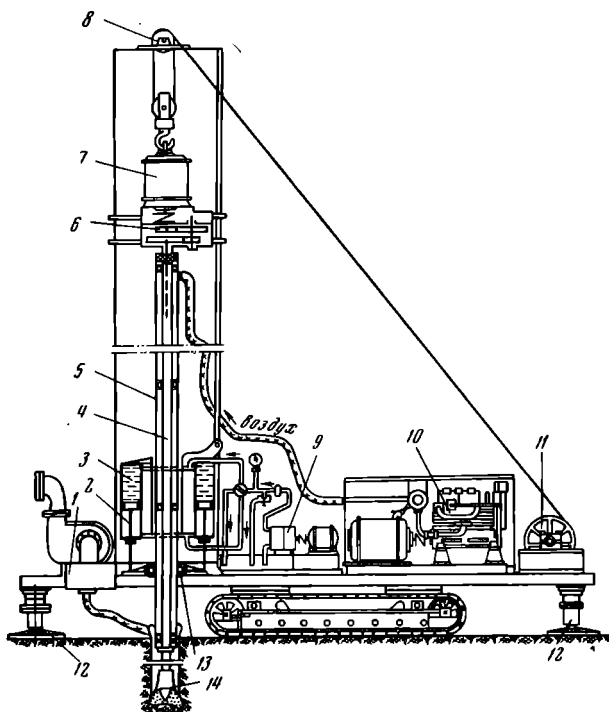


Рис. 103. Принципиальная схема станка вращательного бурения с гидравлической подачей.

и пылеотсасывающий агрегат 1, имеющий вентилятор и специальное пылегазосборное устройство. К раме крепится стальная мачта, внутри которой находятся двигатель бурового вращателя 7 с редуктором 6, буровой став, состоящий из вала 4, передающего вращательное движение на рабочее долото 14, и трубы 5, являющейся как бы кожухом вала. В нижней части мачты размещен гидравлический подающий механизм, имеющий два гидравлических цилиндра 3, концы штоков поршней 2 закреплены в корпусе зажимного патрона 13, подающего буровой став вниз и вверх. На верху мачты находится кронблок талевой системы 8, работаю-

щей от лебедки 11. При бурении рама устанавливается на домкраты 12.

В некоторых конструкциях станков с гидropодачей принята схема, идентичная схеме станка АБШ.

§ 4. СТАНКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ С ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕЙ

Станки вращательного бурения с пневматической подачей применяются в подземных условиях, они имеют малые габариты и легко разбираются на отдельные транспортабельные узлы.

Станки этого типа работают при давлении сжатого воздуха до 6—7 кг/см² и развивают сравнительно небольшие усилия подачи, обычно не превышающие 1 т. Они в основном предназначены для бурения твердосплавными и алмазными долотами и коронками. При бурении вниз можно применять дробовой снаряд

Таблица 23

Техническая характеристика станков вращательного бурения
с пневматической подачей

Показатели	АБВ-2	АБВ-1	СБР	«Рекорд»
Диаметр скважины, мм	85	70—90	115	75
Глубина бурения, м	40	50	50	40
Веер скважины, град.:				
вертикальных	0—50	0—90	0 до +15	360
горизонтальных	0	—	—	360
Габариты, м:				
высота	1	0,940	0,4	1,9/2,2
ширина	0,42	1,67	1,37	0,4
длина	1,5	2,5	0,9	1,3
Полный вес, кг	190	400	250	160
Скорость подачи шпинделя, мм/мин	0—3000	0—3000	0—3000	0—3000
Длина подачи шпинделя, мм	500	500	800	800
Осевое усилие, кг	500	760	780	600
Число оборотов, об/мин:				
1-я скорость	335	208	60	60
2-я »	—	—	80	120
3-я »	—	—	90	250
4-я »	—	—	—	500
Диаметр штанги, мм	42	33,5	50	33,5
Длина штанги, мм	2600	1200	—	—
Мощность двигателя станка, кВт	4,5	4	4	4,5
Расход воды, л/мин	8—12	8—12	8—12	—
Вес станка на 1 квт, кг/квт	43	100	62	35
К. п. д. станка	0,4	0,4	0,4	4,0
Вес наиболее тяжелого узла, кг	—	80	80	50
Обслуживающий персонал, чел.	2	2	2	1
Способ транспортировки	Вручную			
Нормальное давление воздуха, кг/см ²	5	5	5	5
Расход воздуха, м ³ /мин	6,5	9,5	6,25	6,5

и шарошечные долота. В последнем случае увеличение нагрузки на шарошечное долото достигается за счет применения утяжеленных бурильных труб — УБТ. Порода, разрушаемая при бурении, удаляется из скважины с помощью промывки водой или продувки воздухом. В последнем случае обязательно применение пылеподавляющих средств.

В табл. 26 приведены технические характеристики станков вращательного бурения с пневматической подачей, разработанных в Криворожском железорудном бассейне.

Станки с пневматической подачей конструктивно идентичны станкам с гидравлической подачей.

Буровые станки с пневматической подачей изготавливаются с высокой точностью, поэтому для сохранения их работоспособности требуется качественная и непрерывная смазка всех трущихся пар машины. Применение вместо гидравлических подающих механизмов, расходующих дорогостоящее масло, механизмов, работающих на сжатом воздухе, экономически выгодно. В дальнейшем намечено применение пневматических подающих механизмов, работающих при значительно более высоком давлении воздуха.

Если пневматический подающий механизм предназначен также для бурения скважин направленных вниз, тогда усилие, развиваемое механизмом при реверсировании, должно быть не менее полутонного веса бурового снаряда.

§ 5. СТАНКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ С ВИНТОВОЙ ПОДАЧЕЙ

Станки вращательного бурения с винтовой (дифференциально-винтовой) подачей применяются в основном на подземных горных работах. Особенно широкое распространение они имеют в горнорудной промышленности США и Швеции. Легкие станки с винтовой подачей развивают осевое усилие подачи до 1 T , бурение этими станками ведется в основном твердосплавными и алмазными коронками. Более тяжелые буровые станки с винтовой подачей развивают осевое усилие до 3—10 T и могут с успехом бурить шарошечными долотами. Удаление разбуренной породы производится промывкой скважины водой или продувкой сжатым воздухом. Винтовая подача обеспечивает жесткое прижатие бурового инструмента к забою скважины, за счет чего относительный износ рабочих лезвий меньше, чем при других видах подачи.

На рис. 104 представлены кинематические схемы трех основных вариантов станков с винтовой подачей.

У станка с дифференциально-винтовой подачей (рис. 104, а) вращение от двигателя 2 на винтовой шпиндель 4 передается через зубчатую пару z_1, z_2 и вращательную втулку 3, сопрягающуюся со шпинделем через три скользящие шпонки. На подающую гайку 1 вращение передается через промежуточную зубчатую пару z_3, z_4 , валик 6, фрикционную муфту 7 и зубчатую пару z_5, z_6 . Подача шпинделя вперед и его реверсирование происходит за

счет разности числа оборотов гайки и винта подачи шпинделя. Усилие подачи регулируется посредством маховичка 9, с помощью которого регулируется сжатие дисков фрикциона. Если, вращая маховичок, оттянуть шестерню z_5 влево и, прижав ее к кожуху 8, затормозить, то вместе с шестерней затормозится и гайка подачи, число оборотов ее станет равным нулю. В этом случае шпиндель пойдет назад, произойдет его реверсирование. Для крепления штанг шпиндель имеет патрон 5. Подача промывочной жидкости производится через сальник 10.

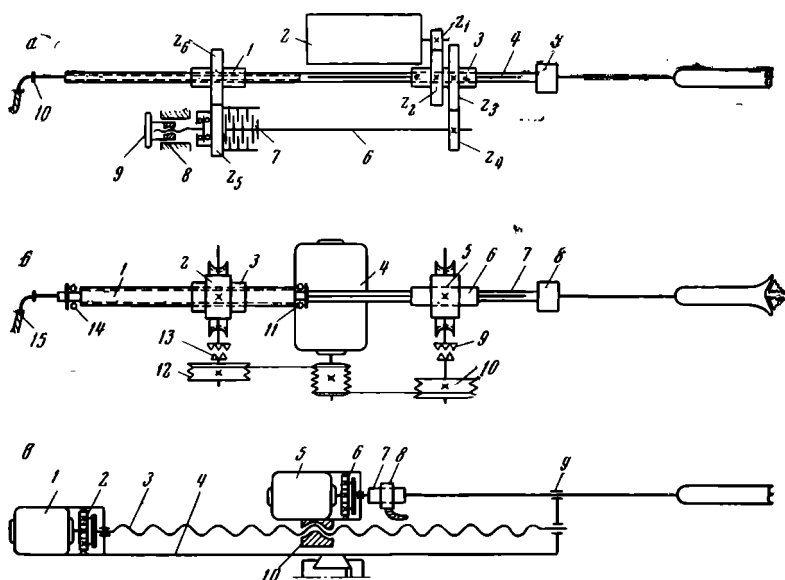


Рис. 104. Кинематические схемы вращателей станков.

а — с дифференциально-винтовой подачей; *б* — силовой винтовой подачей;
в — длинноходовой винтовой подачей.

Станки более тяжелые и мощные, с силовой винтовой подачей, имеют два отдельных механизма (рис. 104, б). Вращательный механизм представляет собой червячную пару 5, получающую вращательное движение от двигателя 4 через клиноременную передачу 10 и кулачковую муфту 9. Червячная шестерня жестко посажена на втулку 6, сопрягающуюся со шпинделем 7 с зажимным патроном 8. Идентично передается вращение подающей гайке 3 при помощи червячной пары 2, включаемой кулачковой муфтой 13, и клиноременной передачи 12. Подающий винт 1 сопрягается со шпинделем через упорные шарикоподшипники 11 и 14. При вращательном движении гайки винт вывинчивается, производя подачу шпинделя вперед. Реверсирование шпинделя производится за счет обратного движения ротора двигателя при

переключении фаз. Вращатель в этом случае выключен. На конце штанг на резьбе установлен сальник 15 для подачи промывочной жидкости на забой скважины.

Станки с длинноходовой винтовой подачей представляют собой два отдельных механизма (рис. 104, в). Подающий механизм состоит из двигателя 1, редуктора 2, подающего винта 3 и салазок 4. Вращательный механизм имеет двигатель 5, редуктор 6 и патрон 7 с сальником 8 для подачи промывочной жидкости в штанги. На салазках имеется штангонаправитель 9. Подающая гайка 10 устанавливается в проушине корпуса вращательного механизма. Салазки устанавливаются на распорной колонке или на раме.

Величину силы давления, развиваемого винтовым подающим механизмом, можно определить по формуле

$$C = \frac{2M_T}{d_s \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}, \quad (63)$$

где M_T — крутящий момент на гайке подачи в $\kappa\Gamma \cdot \text{см}$; d_s — средний диаметр шпинделя в нарезанной части в см ; α — угол подъема резьбы; φ — приведенный угол трения.

§ 6. СТАНКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ С КРЕМАЛЬЕРНОЙ ПОДАЧЕЙ

Станки вращательного бурения с кремальерной подачей применяются в основном в шахтных условиях. Кремальерная подача не механизирована и приводится в движение вручную. Осевое давление, развиваемое кремальерной подачей, обычно не превышает 1000 $\kappa\Gamma$. Бурение ведется дробью, твердосплавными коронками и долотами. Удаление разбуренной породы из скважины производится с помощью промывки водой.

Конструктивно станки с кремальерной подачей несложны и надежны в работе, однако наличие ручного привода подачи послужило причиной незначительного их распространения.

§ 7. БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ БУРЕНИИ

При разведке рудных месторождений подземным способом на буровзрывных работах наиболее распространенным видом вращательного способа бурения является колонковое бурение твердосплавными коронками (см. рис. 17 и 38). Твердосплавные буровые коронки разрешают бурение полного вертикального веера взрывных скважин (360°) любого заданного диаметра и до нужной глубины. Колонковый бурильный снаряд и кольцевые твердосплавные коронки несложны и недороги в изготовлении, бурение ими может производиться с помощью легких буровых станков, что весьма важно в условиях подземных горных работ.

С целью расширения диапазона горных пород, на которых при-

меняется вращательное бурение твердосплавным буровым инструментом, в Криворожском железорудном бассейне были выполнены специальные исследовательские работы.

В результате этих работ вращательное бурение твердосплавным буровым инструментом, применяемым обычно на породах с $f \leq 6$, было рекомендовано для бурения пород более крепких.

Основными факторами, определяющими эффективность вращательного бурения, являются режим бурения и конструкция резцов буровой коронки.

При вращательном бурении взрывных скважин наибольшее распространение получили четырехрезцовые кольцевые коронки, с кромкой резания 10—12 мм. Основным параметром резцов коронки является передний угол резания γ , изменяющий свое значение, в зависимости от крепости пород, от положительного ($+32^\circ$) до отрицательного (-32°). Остальные углы резца находятся в зависимости от величины переднего угла, а также от механических свойств разбуhrиваемой породы.

Режим вращательного бурения определяется наиболее выгодным сочетанием факторов, слагающих процесс бурения — разрушения породы на забое скважины. К таким факторам относятся: величина осевой нагрузки, окружная скорость резания и конструкция рабочего наконечника — буровой коронки.

Увеличение осевой нагрузки ведет к увеличению механической скорости бурения почти в прямой пропорции. Величина осевой нагрузки определяется в основном временным сопротивлением породы раздавливанию. При бурении пород в диапазоне крепостей $f = 4 \div 14$ величина удельного осевого давления C_p (кг/см^2) площади торца лезвий резцов должна быть не менее трехкратного значения величины временного сопротивления породы одноосному сжатию $\sigma_{сж}$, т. е.

$$C_p \geq 3\sigma_{сж}. \quad (64)$$

Прочность современных отечественных металло-керамических твердых сплавов (типа ВК) пока что недостаточна. Последнее ограничивает область применения вращательного бурения твердосплавным буровым инструментом породами крепостью не выше $f \leq 12$.

Величина удельного осевого давления должна увеличиваться по мере увеличения крепости разбуhrиваемых пород. Наибольшее допускаемое значение удельного осевого давления, при котором экономически целесообразно вращательное бурение твердосплавными коронками, не должно быть более 30—40 кг/мм^2 . При величине удельного давления, превышающей приведенное значение, резцы буровой коронки, при бурении более крепких пород ($f > 8$) не выдерживают более одной-двух заточек и обычно ломаются. Последнее объясняется крайне тяжелыми условиями работы резцов коронки. Осциллограмма усилия резания породы показывает

резкопеременный характер нагрузок на резец. Сопротивление породы резанию (смятию) имеет пульсирующий характер с изменением величины сопротивления от нуля до максимума, превышающего нормальную расчетную нагрузку в 2—3 раза. При этом чем больше крепость и хрупкость пород, тем больше частота и амплитуда колебаний нагрузки на резцах коронки.

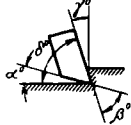
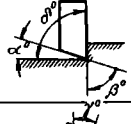
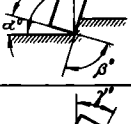
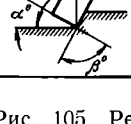
Элементы резца	Коэффициент крепости породы, f	Задний угол, α°	Угол приседания, β°	Передний угол, γ°	Угол резания, δ°	Скорость резания, ω м/сек	Удельное давление, S_p кг/мм ²
	4 ÷ 6	10 ÷ 15	45 ÷ 75	10 ÷ 30	60 ÷ 80	1 ÷ 2	10 ÷ 18
	6 ÷ 8	10 ÷ 45	45 ÷ 80	0	90	0,5 ÷ 1	18 ÷ 25
	8 ÷ 10	10 ÷ 15	90	(10) ÷ (16)	100 ÷ 105	0,2 ÷ 0,5	25 ÷ 32
	10 ÷ 12	12 ÷ 20	90	(12) ÷ (20) (32)	102 ÷ 110	0,2 ÷ 0,7	32 ÷ 40

Рис. 105. Рекомендуемые значения основных параметров твердосплавных резцов в зависимости от крепости пород.

Средняя окружная скорость резания ω_m при бурении кольцевой коронкой может быть определена по формуле

$$\omega_m = \frac{\pi (R + r) n}{60}, \quad (65)$$

где R — наружный диаметр коронки в м; r — внутренний радиус коронки в м; n — число оборотов коронки в 1 мин.

Окружная скорость резания является главным фактором, влияющим на механическую скорость бурения и интенсивность затупления резцов коронки. При бурении горных пород твердосплавным буровым инструментом окружная скорость резания должна

иметь оптимальное значение. При скоростях выше или ниже оптимального ее значения скорость бурения снижается в 5—6 раз, а износ (измеряемой метражом скважины на одну заточку коронки) ускоряется в 10—12 раз.

На рис. 105 приведены эскизы резцов, их основные параметры, а также рекомендуемые значения величин, удельного осевого давления и скорости резания для горных пород с различными коэффициентами крепости.

На буровзрывных работах при проходке скважин вращательным способом наиболее широко применяются кольцевые коронки

из ст. 3 или ст. 4 с резцами из твердого сплава ВК-8 или ВК-6, форма Г413 (ГОСТ 880—62), выдерживающие повышенное осевое давление.

Наиболее высокой работоспособностью обладают коронки КР8А, показывающие наибольшую механическую скорость бурения и самую высокую проходку на одну заточку и на коронку в целом. На рис. 106 приведен общий вид коронки КР8А, армированной четырьмя резцами из сплава ВК-8. Два наружных резца опережают внутренние резцы на ~ 5 мм. При бурении серых мелкозернистых гранитов с $f = 10 \div 12$, механическая скорость бурения коронками КР8А была 24 мм/мин, износостойкость 1,2 м на одну заточку коронки, что в 4 раза выше показателей стандартной буровой коронки.

При бурении пород с $f = 8 \div 10$ высокую работоспособность показала коронка КР21А армированная резцами формы Г53, имеющими те же углы резания, что и у коронки КР8А.

Значительно реже, при проходке взрывных скважин, применяются твердосплавные коронки и долота сплошного бурения.

При бурении горных пород с $f \leq 8$ вращательное бурение твердосплавными коронками обеспечивает более высокую скорость проходки скважин и более высокие технико-экономические показатели, чем при других видах и способах бурения. При бурении пород с $f = 8 \div 10$ показатели примерно равны, на более же крепких породах более высокие технико-экономические показатели получают при ударном и ударно-вращательном способах бурения.

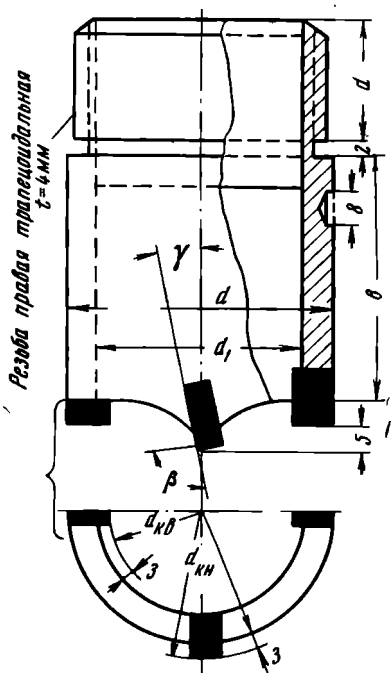


Рис. 106. Коронка для вращательного бурения.

Бурение взрывных скважин алмазными долотами

Во многих странах (Канаде, Швеции, США и др). бурение взрывных скважин глубиной 15—40 м в крепких породах производят алмазными долотами (см. рис. 44).

Достоинством бурения алмазными долотами является то, что взрывная скважина может быть пройдена за 1 рейс. Кроме того, при алмазном бурении скважины мало искривляются и почти не теряют диаметра, что важно для успешного производства взрывных работ. Отсутствие керна при бурении алмазными долотами позволяет производить бурение на больших скоростях вращения и получать высокие механические и рейсовые скорости бурения. Бурение ведется алмазными долотами размером $E\chi=37,3$ мм, $A\chi=47,6$ мм и, реже, $B\chi=59$ мм. При этом применяются гладкостольные ниппельные бурильные трубы диаметром 34,92; 44,45 и 54 мм, соответственно (EW, AW, BW).

Бурильные трубы готовятся из легированной термообработанной стали. Их наружный диаметр всего на 2—5 мм меньше диаметра скважины. Во избежание вибраций трубы, собранные в колонну, должны быть строго сооснены и отбалансированы.

Станки для подземного алмазного бурения должны быть легкими, компактными и быстро раскрепляться в подземных выработках с помощью одной или двух распорных колонок.

Обычно станки приводятся от быстроходных пневматических двигателей, работающих при давлении воздуха 5—7 кг/см².

У этих станков подача шпинделя бывает гидравлическая, пневматическая или винтовая — дифференциальная. Некоторые типы станков для подземного бурения имеют сменные вращатели с различной системой подачи шпинделя. Вес станков от 70 до 150 кг.

Небольшой вес станка облегчает его переноску по подземным выработкам.

Станки для подземного алмазного бурения должны обеспечивать бурение веера взрывных скважин в разных направлениях с одной установки.

Режим бурения алмазными долотами по зарубежным данным таков: осевая нагрузка на коронку 600—1200 кг в зависимости от твердости пород, диаметра долота и насыщенности рабочей поверхности долота алмазами.

При забурировании новым алмазным долотом начальная осевая нагрузка на забой должна быть невелика и постепенно доводится до оптимальной (в течение 10—15 мин).

О влиянии осевой нагрузки на скорость бурения показывает опыт бурения взрывных скважин отечественными алмазными долотами на руднике «Молибден».

Буримая порода — роговик, $f=12\div 14$. При осевой нагрузке ~600 кг (60 кг/карат) механическая скорость бурения была 4 см/мин (2,4 м/ч). При повышении осевой нагрузки до 1100—1200 кг механическая скорость бурения достигла 8—9 см/мин

(~ 5 м/ч), а средняя производительность на станок достигла 22 м/смену. Износостойкость алмазного долота при этом была ~ 50 м.

Скорость вращения инструмента при алмазном бурении взрывных скважин колеблется в пределах 1500—3000 об/мин (по зарубежным данным).

Чем порода крепче и абразивнее, тем меньше должна быть скорость вращения инструмента.

Постановку нового алмазного долота на забой необходимо производить на малых оборотах, постепенно доводя скорость вращения до оптимальной.

Алмазные долота требуют хорошей очистки забоя от разбуренной породы и эффективного отвода тепла от быстро вращающейся алмазосодержащей матрицы. Поэтому промывка должна быть интенсивной. Скорость потока в кольцевом зазоре между колонной бурильных труб и стенками скважины должна быть не менее 1 м/сек.

Однако излишнее количество промывочной жидкости приводит к уменьшению скорости бурения. С увеличением диаметра алмазных долот производительность бурения падает, а стоимость возрастает. Так, при проходке скважин глубиной 20 м в породах с $f=12\div 16$ при осевой нагрузке на долото 750 кг и $n=680$ об/мин были получены результаты, приведенные в табл. 27.

Таблица 27

Влияние диаметра алмазных коронок на производительность и стоимость бурения

Диаметр алмазного бурения, мм	Стойкость долота, м	Производительность, м/сп-смену	Стоимость 1 м скважины, руб.
46	38,0	18,5	2,4
59	24,5	14,5	3,3
76	23,0	11,0	4,5

С увеличением глубины скважины производительность падает и соответственно растет стоимость 1 м скважины.

Так, при бурении скважин алмазными долотами диаметром 46 мм, при осевой нагрузке 1200 кг, $n=680$ об/мин, стойкость долота в среднем была 50 м, а производительность и стоимость менялись с изменением глубины скважины (табл. 28).

Бескерновое алмазное бурение представляет большой практический интерес для разведчиков недр. Оно должно широко применяться при детальной разведке и пересечении пород, в которых не могут залегать руды или другие полезные ископаемые.

Колонковый дробовой снаряд (см. рис. 47) применяется при бурении взрывных скважин, направленных вертикально вниз или с небольшими отклонениями от вертикали (до 30°), диаметром до 110 мм при глубине скважин до 80 м. Крепость буримых пород не ниже $f=8$.

Таблица 28

Влияние глубины скважин на производительность и стоимость бурения

Глубина скважины, м	Производительность, м/ст-смену	Стоимость 1 м взрывной скважины, руб.
10	20,5	2,35
20	17,2	2,47
30	15,6	2,56
40	14,0	2,67
50	12,5	2,80

Дробовые коронки из стали 40-Х или 35ХГС. В виде дробы применяется стальная сечка размером 2,5—3,5 мм из использованных шахтных подъемных канатов. Сечку закалывают в воде или масле, предварительно нагревая до температуры 820° С, затем производят отпуск при температуре 300°. Засыпка дробы обычно периодическая. При бурении удельное осевое давление на снаряд в пределах 30—50 кг/см² рабочего торца дробовой коронки. Окружная скорость 1—1,5 м/сек. Количество промывочной жидкости около 30—40 л/мин.

Шарошечный буровой снаряд применяется для бурения взрывных скважин сплошным забоем в породах крепостью не ниже $f=8$, при диаметре бурения от 76 до 300 мм и глубине до 80 м.

В практике буровзрывных работ при бурении шарошечными долотами лучшие результаты показывают станки, развивающие осевые нагрузки не ниже 5 Т и имеющие скорости вращения шпинделя от 40 до 150 об/мин.

Более работоспособными, получившими наиболее широкое распространение, являются двух- и трехшарошечные долота диаметром не менее 120 мм, шарошки которых армированы штырями из металло-керамического твердого сплава ВК-15 или ВК-11 (см. рис. 65, б).

Нерешенной еще проблемой является создание работоспособных конструкций шарошечных долот малого диаметра (65—80—90 мм), которые крайне нужны для бурения взрывных скважин при подземной разработке крепких металлических руд.

Из многих предложенных конструкций малых долот более перспективными являются одношарошечные долота. При одинаковом наружном диаметре отдельные элементы одношарошечных долот можно изготовлять с большим запасом прочности за счет увеличения размеров этих элементов.

В Криворожском бассейне предложено несколько оригинальных конструкций одношарошечных и двухшарошечных долот диа-

метром 85 и 112 мм для бурения взрывных скважин (рис. 107). Эксплуатация этих долот дала обнадеживающие результаты.

Наиболее слабыми, быстроизнашивающимися элементами шарошечных долот являются узлы вращения и зубки. Работы по повышению сопротивляемости износу узлов вращения долот направлены в настоящее время в основном по пути повышения их прочности за счет применения более качественных материалов и

улучшения способов термообработки, а также других методов упрочнения. Проводятся работы, направленные на более рациональное перераспределение сил, действующих в конструкции при работе.

Повышение работоспособности зубков осуществляется в основном за счет улучшения качества материала, а также за счет создания более износостойких и более производительных форм зубков, имеющих сечение кольца, двутавра и др. Замечено, что производительность и стойкость шарошечных долот повышаются при расположении цапф не по радиусу, а по хордам, проходящим на расстоянии около 0,1 диаметра долота от его центра. Более рациональной формой шарошки следует признать шарообразную, обеспечивающую уста-

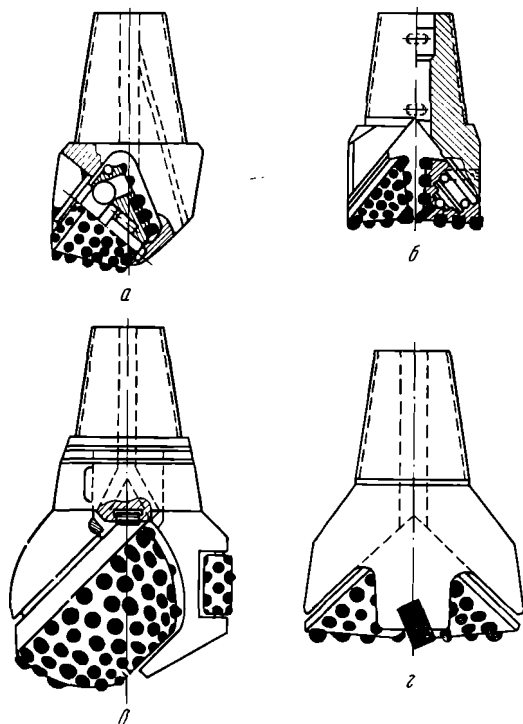


Рис. 107. Конструкции шарошечных долот малого диаметра.
а — обычное одношарошечное долото; б — двухшарошечное долото; в — одношарошечное долото с разгруженными цапфами; г — комбинированное шарошечнорезцовое долото.

новку большего числа зубков, а следовательно, и меньшую удельную нагрузку на отдельный зубок.

Вторым фактором, от которого в большой степени зависит производительность и стойкость шарошечного долота, является режим бурения. На основании значительного объема работ, выполненных в Криворожском железорудном бассейне, было установлено, что чем жестче характер подачи и действие осевого усилия на шарошечное долото, тем выше скорость бурения и больше стойкость долота.

Наиболее жесткой характеристикой обладают винтовые подающие механизмы (см. рис. 104, б). Гидравлические подающие механизмы имеют значительно менее жесткую характеристику. Амортизация в гидросистеме создается за счет наличия воздуха в гидроцилиндрах и других узлах, наличия воздушных пузырьков в масле, а также за счет наличия в системе гибких элементов — резиновых шланг.

Проведенными наблюдениями за работой шарошечных долот при винтовой и гидравлической подачах установлено, что при винтовой подаче зубки долота четко, с ударом входят в контакт с породой забоя скважины, обеспечивая динамический характер работы разрушающих сил. Долото все время находится в контакте с забоем и не может от него отойти, разрушение породы идет в основном за счет ударов зубков, т. е. в динамическом режиме. При таком характере работы долота действие сил трения на зубки сводится к минимуму. Одновременно силы, действующие на цапфы, имеют более постоянный характер, амплитуда изменения величины этих сил небольшая.

При гидравлической подаче зубки шарошечного долота не имеют постоянного контакта с забоем скважины, долото все время «танцует», отскакивает и затем ударяется о забой. В эти моменты шарошки не вращаются, зубки часто волочатся по забою скважины, быстро истираясь. При ударах долота о забой может происходить поломка опор и зубков.

При работе в одинаковых условиях применение винтовой, жесткой подачи обеспечило увеличение скорости бурения более чем в 2 раза, а стойкости шарошечного долота — в 10 раз и более.

Для повышения жесткости гидравлической подачи разработано несколько вариантов конструкций клапанов, отсекающих гидроцилиндры от остальной части гидросистемы. Испытания гидросистем с отсекающими клапанами на станках шарошечного бурения доказали возможность повышения жесткости гидравлической подачи, а в результате — повышения срока работы шарошечного долота в полтора-два раза.

Таблица 29

Режим шарошечного бурения с применением жесткой подачи

Коэффициенты крепости пород f	Усилие на 1 мм диаметра долота, кг	Окружная ско- рость долота, м/сек	Механическая скорость буре- ния, мм/мин	Проходка на до- лото, м
4—8	40	0,50	100—200	40—110
8—10	55	0,45	90—100	25—40
10—12	65	0,40	70—90	18—25
12—14	75	0,40	55—70	12—18
14—16	80	0,35	40—55	9—12
16—18	90	0,30	30—40	6—9
18—20	100	0,25	20—30	3—6

На основании исследований шарошечного бурения взрывных скважин в Криворожском бассейне определены и рекомендуются как оптимальные режимы бурения с применением жесткой подачи, приведенные в табл. 29.

При вращательном бурении взрывных скважин основным способом удаления разбуренной породы из скважины является промывка водой. На открытых горных работах в последние годы чаще применяют продувку скважин сжатым воздухом с применением на выходе пыли из скважины различных пылеулавливающих устройств.

Средний расход жидкости или воздуха при бурении можно определить по формуле

$$Q_p = 60Fv, \quad (66)$$

где Q_p — расход промывочной жидкости в л/мин; F — площадь кольцевого зазора между штангами и стенкой скважины в дм^2 ; v — скорость восходящего потока жидкости в дм/сек , обычно

$$v = (6 \div 8) \text{ дм/сек.}$$

По этой же формуле можно также определить расход сжатого воздуха для продувки (в $\text{м}^3/\text{мин}$), тогда величину F берут в м^2 , а v в м/сек . $v = 20 \text{ м/сек}$.

По данным практики, стойкость шарошечных долот при применении продувки вместо промывки повышается в полтора-два раза.

§ 8. УСТАНОВКИ ДЛЯ ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ НА КАРЬЕРАХ

При проходке взрывных скважин на карьерах в породах с коэффициентом крепости $f = 8 \div 16$ наиболее эффективно бурение шарошечными долотами с помощью самоходных буровых установок.

Эти буровые установки на гусеничном ходу обладают достаточно большой маневренностью. В то же время эти установки обладают большим весом, чтобы создавать высокие нагрузки на шарошечные долота.

Расположение мачты и ротора на установке шарошечного бурения может быть: при бурении только вертикальных скважин — центральное и торцевое в передней части станка; при бурении вертикальных и наклонных (под углом до 30°) скважин — торцевое (в передней части) и боковое.

Бурение ведется с продувкой сжатым воздухом или водовоздушной смесью. Реже применяется промывка водой и глинистым раствором. Поэтому на многих установках смонтированы компрессоры. Подача инструмента гидравлическая или канатно-гидравлическая. Осевое усилие, развиваемое механизмом подачи, в разных установках колеблется от 25 до 70 Т.

Вращатели установок бывают трех основных типов:

Таблица 30

Техническая характеристика станков (агрегатов) шарошечного бурения на открытых работах

Показатели	2СБШ-200	СБШ-250	СБШ-320	БАШ-250	БАШ-320	БСШ-1М БСШ-2
Глубина бурения, м	32	32	40	27,5	30	24
Диаметр долота, мм	214; 243	243; 269	320	214; 243; 269	320	190; 214
Диаметр штанг, мм	180	180	190	180	190	152
Ход подачи снаряда, м	1,0	8	17,8	10,7	9	1,2/1,0
Число оборотов снаряда, об/мин	15—77 30—152 64—316	81; 157	0—130; 30; 50; 80; 130	30—150	0—200	30—300
Наибольшая нагрузка на долото, Т	25	30	60	40	70	18
Системы подачи бурового снаряда	Гидравлическая			Канатно-гид- равлическая	Канатно-гид- равлическая	Гидравли- ческая
Регулировка подачи	Автоматическая					
Скорость подъема снаряда, м/мин	20	9	12	4	Главная 9,6, вспомогатель- ная 19,2	12/13,8
Скорость подачи снаряда на забой, м/мин	1,5	0,75	0,7	0,67	0—1,85	1,5/1,3
Длина корпуса станка, м	8,3	7,82	10,2	10,2	11,255	8,54/6,97
Длина с опущенной мачтой, м	13,2	14,25	19,5	19,0	26,16	11,3
Ширина станка, м	4,8	5,4	5,45	5,4	5,6	3,5/3,2
Высота с поднятой мачтой, м	13,2	14,45	22,8	17,1	17,19—24,7	19,87/10,4
Высота с опущенной мачтой, м	6,0	5,32	7,0	6,0	5,6—6,1	4,15
Вес станка, т	50	55	120	65	96—98	32/35,5
Установленная мощность, кВт	300	322	550	282	458	218/156
Мощность двигателя вращателя, кВт	—	75	130	36	—	50
Направление бурения	Вертикальное	Вертикаль- ное, на- клонное	Вертикаль- ное, на- клонное	Вертикальное	Вертикальное	Вертикаль- ное, наклон- ное
Число и производительность компрессоров, м³/мин	20	2/20	2/48	3/30,9	—	2/18
Скорость передвижения станка, м/ч	0,6	0,67	0,5	0,75	0,75	1,0/1,4

- а) шпиндельного типа с гидравлическим зажимным патроном;
- б) с неподвижным ротором;
- в) с подвижным ротором — вращателем, осуществляющим одновременно подачу бурового инструмента.

Привод вращателя осуществляется от асинхронного электродвигателя через многоступенчатую коробку передач, от системы генератор-двигатель или от гидравлического двигателя. В последних двух случаях достигается плавное регулирование числа оборотов вращателя в большом диапазоне (0—200 об/мин). Спуск-подъемные операции, включая свинчивание и развинчивание штанг и установку их в кассеты, полностью механизированы.

Установки, предназначенные для бурения взрывных скважин глубиной до 18—20 м, обычно имеют соответствующей высоты мачту и могут проходить всю скважину без наращивания штанг.

Все буровые установки для шарошечного бурения имеют сходное устройство. Поэтому мы дадим описание только одной буровой установки СБШ-250. Краткая характеристика самоходных буровых установок (отечественного производства) для шарошечного бурения взрывных скважин приведена в табл. 30.

Самоходная буровая установка СБШ-250

Буровая установка СБШ-250 (рис. 108), конструкции института ЦНИИПодземшахтострой, предназначена для бурения скважин шарошечными долотами диаметром 243—269 мм на глубину до 32 м. Этим станком возможно бурение вертикальных и наклонных скважин (под углом 15° и 30° к вертикали) как в сухих монолитных, так и в обводненных трещиноватых породах и рудах средней крепости и крепких.

Все основные и вспомогательные операции процесса бурения скважин механизированы. Общая мощность электродвигателей 322 кВт, подводимое напряжение 380 в. Вес станка 55 т; удельное давление гусениц на грунт составляет 1 кг/см².

Подача снаряда происходит непрерывно на всю длину штанги. Вращатель по направляющим мачты перемещается сверху вниз по мере углубления скважины.

Создание осевой нагрузки на забой и производство спуско-подъемных операций осуществляется механизмом подачи, который конструктивно выполнен в виде двух гидроцилиндров с четырехкратной канатно-полиспастной системой.

Свинчивание и развинчивание штанг и шарошечного долота, а также спуско-подъемные операции полностью механизированы.

Мачта представляет собой сварную пространственную ферму. В мачте расположено следующее оборудование: вращатель с головкой бурового снаряда, механизм подачи, механизм развинчивания штанг, верхний ключ с гидроприводом, блок гидроаппаратуры, пульт управления вспомогательными операциями, кассета со штангами и другое оборудование.

Мачта может крепиться в трех положениях: вертикальном и наклонном под углом 15° и 30° к вертикали. Подъем и спускание мачты производится двумя гидроцилиндрами, шарнирно соединенными с опорами мачты.

Управление операциями перемещения бурового снаряда в процессе бурения и наращивания штанг может осуществляться с электрических пультов, расположенных в кабине машиниста и на мачте.

Нагрузка на долото изменяется регулятором давления, который расположен в кабине оператора. Буровой снаряд имеет две скорости вращения. Переключение скоростей производится с пульта управления бурением.

Кассета служит для хранения трех штанг и подачи их на центр скважины в процессе наращивания бурового става.

Вращение кассеты для подачи штанг на центр скважины или для забора штанг с центра скважины выполняется гидроцилиндром. Управление кассетой может производиться с пульта управления бурением или с пульта вспомогательных операций.

Гидропривод станка предназначен для выполнения следующих операций: создания нагрузки на долото и перемещения бурового снаряда; свинчивания и развинчивания штанг, долота и подвода или отвода штанг в кассету; постановки станка на домкраты (горизонтирование); подъема или опускания мачты; переключения скоростей бурового снаряда.

Пневмоводяное оборудование станка служит для выноса породы из скважины сжатым воздухом, охлаждения долота и для пылеподавления. Установки СБШ-250 применяются на карьерах Криворожских ГОКов, Магнитогорского, Оленегорского, Балхашского, Алтын-Топканского комбинатов и других предприятиях. Средняя производительность установки может составлять более 3000 м/мес. Установку обслуживают машинист и его помощник.

На карьере Оленегорского рудника установкой СБШ-250 за 12 дней пробурили 922 скважин шарошечными долотами диамет-

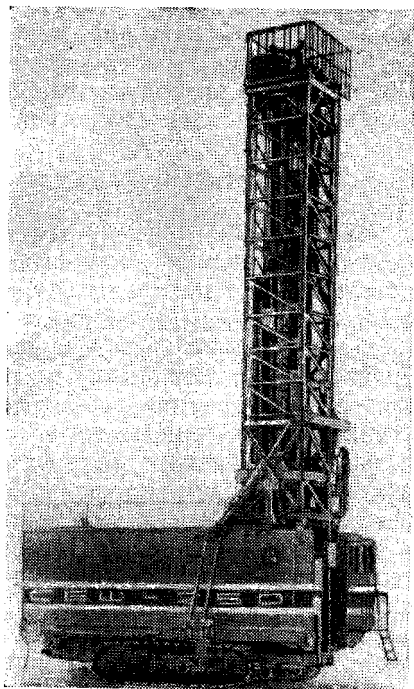


Рис. 108. Самоходная буровая установка СБШ-250 для бурения шарошечными долотами.

ром 243 мм в породах с коэффициентом крепости $f=8\div 10$, со средней производительностью 26 м/смену.

На Коунрадском руднике применяются шарошечные буровые установки СБШ-250 для бурения скважин диаметром 250 мм. Среднесменная производительность станка составила 50—58 м. Максимальная производительность достигала 114 м/смену.

В станке применена усовершенствованная система пылеподавления; запыленность воздуха в кабине машиниста и в рабочей зоне станка не превышает допустимой нормы.

Самоходная буровая установка СБШ-250 серийно изготавливается Воронежским заводом горнообогатительного оборудования и Криворожским заводом «Коммунист».

Зарубежный опыт шарошечного бурения

За рубежом применяется много типов станков для бурения взрывных скважин шарошечными долотами. Наибольшее распространение получили буровые станки американских фирм «Джой» и «Бьюсайрус-Эри».

Станок шарошечного бурения 50 R фирмы «Бьюсайрус Эри», (рис. 109) смонтирован на гусеничном ходу; электромеханическое оборудование размещено на раме и мачте станка. Привод станка осуществляется по системе генератор-двигатель (Г-Д), что позволяет плавно регулировать подачу бурового снаряда, плавно изменять скорость вращения в зависимости от крепости пород и иметь высокий к. п. д. установки.

Верхний конец става штанг укрепляется в шпинделе вращателя, который перемещается по мачте станка и имеет с ней зубчато-реечное зацепление. Вращение бурового снаряда производится электродвигателем. Передача давления на буровой снаряд осуществляется гидравлическим способом.

На раме станка помещается преобразовательный агрегат, электродвигатели компрессоров, электродвигатели ходового и подъемного устройства и остальное оборудование. Установка станка производится при помощи трех гидравлических домкратов, позволяющих точно и быстро устанавливать станок в рабочее положение. Буровые штанги устанавливаются на держателе, который служит для механической подачи штанг во время спуско-подъемных операций. Операция наращивания штанг занимает при этом не более 1 мин. Этим станком можно бурить скважину на полную длину десятиметровой штанги.

Сменная производительность бурового станка составляет в породах средней крепости 45—60 м и в более мягких породах до 210 м. Для удаления буровой мелочи из скважины используют сжатый воздух под давлением 6—7 кг/см², который также охлаждает шарошечное долото. При замене или наращивании штанг ручной труд облегчается дистанционно-управляемой зубчатой рейкой.

Буровым станком 50 R трехшарошечными долотами диаметром 248—269 мм при осевой нагрузке до 22,5 Т, при скорости вращения бурового снаряда 10—110 об/мин получена следующая производительность: на руднике «Калэверас» по породам средней крепости 45 м/смену; на разрезе «Майами» в наносах — 216 м/смену и на карьере «Муами» (штат Индиана) в наносах — 315 м/смену.

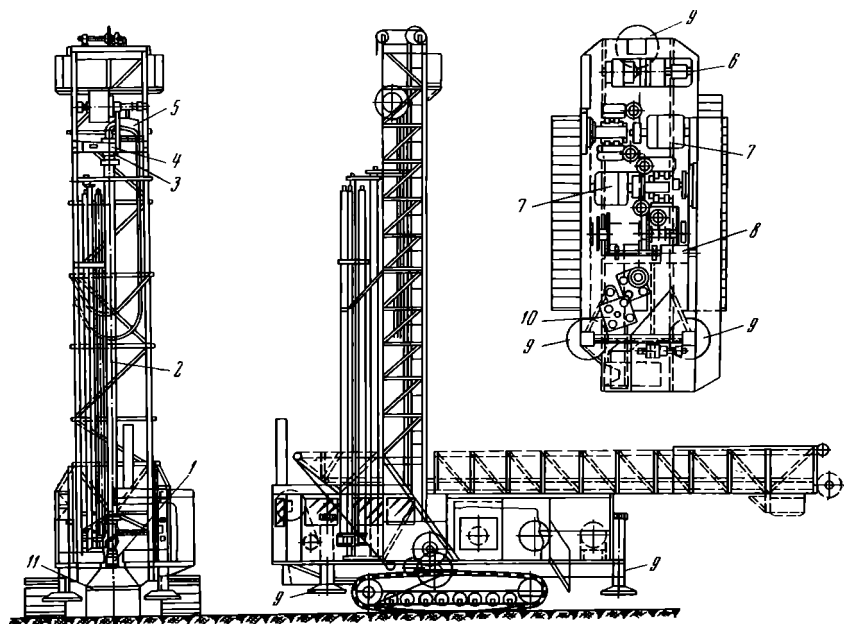


Рис. 109. Установка шарошечного бурения 50-R.

1 — трехшарошечное долото, 2 — буровая штанга, 3 — шпиндель, 4 — вращатель, 5 — электродвигатель, 6 — преобразовательный агрегат, 7 — электродвигатели компрессоров, 8 — электродвигатель ходового и подъемного механизмов, 9 — домкраты, 10 — штангодержатели, 11 — пылеприемная установка.

Скорость шарошечного бурения агрегатом «Дриллмастер Ингерсолв Ранд» (США) составила: по диоритам 3,3—4 м/ч, по гранитам 6—6,6 м/ч, по крепким известнякам 6—7,5 м/ч, по известнякам средней крепости 16,5—17,5 м/ч.

На карьерах США находят применение установки шарошечного бурения с большим весом. Фирма «Джой» выпускает самоходную установку типа 965 ВН весом около 60 т. Полноповоротная платформа этого агрегата обеспечивает наклон мачты в любой плоскости. Осевая нагрузка на долото достигает 29,5 Т.

Буровые станки фирмы «Джой» изготавливаются с центральным расположением мачты, позволяющим развивать максимально возможное для данного веса станка осевое усилие на забой скважины. Коэффициент использования веса станка марки 59 ВН составляет 0,77 и является наибольшим, чем у других марок бу-

ровых станков. Мачта этого станка изготавливается как цельной, так и телескопически выдвижной. Это мероприятие позволяет бурить скважины глубиной до 15 м без наращивания штанг.

Буровым станком фирмы «Джой» 58 ВН с трехшарошечным долотом марки W7R диаметром 165—187 мм при осевом усилии от 9 до 15 Т получены следующие показатели: на руднике «Калэверас» по породам средней крепости — 33 м/смену, на медном руднике «Церингтон» в наносах — 79 м/смену.

На кварцитовом руднике «Пайлотэг» (штат Миннесота), США, при бурении скважин в таконитовых породах ($f=12\div 14$) получена средняя производительность: шарошечными долотами 25,8 м/смену, пневмоударниками 18 м/смену, огневым бурением 28,9 м/смену и ударноканатным бурением 9,3 м/смену.

Характерной особенностью для технологии шарошечного бурения на карьерах зарубежных стран является создание больших осевых нагрузок на долото (от 700 до 1000 кг на 1 см диаметра долота) при небольших скоростях вращения бурового снаряда (от 40 до 80 об/мин).

§ 9. ВИБРАЦИОННО-ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

В последние годы для бурения скважин в крепких горных породах применяются буровые машины, у которых рабочий буровой инструмент кроме вращения имеет в осевом направлении колебательные движения.

Колебательные движения бурового снаряда создаются при помощи вибратора, работающего от отдельного двигателя, или же за счет использования и усиления самопроизвольных, собственных колебаний бурового снаряда с помощью специального устройства.

На рис. 110 показана кинематическая схема вибрационно-вращательного станка. Шпиндель 2 квадратного сечения получает вращательное движение от двига-

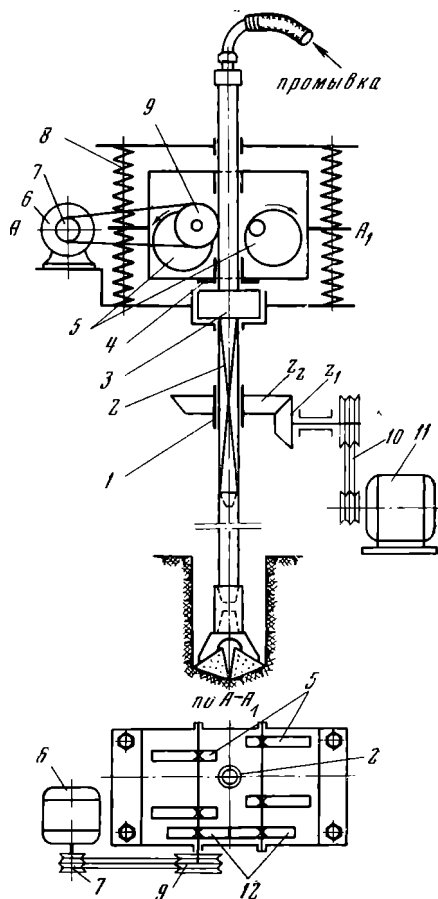


Рис. 110. Кинематическая схема вибрационно-вращательного станка

теля 11 через клиноременную 10 и зубчатую $z_1—z_2$ передачи с помощью вращающей втулки 1. На траверсах шпинделя установлен вибромолот. Вибромолот состоит из четырех дебалансов 5 (эксцентриков), установленных на валах, и синхронизирующей цилиндрической зубчатой передачи 12, находящейся внутри корпуса вибромолота. На один из валов надет ведомый шкив 9, получающий вращательное движение от ведущего шкива 7 с помощью клиновых ремней. Ведущий шкив установлен на валу ротора электродвигателя 6. Корпус вибромолота подвешен на пружинах 8. При работе вибратора дебалансы создают возмущающую силу, заставляющую вибратор колебаться и наносить удары бойком 4 по наковальне 3, укрепленной на шпинделе. На верхнем конце шпинделя находится сальник для подачи промывочной жидкости или сжатого воздуха для очистки забоя скважины от буровой мелочи. На нижнем конце штанг крепится рабочий буровой инструмент. Скорость вращения дебалансов изменяют сменяя шкивы.

При работе вибратора или вибромолота вращение эксцентриков развивает центробежные силы, которые, периодически суммируясь, действуют по оси бурового снаряда. Совместное действие вибраций, осевого усилия и крутящего момента способствует увеличению механической скорости бурения и повышению проходки на долото.

§ 10. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

Главной перспективной задачей в области вращательного бурения горных пород является изыскание мероприятий, обеспечивающих повышение производительности труда и снижение себестоимости буровых работ. Решение этой задачи возможно по следующим основным направлениям:

а) изыскание и применение более эффективных режимов бурения, повышающих механическую скорость проходки взрывных скважин;

б) увеличение потока энергии, передаваемой на рабочий инструмент бурового снаряда;

в) механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций при бурении, обеспечивающих возможность многостаночной работы. Разработка многошпиндельных агрегатов для параллельного бурения веера скважин;

г) повышение стойкости породоразрушающего инструмента, создание самозатачивающегося инструмента;

д) применение для вращательного бурения взрывных скважин погружных буровых машин.

Значительное увеличение механической скорости вращательного бурения и повышение износостойкости бурового инструмента можно ожидать при включении дополнительного суммарного действия вибраций и увеличенного усилия подачи.

Количество породы, разрушаемой в единицу времени при бурении, прямо пропорционально количеству энергии, которая поступает на лезвия резцов, в зону приложения разрушающих сил, за это же время. Поэтому одним из основных направлений повышения скорости бурения можно считать максимально возможное увеличение потока энергии, направляемого к породоразрушающему инструменту.

При современных системах очистной выемки полезных ископаемых с применением глубоких взрывных скважин чаще всего приходится бурить веер скважин, расположенный в вертикальной плоскости, от направленных вниз до направленных вверх. Иногда веер скважин может быть расположен в горизонтальной или наклонной плоскости. Бурение всех скважин веера в основном производится с одного места. Таким условиям наиболее соответствовали бы станки с двумя, тремя и более шпинделями, работающими независимо друг от друга. Первые работы по созданию таких многошпиндельных станков начаты институтом Гипрорудмаш (г. Кривой Рог).

В настоящее время, наиболее нуждаются в механизации подготовительно-заключительные операции (смена бурового инструмента, наращивание штанг, перестановка на новую скважину и др.), удельный вес которых в общем времени работы бригады достигает 40—60%. Увеличение механической скорости бурения станка в 2 раза разрешит увеличить производительность труда в 1,2—1,3, а механизация вспомогательных операций, разрешающая обслуживание хотя бы двух станков (двух шпинделей), приведет к повышению производительности труда не менее чем в 2 раза.

Установкой станка на самоходную тележку механизмируется операция транспортировки. Наиболее перспективными, отвечающими условиям горных работ являются гусеничные тележки с индивидуальным приводом каждой гусеницы. Такая конструкция разрешает делать поворот вокруг вертикальной оси гусеничного хода на самой минимальной площадке.

Операции установки и закрепления коробки шпинделя и всего станка в рабочем или транспортном положении наиболее надежно и быстро выполняются гидравлическими или механическими устройствами с электроприводом.

Размещение штанг в кассетах или контейнерах барабанного типа позволяет с помощью специальных манипуляторов механизировать подачу штанг для наращивания при бурении и для снятия и установки в кассету после подъема. Для свинчивания и развинчивания штанг и муфт используется вращение шпинделя станка, при этом став штанг удерживается зажимным устройством, смонтированным на раме станка. Первые конструкции подобных механизмов разработаны по заданию института Гипрорудмаш для установки на самоходный шахтный буровой агрегат АБШ.

Автоматическое управление процессом бурения базируется на

применении приборов и устройств, обеспечивающих работу механизмов буровой машины в оптимальном режиме, максимальную скорость бурения при наиболее высоких технико-экономических показателях.

При бурении взрывных скважин, в большинстве случаев пересекающих породный или рудный массив на глубину 20—30 м, физико-механические свойства горных пород изменяются в сравнительно небольших пределах. Соответственно, оптимальные значения величин, слагающих режим бурения, — усилие подачи, крутящий момент, окружная скорость, интенсивность промывки — не требуют особенно точной корректировки при бурении.

Режим бурения должен существенно меняться при изменении диаметра скважины и при переходе на другой тип породоразрушающего инструмента.

Этим условиям наиболее отвечает принцип разработки и изготовления специализированных конструкций буровых станков, предназначенных на определенный тип породоразрушающего инструмента (твердосплавный, алмазный, шарошечный и др.) с учетом требований эксплуатации в заданных горнотехнических условиях. Однако любой современный буровой станок должен разрешать регулировку — усилия подачи, развиваемого механизмом подачи, скорости вращения бурового снаряда и крутящего момента, развиваемых вращателем.

Повышение качества бурового инструмента, его надежности и долговечности, при умеренной стоимости, является основой перспективного развития вращательного способа бурения горных пород. Значительный интерес представляют новые материалы, обладающие высокой сопротивляемостью абразивному износу (типа боразона). Одним из наиболее перспективных является дальнейшее совершенствование алмазного бурового инструмента, в том числе импрегнированных алмазных коронок и коронок, использующих более дешевые сорта алмазов (второй сорт борт). При проходке скважин малого диаметра более высокие показатели получают при бурении сплошным забоем. Наибольший технико-экономический эффект можно получить только при условии разработки специализированного алмазного инструмента, конструкция которого рассчитана на определенные горные породы, имеющие определенные физико-механические свойства, и увязана с параметрами оптимального режима бурения, создаваемого специализированной буровой машиной.

Производительность твердосплавного бурового инструмента определяется качеством материала и конструкцией резцов буровой коронки (долота). Нужны новые более износостойкие твердые сплавы и материалы, обладающие высокими и стабильными технико-эксплуатационными качествами строго в соответствии с требованиями установленных стандартов. Более совершенные конструкции буровых коронок разрушают большую часть породы более крупными кусками. Этого можно достичь при нарезании на

забое скважины отдельных узких канавок с оставлением гребешков породы, сламываемых потом крупными кусками.

Наличие значительных сил трения, действующих при вращательном бурении, вызывает интенсивный износ — затупление резцов коронки, смена которой ведет к большим потерям рабочего времени.

Разработка мероприятий, замедляющих затупление резцов, а возможно, и использующих силы трения для самозатачивания лезвий резцов, является перспективной задачей. Выбор промывочной жидкости должен производиться с учетом возможного влияния на силы трения и износ бурового инструмента.

Продувка скважин сжатым воздухом обеспечивает некоторое повышение стойкости твердосплавного бурового инструмента за счет более интенсивного охлаждения, однако этот способ удаления разбуренных частиц породы пока мало исследован.

Наиболее перспективными являются погружные вращательные буровые машины. Перенос машины в скважину, непосредственно к ее забою, имеет следующие преимущества.

1. Отпадает потребность вращения длинной колонны штанг, за счет чего снижается удельный расход энергии на 1 м скважины.

2. Создается возможность более гибкого, направленного бурения скважин.

3. Улучшаются условия труда на рабочем месте, после ухода буровой машины в скважину значительно снижается уровень шума.

4. Упрощается конструкция бурового оборудования. Создается возможность конструирования несложных многошпиндельных машин.

5. Меньшая нагрузка на колонну штанг значительно увеличивает срок службы их.

6. Создаются условия для применения гибких, цельных штанг-канатов, наматываемых на барабан. Пустотелый канат-труба будет служить для спуско-подъемных операций, а также для подачи энергии к приводу погружного вращателя, воды или воздуха для удаления разбуренной породы (см. рис. 55).

Глава III

ПНЕВМОУДАРНОЕ БУРЕНИЕ СКВАЖИН

Пневмоударное бурение относится к ударно-вращательному способу. Этот способ бурения скважин станками (агрегатами) с погружными пневмоударниками получил широкое распространение на рудниках горнорудной промышленности при бурении взрывных скважин на глубину 30—50 м. О масштабах и эффективности этого способа бурения скважин свидетельствуют следующие данные: за период с 1957 по 1967 г. в горнорудной промышленности эксплуатировались более 2000 буровых станков типа БА-100 и

НКР-100 и десятки тысяч пневмоударников типа М-1900 и П-1-75, которыми в подземных условиях ежегодно бурили более 1 млн. м взрывных скважин.

За последние годы буровые станки с пневмоударниками хорошо зарекомендовали себя при разведочном бурении с колонковым буровым снарядом.

Буровые агрегаты с пневмоударниками могут эффективно бурить скважины в любом направлении: горизонтальные, наклонные, восстающие и вертикальные, направленные вверх и вниз.

Основная особенность буровых станков с пневмоударниками, работающими в скважинах, заключается в том, что ударное действие и вращение осуществлено двумя независимо работающими механизмами.

Наличие одного ударного механизма в пневмоударнике увеличивает живую силу удара, упрощает конструкцию пневмоударника и уменьшает его внешний диаметр.

Благодаря достаточной мощности вращателя обеспечивается равномерность работы пневмоударника.

Бурение скважин пневмоударником, входящим в скважину, исключает передачу удара поршня с бойком через колонну штанг, вследствие чего механическая скорость бурения с увеличением глубины скважины снижается незначительно.

§ 1. КОНСТРУКЦИИ ПНЕВМОУДАРНИКОВ

Пневмоударник — пневматическая машина ударного действия. Пневмоударник состоит из следующих основных частей: ствола, цилиндра, поршня-ударника, воздухораспределительного устройства, переходника.

Сжатый воздух поступает по гибкому резиновому шлангу в сальник, соединяющий невращающийся шланг с вращающимися штангами, и через колонну этих штанг непосредственно в пневмоударник.

Смазочное масло добавляется в поток сжатого воздуха при помощи автоматической масленки, подключенной к резиновому шлангу.

Относительно небольшая скорость вращения бурового снаряда сопровождается большим числом ударов лезвий коронки по забою скважины.

Буровая мелочь выносятся из скважины струей отработанного воздуха или воздушно-водяной смеси.

В пневмоударнике сила удара действует в течение очень малого промежутка времени. Продолжительность одного цикла (рабочего и холостого хода) будет:

$$t_{\text{ц}} = \frac{60}{N}, \quad (67)$$

где $t_{\text{ц}}$ — продолжительность одного цикла в сек; N — число ударов бойка по коронке в 1 мин.

Подставив в формулу нормальное число ударов, получим:

$$t_{\text{ц}} = \frac{60}{1850} = 0,032 \text{ сек.}$$

За небольшую историю развития пневмоударного бурения сконструировано около 20 моделей. В настоящее время нашли промышленное применение лучшие конструкции пневмоударников: М-1900, П-1-75, П-150, М-48.

Пневмоударник М-1900

Пневмоударник М-1900 (рис. 111) разработан институтом Горного дела Западно-Сибирского отделения АН СССР и Горным управлением Кузнецкого металлургического комбината. Пневмоударник М-1900 работает на воздушно-водяной смеси. Сжатый воздух для работы пневмоударника и вода для промывки скважины подаются к пневмоударнику не по отдельным трубам, а совместно — в виде смеси воздуха и воды. Получение смеси осуществляется вводом воды в поток сжатого воздуха перед его поступлением в колонну штанг.

При входе в пневмоударник некоторое количество смеси отделяется и подается непосредственно к забою скважины для смачивания и удаления буровой мелочи. Большая часть смеси используется для работы ударного механизма. Отработанная воздушно-водная смесь подхватывает буровую мелочь и выносит ее к устью скважины.

Увлажнение пыли уменьшает запыленность воздуха до пределов санитарной нормы.

Самым простым смесителем (рис. 112) является смеситель в

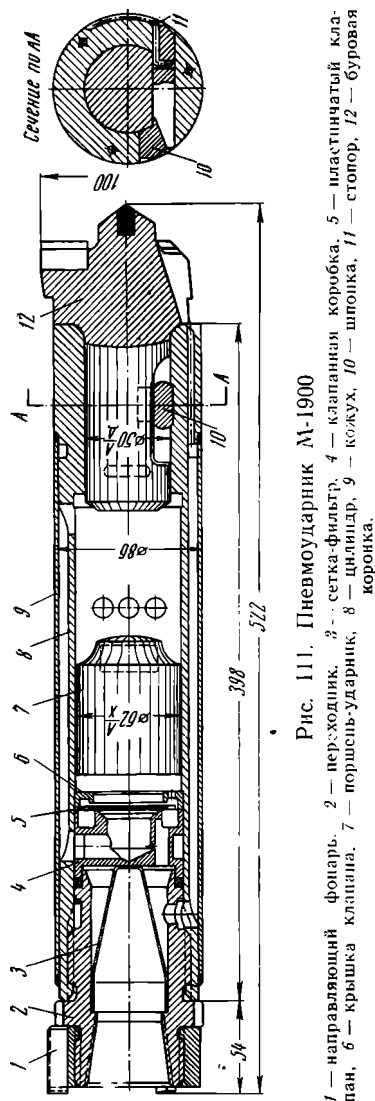


Рис. 111. Пневмоударник М-1900

виде тройника. Вода подводится к смесителю через сопло с отверстием необходимого диаметра под углом 45° к направлению потока сжатого воздуха.

Количество подаваемой воды может регулироваться путем смены сопел или за счет изменения разности давлений воды и воздуха.

При бурении крепких пород для обеспечения промывки скважины достаточно подавать в воздухопровод 10—15 л воды в 1 мин.

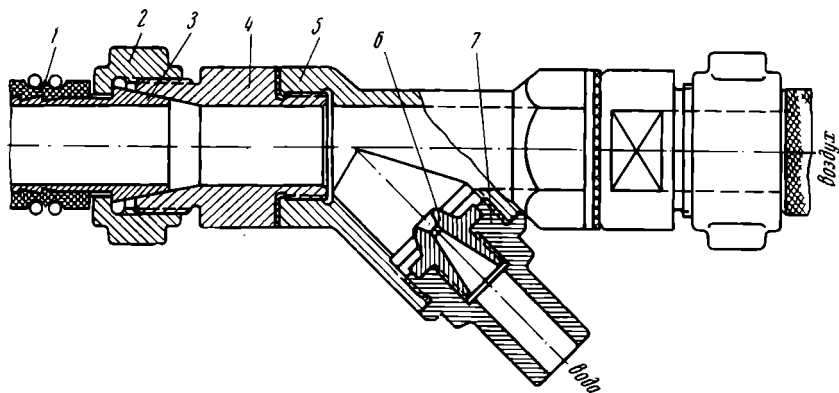


Рис. 112. Устройство для образования воздушно-водяной смеси.

1 — шланг, 2 — прижимная гайка, 3 — штуцер, 4 — ниппель, 5 — тройник, 6 — сопло, 7 — штуцер.

Работа на воздушно-водяной смеси позволила упростить конструкцию штанг и улучшить эксплуатационные качества бурового агрегата. Практика показала, что пневмоударники устойчиво и надежно работают на воздушно-водяной смеси.

Для очистки подводимой смеси из воды и воздуха в переходнике пневмоударника М-1900 установлен фильтр. Отбор смеси,

Таблица 31

Техническая характеристика пневмоударников

Показатели	М-1900	П-1-75	П-150	М-48
Диаметр коронки, мм	110—115	100—110	150	105—110
Диаметр корпуса ствола, мм	86	90	110—112	92
Диаметр цилиндра, мм	62	75	98	74
Длина с коронкой, мм	528	—	455	—
Длина без коронки, мм	—	450	—	—
Мощность ударника, л. с.	3,5	2,92	5—6	4,2
Число ударов в 1 мин	1900	2300	2500	1800
Работа единичного удара, кг·м	7,5	7,5—9,5	9—11	9,3
Ход поршня, мм	70	65	55	70
Расход воздуха при давлении 5 кг/см ² , м ³ /мин	4—6	4,3	4,5	6,8
Вес пневмоударника без коронки, кг	12,8	14,5	20,7	16,1
Механическая скорость бурения по крепким породам, мм/мин	33	35	40	40

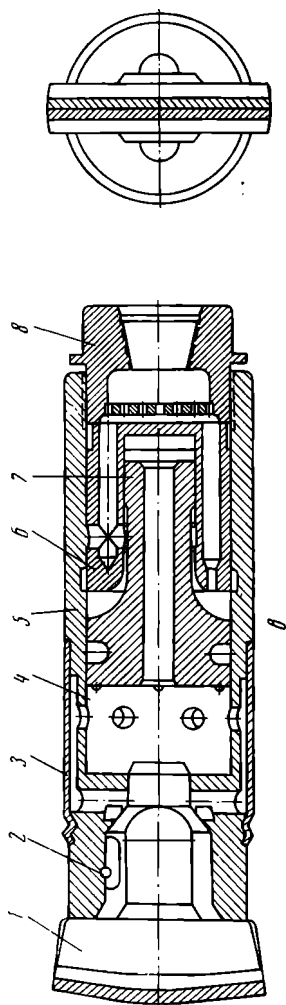


Рис. 113. Погружные пневмоударники.

а — пневмоударник П-1-75; 1 — переходник, 2 — ствол, 3 — поршень-ударник, 4 — буровая коронка, 5 — передняя головка, 6 — шпонка; б — пневмоударник М-150; 1 — ствол пневмоударника, 2 — внутренняя крышка, 3 — поршень-ударник, 4 — буровая коронка, 5 — шпонка, 6 — пластинчатый клапан, 7 — коробка клапана, 8 — переходник, 9 — выхлопное отверстие, 10 — направляющий фланец, 11 — предохранительная сетка; в — пневмоударник П-150; 1 — коронка, 2 — штифт, 3 — гильза, 4 — цилиндр, 5 — ствол, 6 — боек, 7 — поршень-ударник, 8 — переводник

подаваемой между перьями коронки к забою скважины для смачивания и удаления буровой мелочи, осуществляется из переходника, перед поступлением смеси в распределительное устройство.

В пневмоударнике М-1900 нашла применение система воздухораспределения с пластинчатым клапаном, обладающая преимуществами по сравнению с золотниковым воздухораспределением.

В пневмоударнике М-1900 диаметр цилиндра равен 62 мм. Динамика пневмоударника была улучшена посредством увеличения сечений каналов в стволе, хода клапана и проходов в клапанной корбке.

В настоящее время модернизированные пневмоударники М-1900 УК выпускает Первоуральский завод горного оборудования. Общие виды других современных пневмоударников показаны на рис. 113.

Технические характеристики пневмоударников приведены в таблице 31.

§ 2. БУРОВЫЕ СТАНКИ (АГРЕГАТЫ) ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ УСЛОВИЙ

К станкам (агрегатам) для пневмоударного бурения скважины в подземных условиях предъявляются следующие требования: 1) станок должен быть легким, небольших размеров, быть удобным при транспортировке по горным выработкам небольшого сечения; 2) создавать требуемое осевое давление; 3) обладать

возможностью изменения числа оборотов шпинделя; 4) обеспечивать бурение скважин в любом направлении; 5) иметь полый шпиндель для пропуска штанг; 6) иметь большой ход шпинделя.

Работы по конструированию и изготовлению буровых станков (агрегатов) успешно проводятся институтом Горного дела Западно-Сибирского отделения АН СССР в содружестве с Горным управлением Кузнецкого металлургического комбината, институтом ВНИИГормаш, Криворожским заводом «Коммунист» и институтом Гипрорудмаш.

Буровой агрегат НКР-100М

Буровой агрегат НКР-100М* с пневмоударником предназначен для подземного бурения взрывных скважин диаметром 105—110 мм, глубиной до 50 м. Конструкция агрегата позволяет бурить скважины в любом направлении по породам и рудам средней крепости и крепким.

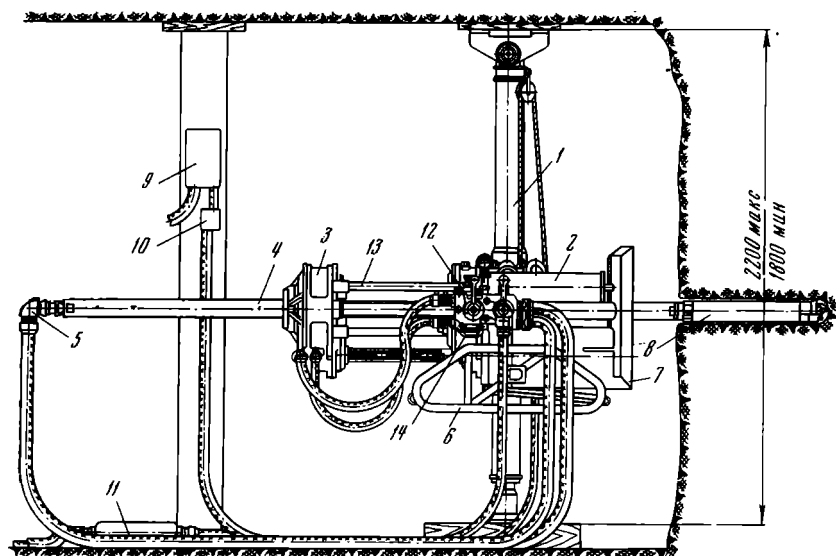


Рис. 114. Буровой агрегат НКР-100М.

1 — распорная колонка, 2 — пневматический цилиндр, 3 — зажимной патрон, 4 — буровые штанги, 5 — сальник, 6 — салазки, 7 — щит, 8 — пневмоударник, 9 — магнитный пускатель; 10 — кнопка управления, 11 — автомасленка, 12 — пульт управления, 13 — шток автоподатчика; 14 — электродвигатель.

Буровой агрегат НКР-100М (рис. 114) состоит из следующих основных узлов: станка, укрепленного на колонке, става штанг с сальником и пневмоударника с буровой коронкой.

* Этот агрегат награжден золотой медалью на Лейпцигской ярмарке.

Станок состоит из редуктора с пневмозахватом, подающего патрона, пульта управления, цилиндров подачи, отражательного щита для защиты механизмов станка и бурильщика от шлама, выходящего из скважины. Для транспортировки станка по выработкам к редуктору с пневмозахватом крепятся салазки.

Техническая характеристика бурового агрегата НКР-100М приведена в табл. 32.

Таблица 32

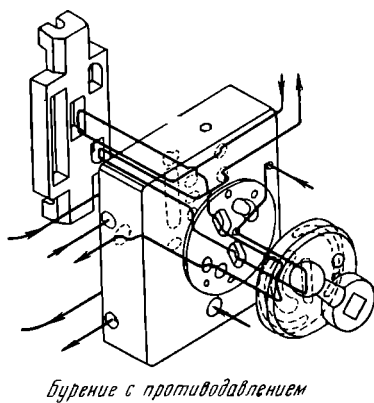
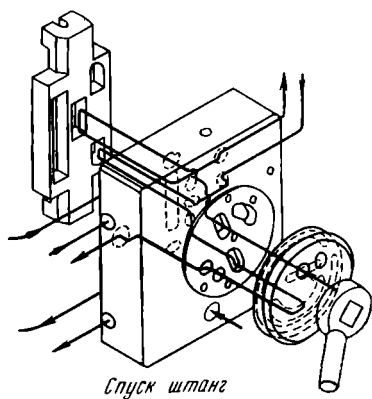
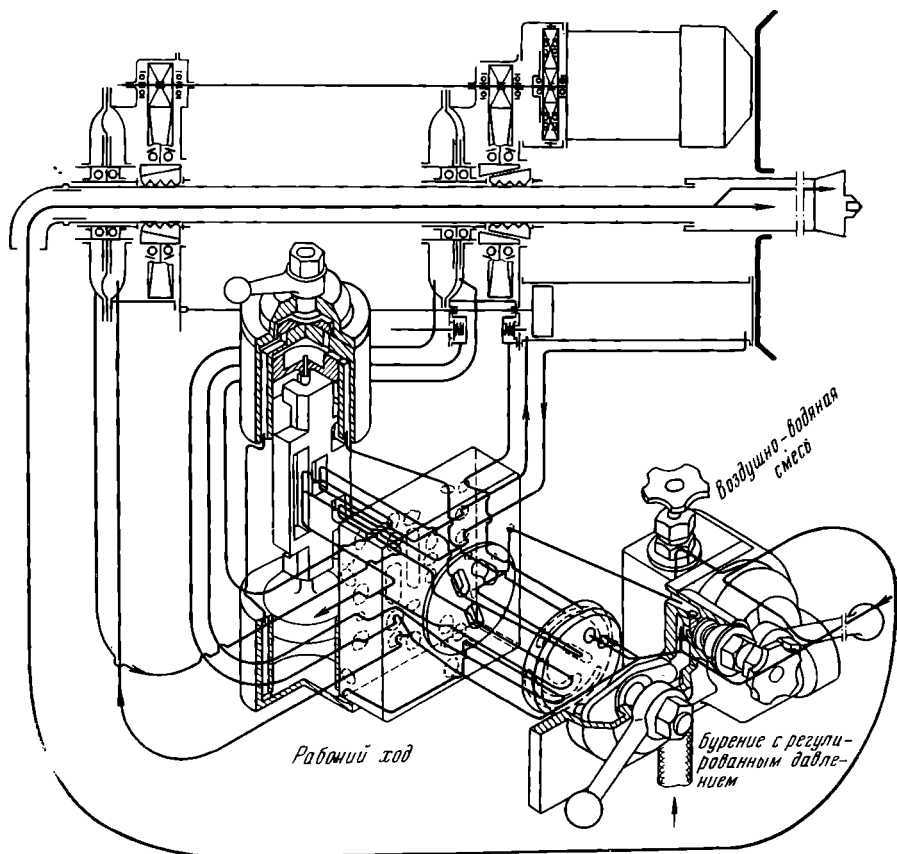
Техническая характеристика буровых агрегатов для подземных условий

Показатели	НКР-100М	АБ-2	ЛПС-3	БМН-5
Диаметр коронки, мм	105—110	80—88	130—150	105
Тип пневмоударника	П—1—75	—	П—150	М—1900
Глубина скважины, м	50	100	30—50	50
Диаметр штанги, мм	63	38	50	50
Рабочая длина штанги, мм	1200	—	1000	1230
Вес штанги, кг/м	9,5	7,4	6,5	6,5
Подача бурового снаряда	Автоматическая пневматическая	Пневматическая	Пневматическая	Пневматическая
Ход подачи, мм	365	600	1100	1300
Усилие подачи, кг:				
максимальное	600	760	900	780
оптимальное	150	—	100—200	—
Мощность электродвигателя, кат	2,8	Пневмодвигателя 4 л. с.	Пневмодвигателя 4 л. с.	1,7
Скорость вращения става штанг, об/мин	76	0—208	30—60	44—76
Рабочее давление сжатого воздуха, кг/см ²	5	5	5	5
Расход воздуха, м ³ /мин	6	7,5	4—4,5	3—6
Рабочее давление воды, кг/см ²	10—12	10—15	10—12	—
Расход воды, л/мин	15—20	10—40	6—8	—
Размеры станка, мм:				
длина	1500	1420	2400	1800
ширина	650	1040	270	960
высота	620	2200	480 (2000)	650—1800
Вес станка, кг	360	280	335	150
Вес распорной колонки, кг	95	80×2	80	80
Направление бурения	Верх	Верх	Верх	Верх
	0—360°	0—360°	0—360°	0—360°
Размеры выработки, м	2×2,2	2×2,5	2,6×2,6	2×2

При бурении скважин став штанг, с присоединенным к нему пневмоударником, получает вращение и подачу от станка. Пневмоударник работает на воздушно-водяной смеси.

Двухшарнирное крепление станка на распорной колонке дает возможность бурить скважины в любом направлении. Подъем и спуск станка по колонке производятся с помощью ручной лебедки.

Принципиальная схема управления буровым агрегатом НКР-100М показана на рис. 115.



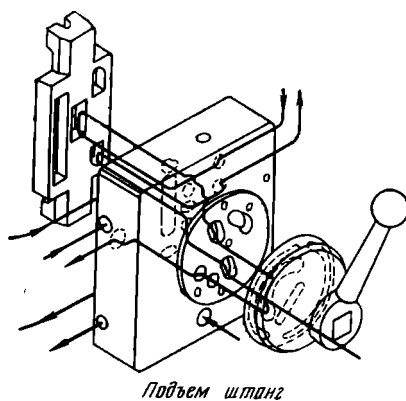
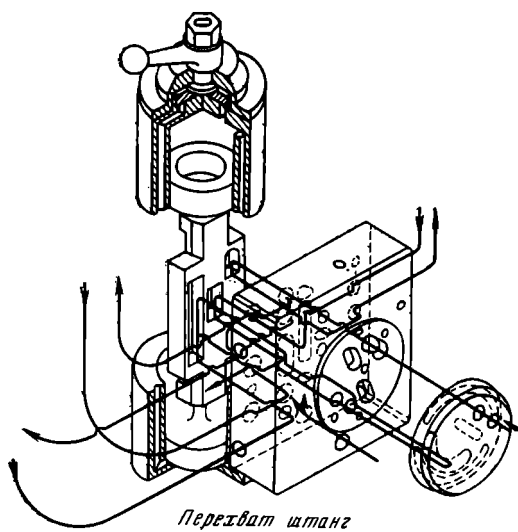


Рис. 115. Схема управления буровым агрегатом НКР-100М.

Буровой станок имеет автоматическую подачу штанг, которая осуществляется следующим образом. При рабочем ходе (бурение с регулируемым давлением) сжатый воздух поступает в камеру подающего диафрагменного патрона, перемещает поршень с гильзой влево; гильза тянет за собой кулачки, которые, скользя по конусной поверхности зубчатого колеса, зажимают штангу. В то же время сжатый воздух поступает в редуктор с пневмозахватом, перемещает поршень вперед (вправо) и разжимает кулачки пневмозахвата. От регулятора давления сжатый воздух поступает в цилиндр подачи и перемещает подающий патрон с зажатой в нем штангой, производя подачу. Усилие подачи устанавливается регулятором давления.

В крайнем переднем правом положении подающий патрон нажимает на клапан, выпуская сжатый воздух из-под поршня пульта управления. При этом перебрасывается золотник и сжатый воздух поступает в редуктор с пневмозахватом, перемещает поршень вперед и отжимает кулачки, освобождая штангу. Затем сжатый воздух поступает в цилиндры подачи и при полном давлении перемещает подающий патрон в крайнее заднее положение. При достижении крайнего положения подающий патрон нажимает на клапан, выпуская сжатый воздух из-под поршня пульта, золотник перебрасывается в первоначальное положение и цикл повторяется.

В положении рукоятки «Подъем штанг» движение подающего патрона вперед происходит при разжатых кулачках в подающем патроне и зажатых в редукторе с пневмозахватом. Движение подающего патрона назад происходит с зажатой в нем штангой, т. е. производится выдача става штанг из скважины.

При положении рукоятки «Бурение с регулируемым противодействием» сжатый воздух поступает в заднюю полость цилиндра через регулятор давления, которым и осуществляется противодействие, уменьшающее нагрузку на коронку.

При положении рукоятки «Спуск штанг» ход сжатого воздуха такой же, как и при бурении с регулируемым давлением, однако сжатый воздух при этой схеме поступает в цилиндры не через регулятор давления, а при полном сетевом давлении.

Управление буровым агрегатом сосредоточено на пульте управления, прикрепленном к редуктору с пневмозахватом. Пульт состоит из крана пневмоударника, распределительного крана подачи, водяного вентиля и регулятора давления подачи. Управление электродвигателем осуществляется магнитным пускателем от кнопки управления.

Применение двух пневматических зажимных патронов и специально разработанная схема воздухораспределения, приводимая с пульта управления, позволила автоматизировать подачу става штанг в процессе бурения. Кроме того, конструкция станка позволяет осуществлять развинчивание штанг от электродвигателя без

его реверсирования. Штанги изготовлены из труб с высаженными концами, на которых нарезана коническая резьба.

Смазка пневмоударника, сальника, пневмоподатчика и пневмозахватов осуществляется через автомасленку.

Буровые агрегаты НКР-100М изготавливает Кривсрожский завод горного оборудования «Коммунист».

Другие буровые агрегаты

На рудниках Лениногорского полиметаллического комбината с успехом применяются буровые агрегаты ЛПС-3 (рис. 116). Характеристика этого агрегата приведена в табл. 32.

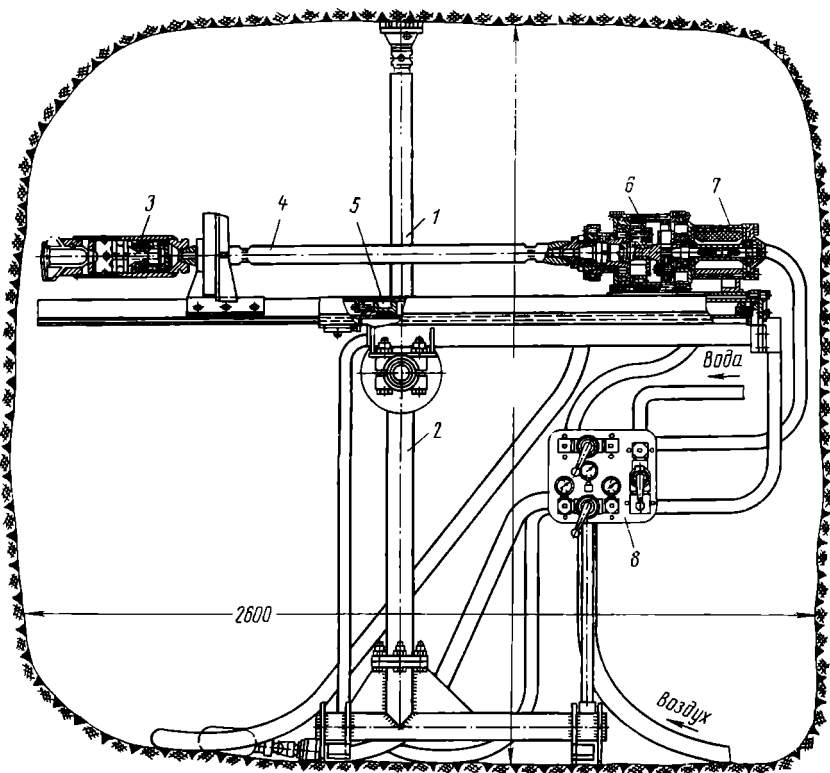


Рис. 116. Буровой станок ЛПС-3.

1 — колонка, 2 — одностоечная рама, 3 — пневмоударник, 4 — штанга, 5 — пневмоподатчик, 6 — вращатель, 7 — пневмодвигатель, 8 — пульт управления.

От скважины к скважине в одной выработке станок ЛПС-3 перемещается в собранном виде. При перемещении станка на большое расстояние его разбирают на транспортабельные узлы.

Отличительной особенностью станка ЛПС-3 является то, что буровые штанги наращивают не через шпиндель, а впереди вращателя, это обстоятельство позволяет иметь несъемное сальниковое устройство для подвода воздушно-водяной смеси.

Буровая машина БМН-5 конструкции Норильского горнометаллургического комбината предназначена для бурения скважин по крепким породам в подземных условиях.

По конструкции рабочего механизма машина БМН-5 аналогична вышеприведенным станкам. Отличительной особенностью буровой машины БМН-5 является применение канатно-поршневого податчика (см. рис. 96, з), который позволяет производить бурение на полную длину штанги без перехватов.

В условиях многолетней мерзлоты бурение скважин производится всухую, с применением пылеотсасывающей установки.

Техническая характеристика буровой машины БМН-5 приведена в табл. 32.

Буровая машина легко разбирается на транспортабельные узлы для перевозки и переноски по горным выработкам.

Буровой агрегат АБ-2

Буровой агрегат АБ-2 конструкции института Гипрорудмаш предназначен для бурения разведочных, дренажных и эксплуатационных скважин глубиной до 100 м, диаметром 80—88 мм, по породам средней крепости и крепким в подземных условиях.

Буровой снаряд агрегата обеспечивает бурение скважин как сплошным, так и кольцевым забоем.

Буровой агрегат АБ-2 (рис. 117) состоит из следующих узлов: буровой головки, пневмоподатчика, распорной колонки, подъемного устройства, пульта управления, коммуникаций, бурового снаряда.

Буровая головка служит для вращательного или вращательно-ударного режимов бурения. В корпусе буровой головки монтируется ударный механизм — пневмоударник, который предназначен для нанесения ударов по буровому снаряду через всю колонну штанг. Перед пневмоударником находится шпиндель, к крышке которого присоединяется гидромуфта, служащая для подачи воды в колонну штанг и к забою скважины. В этом же корпусе находится вращатель.

Буровая головка закрепляется на цилиндрах пневмоподатчика. Последний состоит из рамы, пневмоцилиндров, захвата с тягой и двух втулок. На раме пневмоподатчика установлен пульт управления.

Распорная колонка состоит из трубы, соединенной шарнирно в нижней части с пятой. На трубе находится кронштейн, на котором закреплен пневмоударник, а на наружной крышке его — подъемное устройство, которое служит для подъема бурового станка при

его установке в выработку и для разворота буровой головки во время подъема и спуска бурового снаряда.

Техническая характеристика бурового агрегата АБ-2 дана в табл. 32.

Буровой снаряд агрегата состоит из коронки, колонковой трубы, кернорвателя, переходника, буровых штанг и муфт. Коронки для бурения кольцевым забоем изготовляют двух размеров

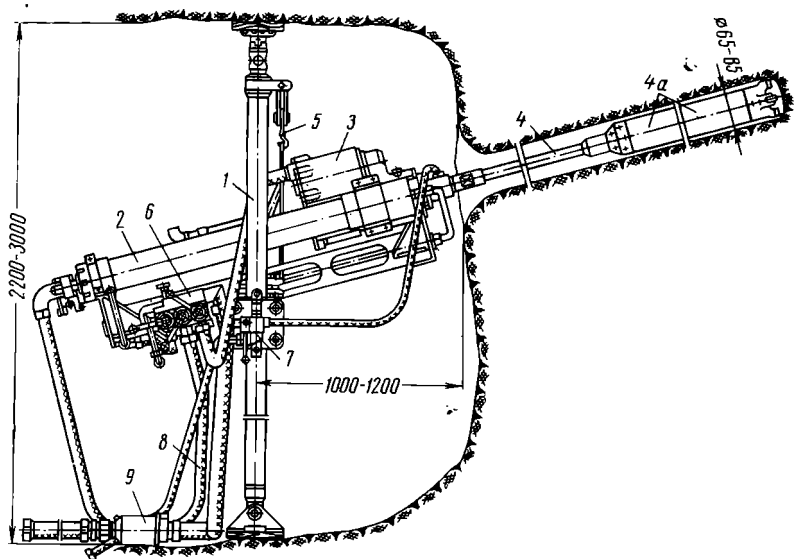


Рис. 117. Буровой агрегат АБ-2

1 — распорная колонка, 2 — пневмоподатчик, 3 — буровая головка, 4 — ствол штанг, 4а — колонковый снаряд, 5 — подъемное устройство, 6 — пульт управления, 7 — смеситель, 8 — коммуникация, 9 — автомасленка.

диаметром 88 и 83 мм. Для бурения скважин сплошным забоем применяют трехперые или крестовые коронки с опережающим лезвием, армированные твердым сплавом ВК-15.

Буровой агрегат АБ-2 обслуживают бурильщик и его помощник. Забуривание скважины производят при малых оборотах шпинделя и небольшой осевой нагрузке на коронку. После углубления скважины на 100—150 мм буровой агрегат останавливают, вместо коронки для забуривания ставят кольцевую коронку с колонковой трубой и продолжают бурение.

Разведочные скважины бурили на шахте «Новая» рудника им. К. Либкнехта в Криворожском бассейне. По породам средней крепости и крепким кольцевыми коронками было пробурено 700 м разведочных скважин. Две разведочные скважины общей глубиной 160 м бурили по весьма крепким породам.

Средняя скорость бурения по породам с коэффициентом кре-

пости $f=5\div 10$ составила: чистая 251 мм/мин, техническая 67 мм/мин, коммерческая 40 мм/мин.

Производительность бурения по породам с коэффициентом крепости $f=12\div 16$ составила: средняя 2,8 м/смену, наибольшая 5,6 м/смену.

§ 3. БУРЕНИЕ СКВАЖИН ПНЕВМОУДАРНИКАМИ С КОЛОНКОВЫМ СНАРЯДОМ

Увеличение производительности бурения пневмоударниками связано с созданием более мощных пневматических молотков. Мощность пневмоударника может повышаться по трем основным направлениям: 1) за счет повышения давления сжатого воздуха; 2) увеличения площади поршня и 3) создания наиболее совершенных конструкций пневмоударников.

В настоящее время бурение пневмоударниками ведется в рудничных условиях и питание сжатым воздухом производится от магистральной сети, поэтому использовать первый путь не всегда возможно.

При бурении взрывных скважин имеется стремление увеличить диаметр скважины, но при бурении сплошным забоем увеличение мощности пневмоударника за счет большего диаметра поршня не покрывает растущих потребностей мощности в связи с большой площадью забоя. Это подтверждается испытаниями пневмоударников, когда было установлено снижение скорости бурения с увеличением диаметра коронки. При увеличении диаметра коронки со 120 до 134 мм скорость бурения снизилась в 1,7 раза (с 34 до 20 мм/мин).

При колонковом бурении увеличение диаметра коронки связано с незначительным ростом площади забоя и удельная мощность (на единицу площади забоя) растет. При колонковом бурении пневмоударником получается более равномерный износ кольцевой коронки по сравнению с обычной коронкой.

Колонковое бурение дает меньшее количество буровой мелочи, что особенно важно при бурении горизонтальных и слабонаклоненных скважин, где обычно получается наибольшая зашламованность.

Колонковое бурение позволяет вести контрольное опробование массива руды и вмещающих пород, поэтому может применяться для разведки.

Буровой снаряд для колонкового бурения состоит из следующих частей (рис. 118): буровой коронки, колонковой трубы, хвостовика, кернорвателя и иногда шламовой трубы. Все резьбы в колонковом снаряде делаются упорными, мелкими.

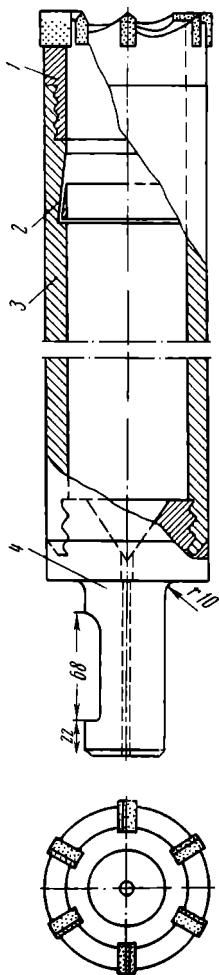
На конце колонковой трубы обязательно следует ставить надежный кернорватель, так как без него затруднительно поднять керн. Задача облегчается тем, что пневмоударник в процессе бурения не отрывается от забоя.

При бурении с промывкой заклинивание керна должно про-

изводиться при одновременной продувке забоя, так как в случае прекращения подачи сжатого воздуха промывочная жидкость с буровым шламом может попасть внутрь пневмоударника и засорить его.

Длину шламовой трубы подбирают с таким расчетом, чтобы обеспечить очистку скважины от крупной буровой мелочи в течение рейса. Шламовую трубу следует ставить за пневмоударником. Хвостовик должен быть по возможности коротким и иметь небольшой вес. Расположение резцов твердых сплавов на буровой коронке показано на рис. 50, а. Кольцевая коронка армирована пластинками твердого сплава марки ВК-15. Угол приострения пластинок принят 90° с наклоном вперед на 30° . При бурении в трещиноватых породах применяют коронки диаметром 112 и 118 мм (под обсадные трубы диаметром 108/99,5 мм), а при бурении в монолитных породах — диаметром 90—98 мм и 75—85 мм.

Бурение пневмударником с колонковым снарядом возможно при любых углах наклона скважины. При проходке восстающих и вертикальных скважин, направленных вверх, создаются лучшие условия для их очистки от буровой мелочи и извлечения керна. В горизонтальных и пологонаклонных скважинах получается значительная зашламованность. При бурении вертикальных скважин, направленных вниз, очистка скважины от буровой мелочи производится при помощи шламовой трубы.



мого сжатого воздуха над внешним давлением. Поэтому даже небольшое повышение внешнего давления резко снижает эффективность бурения. В наклонных и вертикальных скважинах, направленных вниз, противодействие может быть так велико, что загрязненная промывочная вода проникнет в механизм пневмоударника. Поэтому бурение водообильных вертикальных скважин, направленных вниз, следует вести при высоком давлении сжатого воздуха.

Пневмоударник для колонкового снаряда

Пневмоударники, предназначенные для бурения взрывных скважин, по своей конструкции и техническим параметрам не могут обеспечить эффективное бурение разведочных скважин с отбором керна.

Значительно большая глубина разведочных скважин, наличие в них шлама, влияние колонковой трубы как промежуточного звена между пневмоударником и коронкой — все это предъявляет к конструкции пневмоударников с колонковым снарядом дополнительные требования. Учитывая вышеприведенные факторы, ВИТР разработал новую конструкцию пневмоударника П-15 и колонковый снаряд И-15 для бурения скважин с получением керна. Эти конструкции были испытаны при бурении скважин по породам VII—XI категорий буримости.

Основные параметры пневмоударника П-15.

Диаметры коронки, мм	115, 132, 155
Диаметр керна, мм	78
Число ударов в 1 мин	1000
Энергия удара, кг·м	15
Давление сжатого воздуха, кг/см ²	5
Расход воздуха, м ³ /мин	8

Очистка скважины от шлама производится отработанным воздухом. Глубина бурения зависит от степени водопритока в скважину и мощности компрессорной установки. Передвижные компрессоры типа КС-9 и ДК-9 могут обеспечить эффективное бурение скважины пневмоударниками при малых водопритоках на глубину 150—200 м, а при значительных водопритоках — до 100 м. После внедрения разработанного специализированного компрессора глубина скважин может быть увеличена.

Бурение пневмоударником ведется при нагрузке на коронку 150—200 кг и скорости вращения бурового снаряда 30—40 об/мин. Выход керна при пневмоударном бурении составил около 70%. Проходка на коронку до первой заточки — 3,5—5,0 м. Размер твердосплавных резцов позволяет трех-четыrehкратную перезаточку. Общая проходка на одну коронку достигает 15—18 м при ее стоимости 12 руб.

Криворожский НИГРИ разработал конструкцию погружных

пневмоударников РП-96 и РП-112 для бурения разведочных скважин диаметром 96 и 112 мм с отбором керна. Пневмоударники РП-96 и РП-112 изготовлены и проходят промышленные испытания.

Бурение пневмоударником с колонковым снарядом, по сравнению с бурением сплошным забоем, имеет следующие преимущества: 1) получаются более высокие скорость и производительность при одинаковом диаметре; 2) происходит более равномерный износ коренки; 3) возможно бурение скважин с целью разведки на довольно значительную глубину в любом направлении.

§ 4. БУРОВЫЕ СТАНКИ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ РАБОТ

Буровыми установками с пневмоударниками возможно бурение вертикальных и наклонных скважин с поверхности по породам средней крепости и крепким. Решающее значение на скорость и производительность бурения этим способом оказывают увеличение энергии удара и числа ударов, а также конструкция бурового снаряда и способ очистки скважины от буровой мелочи.

Буровая установка УСБР

Институт Гипрорудмаш сконструировал буровую установку УСБР, предназначенную для бурения вертикальных скважин эксплуатационной разведки на открытых работах по породам средней крепости и крепким с отбором керна (рис. 119).

Буровая установка УСБР смонтирована на автомашине МАЗ-200 с частичной переделкой кузова, который отодвинут от кабины на 120 мм и в образовавшемся промежутке укреплен балка с передними опорными стойками и стойкой для поддержания мачты в транспортном положении.

На платформе автомашины установлена рама, на которой монтируется вся буровая установка. В передней части платформы установлен бак для воды. Устойчивость установки во время бурения обеспечивается двумя передними и двумя задними стойками-домкратами.

В правой части платформы расположена кассета, в которой уложены буровые штанги, а в левой части установлены гидропривод, маслобак и пульт управления.

Мачта представляет собой решетчатую конструкцию, сваренную из труб, и служит опорой для блока при подъеме и спуске бурового снаряда. Во время переездов мачту укладывают двумя гидроцилиндрами на автомашину и прикрепляют к стойке хомутами.

Подъем и спуск бурового снаряда производятся лебедкой, приводимой в действие двигателем гидропривода через редуктор отбора мощности.

Буровая машина смонтирована на специальной раме в задней

части кузова и состоит из буровой головки пневмоподатчика. Буровая головка создает вращательный или вращательно-ударный режим бурения буровому снаряду, удары по которому наносит пневмоударник. Гидродвигатель буровой головки позволяет осуществить бесступенчатое регулирование числа оборотов в зависимости от физико-механических свойств буримых пород.

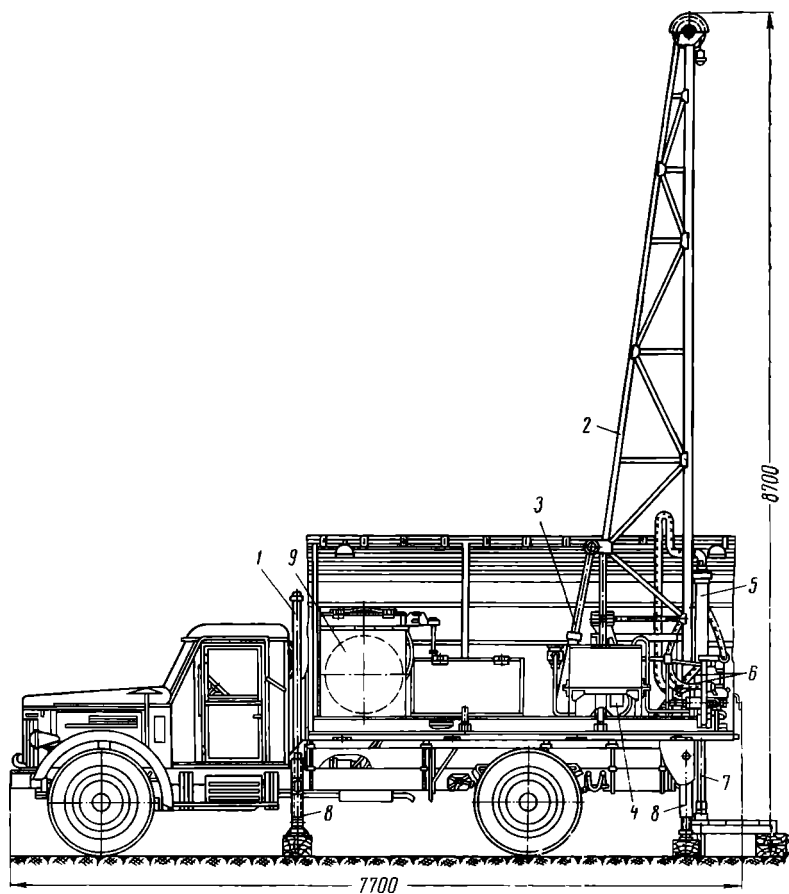


Рис. 119. Буровая установка УСБР.

1 — опоры мачты в транспортном положении, 2 — мачта, 3 — гидродомкрат, 4 — подъемная лебедка, 5 — пневмоподатчик, 6 — пульт управления, 7 — буровой снаряд, 8 — стойки домкрата, 9 — бак для воды.

Сжатый воздух от компрессора через автомасленку поступает к пульту управления, откуда распределяется в пневмоударник и в цилиндры пневмоподатчика. С пульта управления одновременно сжатый воздух поступает в смеситель, где он смешивается с водой.

образуя воздушно-водяную смесь, которая по штангам поступает в забой скважины.

Гидропривод, состоящий из маслососа, коммуникации, масляного бака и контрольно-пусковой аппаратуры, служит для подачи рабочей жидкости в гидродвигатели и гидроцилиндр.

Техническая характеристика буровой установки УСБР приведена в табл. 33.

Таблица 33

Техническая характеристика буровых станков и установок для открытых работ

Показатели	УСБР	П-31	П-24	«Урал-61»
Глубина бурения, м	50	30	40	15
Диаметр коронок, мм:				
начальный	98—85	105	105	155
конечный	90—65	95	90	—
Диаметр буровых штанг, мм	38	60	60	89
Ход подачи, мм	920	400	6000	800
Усилие пневмоподатчика, кг:				
при бурении	925	0—500	0—600	—
при подъеме снаряда	1040	—	—	—
Число оборотов снаряда в 1 мин	0—117	68—75	75	50—75
Ударный механизм	Специальный пневмоударник на буровой головке	М-1900УК	М-1900	М-32
Число ударов в 1 мин	2070 1520	1900	1900	2200
Работа одного удара, кг·м	13,7 15,1	7—7,5	7,5	12
Расход воздуха, м ³ /мин	7,5 и 4,9	5—4,2	6—8	18
Размеры в транспортном положении, мм:				
длина	7740	4090	9585	13 700
ширина	2650	1500	3000	4180
высота	3300	1950	4540	4355
Высота с поднятой мачтой, мм	8700	4860	9740	20 780
Вес установки (без компрессора), кг	8770	1130	13 500	22 000

Для охлаждения буровой коронки на забой скважины с помощью смесителя подается сжатый воздух, воздушно-водяная смесь или вода, которая в зимнее время подогревается отработанными газами двигателя установки.

Буровая установка оснащена вспомогательным оборудованием и инструментами, необходимыми при бурении скважин и при ликвидации аварий.

Буровая установка УСБР прошла промышленные испытания на карьере ЮГОКа в Кривбассе. При бурении скважин диаметром 85 мм по породам с коэффициентом крепости $f=14$ получены следующие показатели по скорости бурения: колонковым буровым снарядом 1,5 м/ч, коронкой 6 м/ч.

Буровые станки П-24 и П-31, конструкции института ВНИИБТ, предназначены для бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром 90—105 мм по породам средней крепости и крепким. Характеристика этих станков приведена в табл. 33.

Станок П-24 смонтирован на гусеничном ходу, имеющем индивидуальный привод на каждую гусеницу, что обеспечивает его высокую маневренность. На поперечных балках гусеничного хода установлена рама, несущая кабину, мачту и компрессор с ресивером.

Мачта станка может устанавливаться вертикально и наклонно. Наклон может быть в плоскости оси станка и в плоскости, перпендикулярной оси станка. Для опускания и подъема мачты имеется лебедка.

Подача бурового става производится автоматически на всю длину штанги. Нарращивание штанг механизировано, а для развинчивания штанг применен гидравлический ключ. Управление спуско-подъемными операциями осуществляется с выносного пульта, расположенного в нижней части мачты.

На карьерах Дзержинского горнометаллургического комбината станком П-24 с пневмоударником М-1900 при бурении скважин в породах с $f=12\div 16$ получены следующие показатели: по скорости бурения 5—6 м/ч, по производительности бурения 30—35 м/смену.

Буровая установка П-31 смонтирована на трехколесном пневматическом ходу и от скважины к скважине перемещается при помощи лебедки ЛТ-2 или вручную. При переезде на большие расстояния установка П-31 прицепляется к автомашине или трактору.

Сжатый воздух к буровой установке подводится по шлангам от магистральной сети или передвижного компрессора производительностью 9 м³/мин. Очистка скважины от буровой мелочи осуществляется воздушно-водяной смесью. Расход воды составляет 10—20 л/мин. Установка П-31 в процессе бурения обслуживается одним бурильщиком.

Буровая машина «Урал-61» предназначена для бурения вертикальных и наклонных скважин в крепких монолитных и трещиноватых породах. Она относится к типу самоходных (на гусеничном ходу) буровых машин ударно-вращательного действия с погружным пневмоударником и автоматической подачей става штанг.

Управление механизмами производится централизованно из кабины машиниста. На пульте управления установлены приборы для управления, контроля и сигнализации. Характеристика машины приведена в табл. 33.

Механическая скорость бурения составила: по породам с $f=8\div 10$ —5÷7 м/ч и по породам с $f=12\div 14$ —3÷5 м/ч.

§ 5. БУРОВЫЕ КОРОНКИ ДЛЯ ПНЕВМОУДАРНИКОВ

Скорость бурения и производительность буровых станков с пневмоударниками в значительной степени зависят от качества бурового снаряда, особенно от качества буровых коронок (долот).

Эффективность бурения во многом зависит от правильного выбора формы режущей части и конструктивных элементов коронки.

К буровой коронке предъявляются следующие требования:

1) коронка должна обладать значительной динамической прочностью и износоустойчивостью; 2) конструкция коронки должна способствовать поступлению отработанного воздуха или промывочной воды на забой скважины для удаления буровой мелочи; 3) отношение массы поршня с бойком к массе коронки должно быть около единицы, потому что такое соотношение масс обеспечит наибольшую эффективность удара; снижение веса коронки возможно за счет уменьшения размера хвостовика и образования канала в теле коронки; 4) форма коронки должна быть простой для изготовления, удобной при эксплуатации, заточке после затупления лезвий.

Коронки изготавливаются из качественной стали. В головке коронки фрезеруются пазы, в которые запаиваются пластинки твердого сплава. На рудниках применяются коронки нескольких типов.

Коронка с одним сплошным лезвием. Достоинства этой коронки заключаются в простоте изготовления и удобстве заточки лезвия. При определенной силе удара она обеспечивает наибольшее удельное давление на единицу длины лезвия. Но эта форма коронки имеет недостаток — у нее быстро затупляются уголки лезвия, вследствие чего уменьшается диаметр скважины, а также наблюдается переизмельчение породы в центральной части забоя скважины.

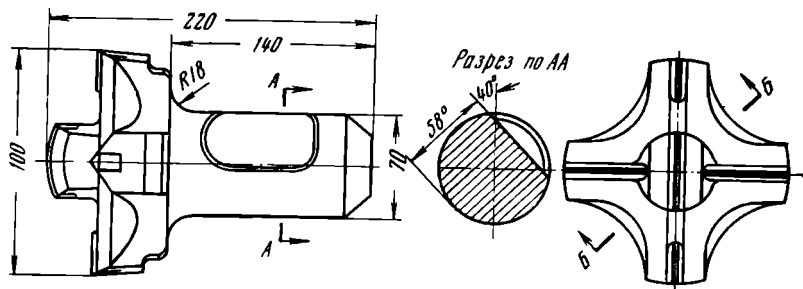
Коронка со смещенными лезвиями лучше разрушает породу за счет меньшего переизмельчения ее в центральной части забоя скважины. Недостаток заключается в быстром износе и затуплении уголков коронки.

Коронка зубильной формы с прерывистым лезвием. Она армирована двумя пластинками твердого сплава. В центре коронки просверлено отверстие для подачи воздуха к забою скважины.

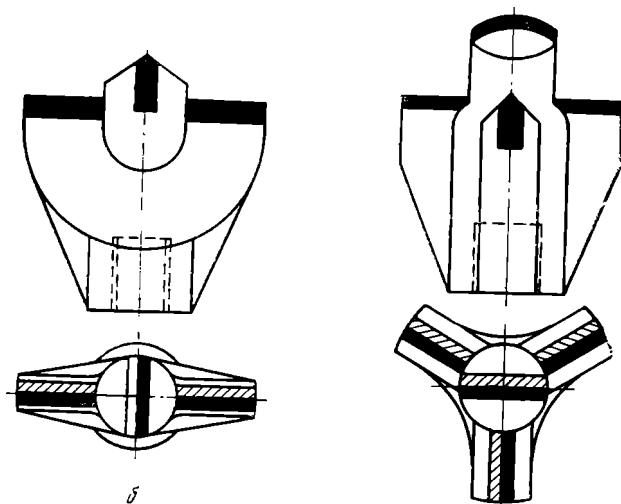
Достоинства и недостатки те же, что и предыдущей коронки.

Коронки крестовой формы. Вес этой коронки увеличивается по сравнению с коронкой зубильной формы. Вследствие увеличения длины лезвий уменьшается удельное давление. Проходка на одну крестовую коронку по сравнению с однолезвийной увеличивается, а скорость бурения снижается. Крестовую коронку целесообразно применять в трещиноватых породах.

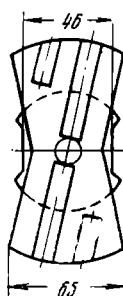
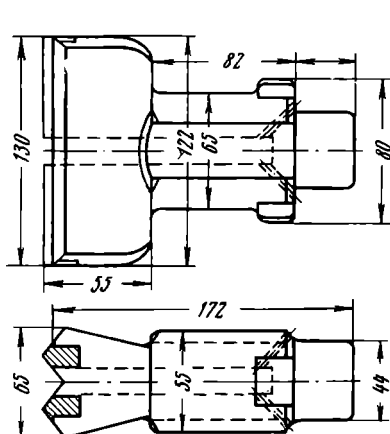
Коронки с опережающим лезвием (рис. 120). У этих коронок пластинки твердого сплава размещены более рационально: в центре коронки на опережающем лезвии вставлена одна пластинка, а на периферии две-три-четыре пластинки. Поперечное



a



b



c

Рис. 120. Буровые коронки для пневмоударников.

a — крестовая коронка с опережающим лезвием; б — коронка с двумя основными и одним опережающим лезвием; в — трехперая коронка с опережающим лезвием; г — коронка с добавочными буровыми лезвиями.

сечение скважины приобретает более правильную форму. Коронка меньше изнашивается по диаметру. Механическая скорость бурения повышается. Опережающее лезвие работает на дробление руды, а основные ступенчатые лезвия работают на скалывание.

Установлено, что применение коронок с опережающим лезвием имеет следующие преимущества: 1) обеспечивает правильное центрирование пневмоударника в скважине и круглую форму ее сечения; 2) облегчает труд бурильщика при забурировании скважины и 3) увеличивает выход крупных частиц буровой мелочи за счет уменьшения силикозоопасной пыли.

При работе буровой коронки с опережающим лезвием периферийные лезвия разрушают породу при наличии двух обнаженных плоскостей, поэтому разрушение породы на забое скважины происходит более крупными кусками, вследствие чего повышается скорость бурения.

Крупным недостатком коронки с опережающим лезвием, значительно удаленным от основных лезвий и не имеющим продувочного отверстия, является то, что между основанием стержня с опережающим лезвием и режущими кромками боковых лезвий происходит вторичное дробление буровой мелочи, которое приводит к увеличению энергозатрат, снижению механической скорости бурения, выходу большого количества мелких фракций шлама и повышенной запыленности атмосферы рабочего места.

Буровые коронки с добавочными лезвиями предназначены для бурения скважин в крепких и весьма крепких породах. Коронка может быть с центральным отверстием и без него. На коронке прострагивается паз на всю длину рабочей части торца и два коротких паза на периферии для дополнительных лезвий. Дополнительные пластинки могут располагаться радиально или параллельно основным пластинкам (рис. 120, з).

Назначение дополнительных лезвий — увеличить стойкость коронки, повысить техническую скорость бурения и уменьшить сужение забоя скважины, избежать прихвата бурового снаряда.

Повышенную стойкость буровой коронки можно достигнуть наличием на станке бурового агрегата эластичной пневматической подачи, а также возможностью регулирования усилия подачи, что необходимо для снижения износа лезвий коронки и для устойчивой работы пневмоударника.

Стойкости буровых коронок, а также качеству твердых сплавов для армирования их всегда следует уделять большее внимание, так как с увеличением проходки скважины за один рейс значительно сокращается время на спуско-подъемные и вспомогательные операции.

Начальный диаметр коронки можно определить по формуле

$$D = d + Lb + \delta \text{ мм}, \quad (68)$$

где D — начальный диаметр коронки в мм; d — диаметр корпуса пневмоударника в мм; L — глубина скважины в м; b — величина

износа коронки по длине лезвия на 1 м скважины в мм (зависит от крепости и абразивности породы); δ — разница между диаметром конечной коронки и диаметром корпуса пневмоударника в мм ($\delta = 4 \div 6$ мм).

При работе коронки центральная часть лезвия изнашивается незначительно. Сильно срабатываются и затупляются уголки коронки, вследствие чего уменьшается длина лезвия, а это вызывает сужение скважины. Сохранение диаметра скважины связано с частой заменой коронок и большим расходом времени на спуско-подъемные операции.

Затупление лезвия коронки вызывает уменьшение скорости бурения и увеличение выхода мелких фракций буровой мелочи. В начале бурения острой коронкой на ее лезвии образуется не площадка, а овальная поверхность. При дальнейшем бурении овальная поверхность постепенно переходит в площадку. Ширина площадки увеличивается по длине лезвия от центра и периферии.

§ 6. ПНЕВМОУДАРНИКИ С НАСАДКОЙ

Пневмоударное бурение осуществляется с передачей осевой нагрузки на вращающуюся коронку. В связи с этим при бурении крепких, абразивных пород наблюдается довольно быстрый износ лезвий коронки, а при бурении трещиноватых пород происходит заклинивание лезвий коронок и выкрашивание пластин твердого сплава. Быстрое затупление и заклинивание коронок сильно увеличивает время на спуско-подъемные операции и осложняет процесс бурения.

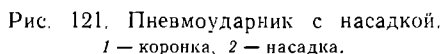
Для устранения изложенных выше недостатков А. В. Кузнецовым разработан пневмоударник с насадкой*, позволяющий преобразовать ударно-вращательное в более эффективное для крепких пород ударное бурение без передачи статического давления на вращающуюся коронку.

Насадка одевается на переднюю, обточенную часть пневмоударника и закрепляется на ней при помощи той же шпонки, которой удерживается и приводится во вращение коронка (рис. 121). При бурении пневмоударником с насадкой все осевое усилие подачи станка и вес штанг снимается с коронки и передается на насадку, упирающуюся в забой скважины. Коронка при этом после каждого удара свободно отскакивает от забоя, так как между буртом коронки и торцом пневмоударника имеется некоторый зазор. Благодаря этому повышается износостойкость коронки в крепких и абразивных породах и исключается ее заклинивание в трещиноватых породах. Пневмоударник с насадкой позволяет вести бурение с высокими и стабильными рабочими параметрами. При этом существенно повышается к.п.д. удара по коронке. Благодаря возможности изменения усилия подачи в широком диапазоне упро-

* Авторское свидетельство № 128822. Бюлл. изобретений, 1960 г., № 11.

В плотных породах, средней крепости, производительность бурения увеличилась в $1,4 \div 1,9$ раза. В породах же более крепких, например на Белоусовском и Кочкарском рудниках, она увеличилась в $4,5 \div 7,0$ раза по сравнению с производительностью, полученной при бурении пневмоударниками без насадок. Износостойкость коронок с насадками на Белоусовском руднике повысилась в 5,3 раза. Поэтому при бурении в крепких, абразивных породах целесообразно широко использовать пневмоударники с насадкой.

В зарубежной практике отбойка руды взрывными скважинами производится в значительных масштабах. Скважины в основном бурят буровыми станками с пневмоударниками.



Буровой агрегат фирмы «Стенуик»

Бельгийская фирма «Стенуик» изготавливает буровой агрегат, предназначенный для бурения скважин диаметром от 65 до 160 мм, глубиной до 50 м и более. Общий вид бурового агрегата и набор пневмоударников показаны на рис. 122.

Станок имеет следующие узлы: вращатель, мачту, ходовое устройство на колесном ходу, буровые штанги, пневмоударник с коронкой. Вращатель перемещается вверх и вниз по направляющим мачтам.

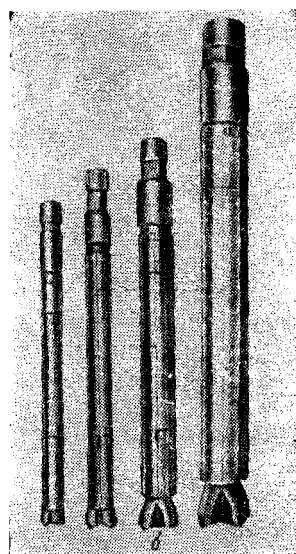
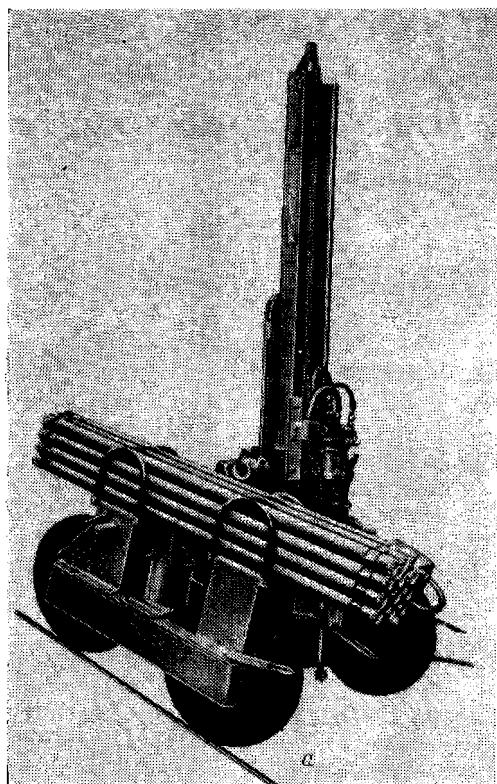


Рис. 122. Буровой агрегат фирмы «Стенуик а» и набор пневмоударников к нему б

Техническая характеристика бурового агрегата

Глубина бурения, м	до 50
Диаметр пневмоударников, мм	59, 73, 93, 140
Диаметр коронок, мм	65, 80, 100, 160
Расход воздуха м ³ /мин	1,7; 2,6; 3,0; 5,0
Ход подачи, мм	3330
Высота станка, м:	
с поднятой мачтой	4,8—5,3
с опущенной мачтой	1,2
Ширина станка, м	2
Вес агрегата, кг	около 1000

Буровой снаряд состоит из коронки, пневмоударника и колонны штанг. Коронки крестовой формы, армированы пластинками твердого сплава. Штанги соединяются муфтами.

Станок позволяет бурить скважины с зенитным углом до 20° .

Скорость бурения достигала: в крепких известняках 4—4,5 м/ч, в порфиритах — 2,5—3 м/ч. Средняя проходка на одну коронку, армированную твердым сплавом, в порфиритах составила 80—87 м. Коронка затачивалась через каждые 9—11 м проходки скважины.

Буровая мелочь из скважины выносится струей отработанного воздуха. Пылеулавливающих или пылесмачивающих приспособлений не применялось. Это существенный недостаток.

Нагрузка на коронку зависит от веса бурового снаряда. При большой глубине и значительном весе бурового снаряда для уменьшения нагрузки на коронку предусмотрен противовес.

Достоинства бурового агрегата заключаются в простоте конструкции и удобстве обслуживания. Каждую машину обслуживает один буровой мастер. Один вспомогательный рабочий обслуживает два буровых агрегата.

На руднике «Биргес» четыре станка ударно-канатного бурения были заменены одним буровым агрегатом с пневмоударником, который обеспечивал работу обогатительной фабрики.

Буровой агрегат «Дриллмастер» и другие

Буровой агрегат «Дриллмастер» изготавливается американской фирмой «Ингерсолв Ранд». Он предназначен для бурения вертикальных скважин диаметром 108, 152 и 158 мм, глубиной 40 м, на открытых работах, в породах различной крепости.

Основные узлы агрегата: ходовое устройство на колесном ходу или гусеницах, мачта, компрессор, дизельный двигатель, пылеулавливающее устройство, пневматическая лебедка, пневмоударник с коронкой, буровые штанги.

Буровой агрегат имеет реверсивный пневматический двигатель поршневого типа. Компрессор производительностью 17 м³/мин обеспечивает подачу сжатого воздуха для бурения и удаления из скважины буровой мелочи.

На неровной площадке уступа установка бурового агрегата производится с помощью гидравлических установочных домкратов. Эти домкраты устанавливаются под рамой станка во время его работы.

Основной механизм управления смонтирован в кабине, а вспомогательный механизм управления снаружи. При подъеме буровых штанг пневматическим подъемным механизмом можно управлять из кабины.

Агрегат снабжен прикрепленным к переднему концу рамы гидравлическим ключом для свинчивания и развинчивания буро-

вых штанг и замены коронок. Масленка емкостью 13,6 л обеспечивает принудительную смазку трущихся частей механизмов в течение нескольких часов.

Буровой агрегат «Дриллмастер» приспособлен для бурения пород тремя способами:

1) погружным пневмоударником, приводимым во вращение пневматическим двигателем; в породах крепких и весьма крепких применяется коронка крестовой формы диаметром 152 мм, армированная пластинками твердого сплава;

2) трехшарошечным долотом диаметром 158 мм, вращаемым пневматическим двигателем;

3) при небольшой глубине скважины бурение производится перфоратором с коронкой крестовой формы диаметром 106 мм; буровая коронка армирована пластинками твердого сплава.

Вес бурового агрегата «Дриллмастер» 14,5 т.

Скорость бурения агрегатом «Дриллмастер» составила, м/ч: по диоритам 3,3—4; по гранитам 6—6,6; по крепким известнякам 6,6—7,5; по известнякам средней крепости 16,5—17,5.

Буровые агрегаты с пневмоударниками находят применение и в других зарубежных странах, в частности на рудниках Западной Германии, где получены положительные показатели по скорости и производительности.

Немецкие буровые машины Н-60 (Зальц-Гиттер), Н-63,5 (Альфред Вирт) и ОК-9 (Гаусгерр) позволяют проходить скважины диаметром 75, 95, 115 и 140 мм, глубиной от 15 до 100 м.

Эти буровые машины работают от электродвигателя, дизеля или пневматического двигателя. Удаление буровой мелочи из скважины производится непрерывной струей подаваемого сжатого воздуха.

Скорость бурения в известняках средней крепости, при диаметре коронки 95—75 мм, составляет от 5 до 8 м/ч. Вес буровых машин достигает 3 т.

§ 8. РЕЖИМЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ПНЕВМОУДАРНОГО БУРЕНИЯ

Техническая скорость бурения и производительность станка являются главнейшими показателями буровой машины и зависят от следующих факторов: конструкции бурового станка, физико-механических свойств породы, конструкции коронки и общей длины лезвий ее, степени притупления лезвий коронки, энергии единичного удара, числа оборотов бурового снаряда в минуту, угла поворота за один удар, нагрузки на коронку, направления скважины и очистки ее от буровой мелочи.

Влияние давления сжатого воздуха на скорость бурения

На основании исследований и данных практики можно сделать вывод, что эффективное бурение пневмоударником получается при давлении сжатого воздуха не менее 5,5 кг/см².

В процессе эффективного бурения забой скважины представляет шероховатую поверхность с выступами (гребешками) и углублениями. В момент удара коронки по забою порода разрушается и на этом месте образуется углубление. Глубина внедрения лезвия коронки значительно меньше, чем глубина разрушения породы, вызванная ударом. При бурении пневмоударником поворот коронки после каждого удара составляет угол, равный 3—5°; поэтому процесс бурения протекает с преобладанием скалывающих напряжений в породе над напряжениями смятия.

Влияние числа оборотов бурового снаряда на скорость бурения

На основании проведенных опытов и данных практики можно сделать вывод, что бурение пневмоударником в крепких и весьма крепких породах проходит наиболее эффективно при сравнительно малой скорости вращения. Чем выше давление сжатого воздуха, тем мощнее и чаще боек наносит удары и тем быстрее должен вращаться буровой снаряд.

Число оборотов должно снижаться с увеличением крепости пород и с увеличением диаметра скважины и, наоборот, увеличиваться с уменьшением крепости пород и диаметра скважины.

Вращение бурового снаряда следует также увязывать с числом ударов бойка пневмоударника. Привод вращателя желательно сделать от двигателя, число оборотов которого можно плавно регулировать (пневмодвигателя или гидродвигателя).

Направление скважин и влияние угла наклона на эффективность бурения

При бурении пневмоударником скважины могут иметь направление: горизонтальное, с восстанием, наклонное, вертикальное вверх и вертикальное вниз. Углы наклона скважин к горизонту измеряют угломером — транспортиром с отвесом.

Иногда при бурении пневмоударником наблюдаются случаи отклонения скважины от заданного направления. При бурении искривленной скважины возникают изгибающие моменты в колонне штанг, вследствие чего увеличивается трение штанг о стенки скважины. Это вызывает значительное увеличение нагрузки на двигатель вращателя.

При бурении коронками большого диаметра со штангами малого диаметра (42 и 50 мм) во избежание прогиба колонны штанг целесообразно пользоваться направляющими «фонарями».

При бурении вертикальных скважин боковые поверхности пневмоударника истираются меньше, чем при бурении горизонтальных и восстающих скважин.

Очистка скважины от буровой мелочи

Очистка скважины от буровой мелочи оказывает существенное влияние на скорость бурения и производительность пневмоудар-

ника, особенно при бурении глубоких скважин. Своевременное и полное удаление разрушенных частиц породы имеет важное значение, особенно при бурении скважин, направленных вниз.

На удаление буровой мелочи из забоя скважины оказывают влияние следующие факторы: 1) направление скважины; 2) диаметр штанг; 3) глубина скважины и 4) давление сжатого воздуха.

Применяют два варианта очистки вертикальной скважины от буровой мелочи.

Первый вариант — диаметр штанги равен диаметру корпуса пневмоударника. В этом случае буровая мелочь выносится до устья скважины воздушным потоком отработанного воздуха.

Второй вариант — диаметр штанг меньше диаметра корпуса пневмоударника. Крупная буровая мелочь улавливается в шламовую трубу, закрепленную на пневмоударнике.

Преимущество первого варианта заключается в непрерывном удалении буровой мелочи в процессе бурения. Преимущество второго варианта состоит в том, что значительно уменьшается общий вес штанг (диаметр штанг 50 мм вместо 89 мм).

Недостаток второго варианта заключается в необходимости подъема бурового снаряда для очистки шламовой трубы от буровой мелочи.

При бурении восстающих и вертикальных скважин, направленных вверх, применять штанги равного диаметра с корпусом пневмоударника не обязательно. При таком направлении скважин буровая мелочь удаляется за счет скорости движения отработанного воздуха и собственного веса частиц.

При бурении горизонтальных и наклонных скважин удовлетворительный вынос буровой мелочи к устью скважины обеспечивается при штангах большего диаметра (равного или близкого к диаметру корпуса пневмоударника).

При штангах равного сечения с корпусом пневмоударника скорость движения воздуха велика (~ 20 м/сек), что дает возможность проходить вертикальные скважины, направленные вниз, без применения шламовых труб.

Технические мероприятия по борьбе с пылью

Сущность технических мероприятий заключается в том, чтобы своевременно удалить или подавить образовавшуюся при бурении пыль, не дав ей возможности попасть в дыхательные органы человека.

Во время забуривания образуется много пыли, которая не улавливается, и рудничный воздух в камере сильно загрязняется.

Решения подавления пыли при забуривании скважин еще не найдено, и пылеобразование остается еще очень высоким.

Борьба с пылеобразованием при пневмоударном бурении может вестись по четырем направлениям: 1) применением пылеулавливающих установок для каждой скважины; 2) применением

воздушно-водяной смеси; 3) подачи воды на забой скважины и 4) централизованным отсосом пыли от нескольких скважин с последующим улавливанием в общей установке.

В настоящее время производятся поиски наиболее совершенной конструкции пылеприемника и пылеуловителя. Пока не решен этот вопрос, следует пользоваться лучшими имеющимися приспособлениями по улавливанию пыли в сочетании с усиленным проветриванием забойных и камерных выработок.

Влияние диаметра скважины на эффективность бурения

Наиболее рациональный диаметр скважин для разведочных работ определяется выходом керна, а для взрывных работ определяется с учетом выхода оптимальной кусковатости руды. Уменьшать диаметр скважины для увеличения производительности станка (в *м* скважины) не следует. С увеличением диаметра скважины производительность станка уменьшается, но в меньшей мере, чем увеличивается объем взрываваемой на 1 *м* скважины руды.

Выбор оптимального диаметра взрывных скважин надо увязывать с сеткой расположения скважин, мощностью взрывчатых веществ, кусковатостью руды, пылеобразованием и себестоимостью 1 *т* руды по буровзрывным работам.

Влияние глубины скважины на эффективность бурения

Глубина скважины, проходимой буровыми машинами с пневмоударниками, для массовой отбойки руды при подземных разработках составляет 25—35 *м*, реже 40—50 *м* и в отдельных случаях достигает 80 *м*.

Штанги наращиваются по мере проходки скважины и их длина на работу ударного механизма влияния не оказывает. На глубину скважины и скорость бурения может оказать влияние величина трения колонны штанг о стенки скважины, особенно при наличии искривления.

Искривление скважин вызывает увеличение мощности двигателя для преодоления изгибающих моментов в колонне штанг.

С погружением пневмоударника в скважину уменьшается, а затем прекращается шум его работы, вследствие чего создаются благоприятные условия для бурильщиков, а это дает возможность одной бригаде работать на нескольких буровых машинах (агрегатах) в одной камере.

Регулирование нагрузки на коронку

На основании исследований и данных практики установлено, что при бурении пневмоударниками необходимо прижимать коронку к забою скважины с определенной силой, зависящей в основном от диаметра коронки. При диаметре коронки 140 *мм* нагрузка на коронку *Q* должна быть в пределах 130—140 *кГ*, а при диаметре 130 *мм* $Q = 110 \div 120$ *кГ*.

Вес бурового снаряда

$$P = G + qL \text{ кг}, \quad (69)$$

где G — вес пневмоударника с коронкой в кг; q — вес 1 м штанг в кг; L — длина колонны штанг в м.

При движении бурового снаряда по стенке скважины возникает сила трения F_1 (123, а, б):

$$F_1 = f_t p_n = f_t p \cos \alpha \text{ кг}, \quad (70)$$

где p_n — сила нормального давления в кг; α — угол наклона скважины к горизонту, град; f_t — коэффициент трения стали по породе (принимается по таблицам справочников).

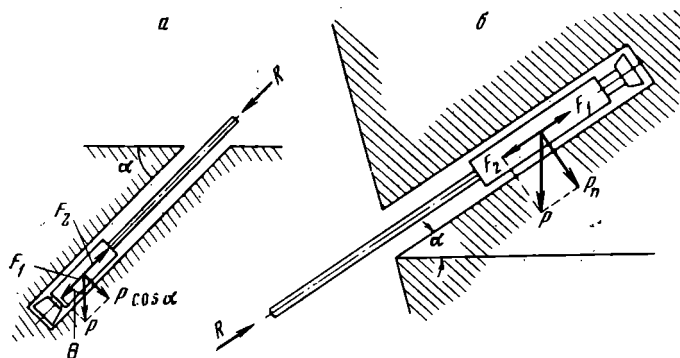


Рис. 123. Схема движения бурового снаряда в скважине и силы, возникающие при этом.

а — при бурении нисходящих скважин; б — при бурении восходящих скважин.

При подаче бурового снаряда к забою, когда коронка еще не прижата к нему, нагрузка податчика станка будет:

$$F = f_t p \cos \alpha \pm p \sin \alpha \text{ кг}. \quad (71)$$

Когда скважина направлена вверх, принимается знак плюс, вниз — знак минус.

Усилие, развиваемое податчиком (регулятором подачи) будет:

а) при бурении восходящих скважин

$$R = Q + p \sin \alpha + f_t p \cos \alpha \text{ кг}; \quad (72)$$

б) при бурении нисходящих скважин

$$R = Q - p \sin \alpha + f_t p \cos \alpha \text{ кг}. \quad (73)$$

Если осевая нагрузка будет превышать величину R , то лезвия коронки с излишней силой прижмутся к забою скважины и процесс бурения нарушится.

В буровых агрегатах НКР-100М, АБ-2, ЛПС-3, БМН-5, УСБР и других осевая нагрузка осуществляется пневматическими податчиками.

В зависимости от величины осевой нагрузки скорость бурения может изменяться в больших пределах (20—40%).

При применении пневмоударников с насадкой не требуется точного регулирования осевой нагрузки, ибо коронка не прижимается к забою.

§ 9. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПНЕВМОУДАРНОГО БУРЕНИЯ

Достоинства способа бурения скважин пневмоударниками.

1. Удар по коронке и поворот пневмоударника с коронкой на заданный угол выполняются механизмами, действующими независимо один от другого.

2. Сила удара поршня с бойком по коронке сохраняет свое почти постоянное значение при бурении на любой глубине, так как соотношение соударяющихся масс остается практически постоянным, поэтому не наблюдается резкого снижения скорости бурения с увеличением глубины скважины.

3. Имеется возможность регулировать угол поворота коронки, изменяя число оборотов, в зависимости от диаметра скважины и крепости породы.

4. Бурение пневмоударником после погружения его в скважину ведется бесшумно, благодаря чему значительно улучшаются условия труда.

5. Размер частиц буровой мелочи получается значительной крупности, что свидетельствует об интенсивном разрушении породы на забое скважины и меньшем количестве силикозоопасной пыли.

6. Буровой мастер с помощником могут обслуживать две буровые машины с пневмоударниками.

7. Станок имеет удобное управление, облегчающее труд бурового мастера. Перемещение станка по колонке вверх и вниз осуществляется лебедкой и не требует больших физических усилий.

8. Пневматический механизм подачи прост по конструкции, дает возможность в широких пределах регулировать усилие подачи и быстро обеспечивает перемещение шпинделя в исходное положение.

9. Применение воздушно-водяной смеси:

а) создает благоприятные условия для смачивания буровой мелочи и снижения запыленности воздуха до санитарной нормы;

б) позволяет значительно упростить конструкцию пневмоударника, буровых штанг и сальниковой муфты.

10. Наличие пневматической подачи:

а) создает благоприятные условия для работы лезвий пластинок твердого сплава, которыми армирована коронка;

б) позволяет плавно регулировать в широких пределах усилие подачи на забой скважины и автоматически менять скорость подачи, в зависимости от крепости буримых пород;

в) позволяет механизировать спуско-подъемные операции при бурении скважин.

11. Возможно бурение скважин в любом направлении, по породам любой крепости.

Недостатки, выявленные при работе пневмоударников.

1. При бурении скважин в крепких и весьма крепких породах приходится часто заменять затупленные коронки, поэтому на свинчивание и развинчивание штанг при спуско-подъемных операциях затрачивается много времени.

2. При сухом способе бурения в период забуривания скважины образуется пыль.

3. При бурении горизонтальных и восстающих скважин, с небольшим углом подъема, штангами малого диаметра (42 и 50 мм) иногда происходит искривление ствола скважины, вследствие чего ухудшается процесс бурения.

4. При бурении горизонтальных и наклонных вниз скважин наблюдается зашламовывание скважин вследствие уменьшения скорости движения отработанного воздуха из-за разности диаметров пневмоударника (112 или 120 мм) и штанг (42 или 50 мм). Поэтому крупные частицы не транспортируются по скважине, а накапливаются в ней и затрудняют выемку бурового снаряда из скважины.

5. При бурении восстающих и вертикальных вверх скважин с углом от 35 до 90° резко увеличиваются затраты времени на спуско-подъемные операции.

6. Пневмоударники работают в тяжелых условиях (в запыленной или зашламованной среде), и детали их испытывают очень высокие напряжения, что приводит к быстрому износу их. Это требует своевременного обеспечения пневмоударников запасными частями.

§ 10. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БУРОВЫХ МАШИН С ПНЕВМОУДАРНИКАМИ

На основании опытных данных и производственных показателей по бурению скважин в породах средней крепости, крепких и весьма крепких можно сделать следующие выводы:

1. Бурение станками с пневмоударниками, работающими в скважине, является эффективным и экономичным способом бурения взрывных скважин.

2. Буровой агрегат с пневмоударником является универсальной буровой установкой, так как бурение скважин возможно в любом направлении: горизонтальном, наклонном, с восстанием, вертикально вверх и вертикально вниз.

3. Применение буровых станков с пневмоударниками возможно и целесообразно не только при бурении взрывных скважин для отбойки руды, но и при проведении горно-капитальных, горно-подготовительных и нарезных выработок, а также для разведки и поисков слепых рудных тел, опробования месторождения и вмещающих пород лежащего и всякого боков.

4. Буровые станки с пневмоударниками, смонтированные на гусеничном ходу, тележке или на салазках, можно успешно применять в небольших карьерах, заменив громоздкие дорогостоящие станки ударно-канатного бурения.

5. Промышленное освоение способа бурения скважин станками с пневмоударниками в крепких рудах открыло пути дальнейшего усовершенствования системы с массовой отбойкой руды (например, вариант системы разработки с принудительным этажным обрушением без верхней подсечки).

6. Имеются большие возможности по повышению эффективности бурения скважин пневмоударниками за счет усовершенствования конструкции станков и пневмоударников, а также технических и организационных мероприятий.

7. Наличие высокопроизводительной буровой машины (агрегата) НКР-100М с пневмоударниками М-1900 и П-1-75 будет благоприятствовать распространению и внедрению высокоэффективных систем разработки с принудительным обрушением руды взрывными скважинами, а также внедрению разведочного бурения в подземных условиях.

8. Дальнейшее совершенствование буровых машин (агрегатов, станков, установок) и пневмоударников должно осуществляться за счет:

а) широкой механизации и автоматизации основных и вспомогательных процессов при бурении скважин;

б) улучшения конструктивных и эксплуатационных качеств пневмоударников;

в) повышения прочности и износостойкости буровых коронок и пластинок (резцов) твердого сплава;

г) внедрения высокопрочных легированных буровых сталей.

9. Повышение работоспособности и стойкости буровых коронок возможно за счет:

а) применения вспомогательных лезвий на периферийной части коронки;

б) наличия опережающего лезвия, создающего благоприятные условия для работы основных лезвий.

10. При бурении разведочных скважин колонковым снарядами необходимо совершенствовать конструкции пневмоударников и создать надежный в работе кернорватель.

11. Приведенные выше данные показывают, что широкое внедрение в определенных условиях буровых агрегатов (установок) с погружными пневмоударниками в разведочном бурении позволит значительно повысить производительность и темпы буровых работ. Лучшие технико-экономические показатели пневмоударный способ может дать при бурении в породах VII—X категорий в районах, где затруднено водоснабжение буровых работ (безводные высокогорные участки), а также в районах с многолетнемерзлыми породами и в породах с полным или частичным поглощением промывочной жидкости.

БУРЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Глава I

БУРЕНИЕ СТВОЛОВ ШАХТ

§ 1. КОЛОНКОВОЕ БУРЕНИЕ СТВОЛОВ ШАХТ

Бурение стволов шахт является прогрессивным и технически наиболее совершенным способом производства горно-проходческих работ. Бурение позволяет комплексно механизировать все процессы по проведению стволов шахт и максимально их автоматизировать, благодаря чему создаются реальные условия для повышения производительности труда и скорости проведения стволов. Способ бурения исключает тяжелый и опасный подземный труд проходчиков.

Двигатель буровой установки размещается на поверхности земли (агрегаты УКБ) или в призабойной части ствола шахты (погружные агрегаты типа ТМ).

Буровая установка УКБ-3,6

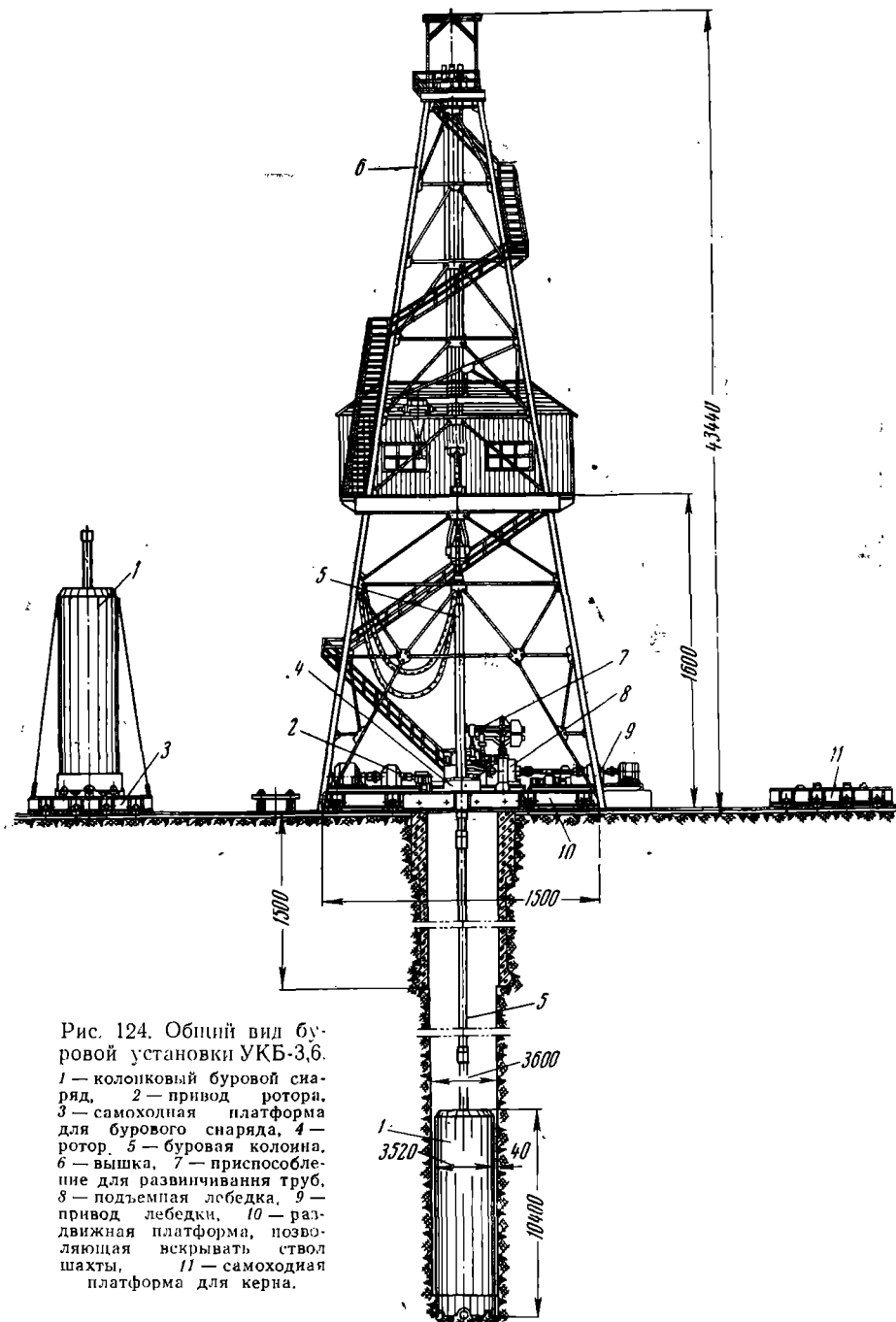
Установка колонкового бурения УКБ-3,6, конструкции ЦНИИПодземшахтострой, предназначена для бурения вертикальных стволов шахт диаметром 3,6 м в черне, глубиной до 500 м, в мягких и средней крепости породах.

Буровая установка УКБ-3,6 показана на рис. 124.

Техническая характеристика буровой установки дана в табл. 34.

Буровая установка УКБ-3,6 механизмирует все основные проходческие процессы и освобождает человека от работы в стволе при его проходке. Управление всеми механизмами расположено на поверхности.

В породах средней крепости и крепких бурение ствола производится колонковым способом с разрушением 25—30% объема породы по контуру ствола и извлечением на поверхности остальной части породы в виде кернов.



Техническая характеристика колонковых буровых установок для бурения шахт

Показатели	УКБ-3,6, УКБ-3,6Р	УКБ-5	ТМ-2,3	ТМ-6,5
Глубина бурения, м	300—500	500	400	500
Диаметр ствола, м:				
в черне	3,6	6,5; 5,4	2,3	6,5
в свету	3,2	5,5; 5,0	2,0	5,5—6,0
Разбуриваемая площадь кольца, %	25—30	21	25	32+15
Диаметр керна, м	3,04—3,10	4,9	2,03	5,0
Высота керна, м	4,95—5,3	6,5	3,0	6,0
Вес керна, т	до 100	до 315	до 25	до 300
Наибольший крутящий момент на роторе, Т. м	20	20	—	—
Скорость вращения ротора, об/мин	10—35; 10—60	13—28	6,5	—
Грузоподъемность талевой системы, Т	250	600	—	—
Установленная мощность электродвигателей, квт	1500	2000	300	970
Одновременно потребляемая мощность, квт	600—750	1100	240	до 900
Общий вес установки, т	640—1000	1000	90	600

Бурение кольцевым забоем позволяет создавать относительно высокие нагрузки на породоразрушающий инструмент, что обеспечивает достаточно высокую механическую скорость бурения, уменьшает расход рабочего инструмента и снижает затрату энергии по сравнению с бурением сплошным забоем.

Породоразрушающим инструментом является колонковый буровой снаряд (рис. 125), оснащенный шарошками и устройством для срыва керна.

Буровой снаряд представляет собой полый стальной цилиндр высотой 12 м с крышкой в верхней части. К нижней части цилиндра приварено стальное кольцо с двенадцатью проходными шарошками и рычагами для подрезки керна. При работе проходных шарошек разрушается порода по контуру ствола, образуя вертикальное кольцевое пространство глубиной, равной высоте керна (5—5,3 м).

Обуренный керн подрезается шарошками, смонтированными на подрезных рычагах, которые поворачиваются в горизонтальной плоскости (рис. 126). Поворот рычагов производится вертикальными валами, расположенными в стенке цилиндра, с помощью гидравлических домкратов, установленных на крышке бурового снаряда. В породах средней крепости и ниже применяется канатно-резцовая подрезка керна.

Для бурения сплошным забоем по мягким породам внутри нижней части бурового снаряда устанавливается специальная приставка, оснащенная шарошками (рис. 127). Необходимая на-

грузка на породоразрушающий механизм создается весом снаряда. Вынос буровой мелочи с забоя ствола осуществляется промывочным раствором, который откачивается с забоя внутри буровой колонны на поверхность с помощью эрлифта. Очищенный от породной мелочи раствор самотеком поступает в ствол.

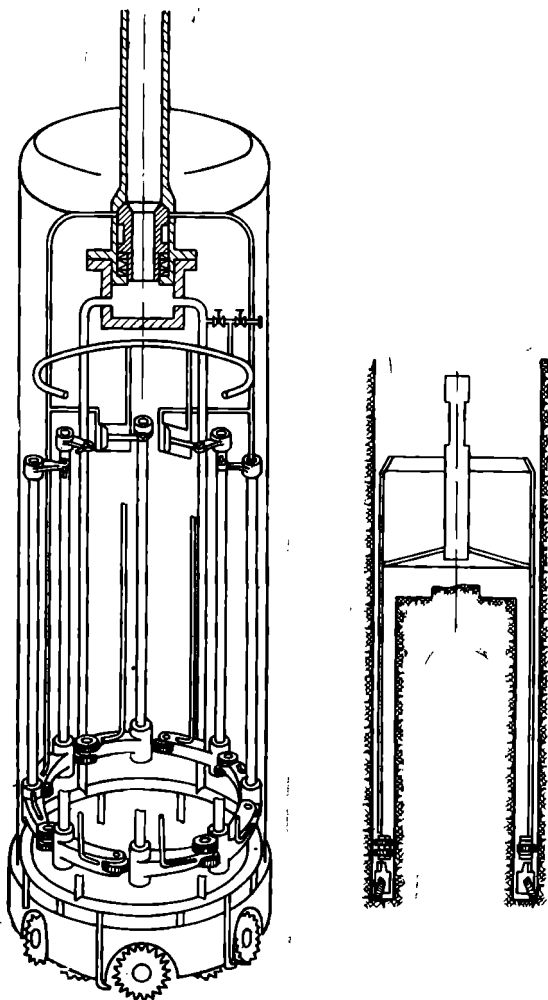


Рис. 125. Схема колонкового снаряда в процессе бурения ствола шахты.

Колонковый буровой снаряд подвешивается в стволе к буровой колонне, состоящей из вертлюга, квадратной штанги и буровых труб диаметром 325 мм. Спуск и подъем бурового снаряда производится буровой лебедкой через талевую систему. Бурильные

трубы к устью ствола с постаментов подаются при помощи тельфера и поворотной консоли.

Вращение бурового снаряда осуществляется ротором, который установлен на платформе, перекрывающей ствол шахты в процес-

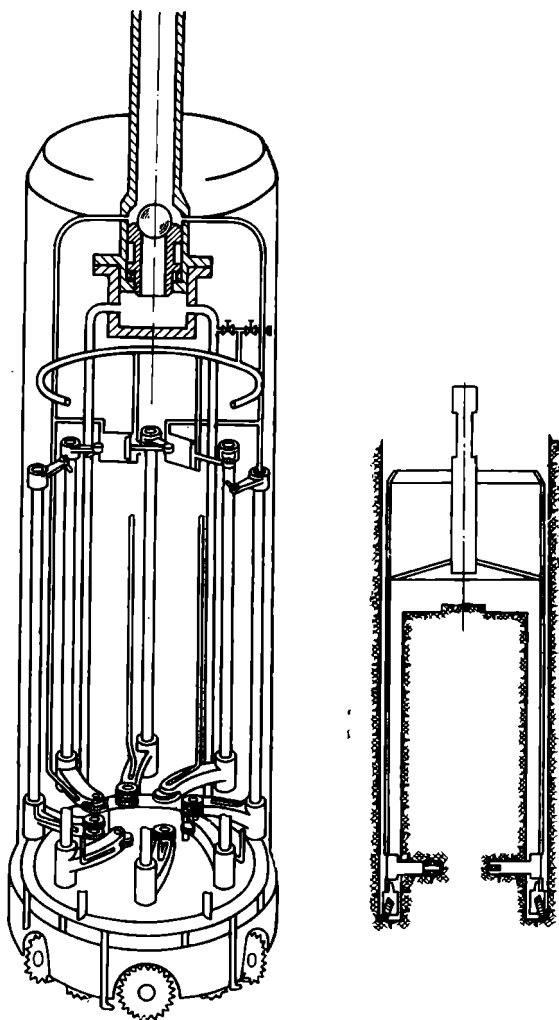


Рис. 126. Схема колонкового снаряда в процессе подрезки керна.

се бурения. Свинчивание и развинчивание труб буровой колонны производится ротором. Керна, поднятый буровым снарядом на поверхность, отвозится на специальной платформе в отвал, где

его сбрасывают при помощи телескопических гидравлических домкратов, установленных на платформе.

Буровая установка снабжена комплектом ловильного инструмента для ликвидации аварий при поломке буровой колонны.

Приводы всех узлов оборудования буровой установки УКБ-3,6 индивидуальные, электрические.

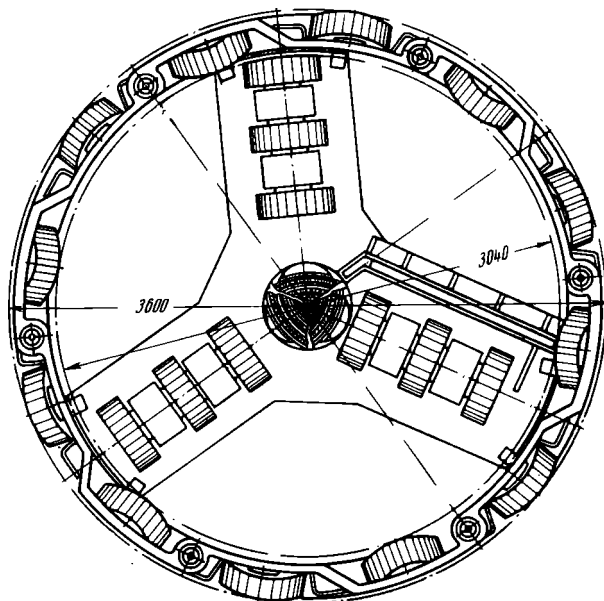


Рис. 127. Приставка к колонковому снаряду для бурения по мягким породам.

Средние данные механической скорости бурения кольцевого пространства и подрезки керна для различных пород: песчаник, *м/ч*; бурение 0,61; подрезка 0,21; песчанистые сланцы, *м/ч*; бурение 0,76; подрезка 0,25; глинистые сланцы, *м/ч*; бурение 0,81; подрезка 0,30; известняки, *м/ч*; бурение 0,37.

Нормальными режимами при бурении в песчаниках и песчанистых сланцах следует считать: нагрузку бурового снаряда на кольцевой забой 30—36 *Т*, скорость вращения бурильной колонны 26—28 *об/мин*. При этих режимах бурения можно получить механическую скорость бурения: по песчаникам 0,8—0,9 *м/ч* и по песчанистым сланцам 1,0—1,1 *м/ч*.

В глинистых сланцах бурение следует вести при нагрузке на кольцевой забой 20—22 *Т* и скорости вращения снаряда 24—26 *об/мин*. Механическая скорость бурения при этих режимах составит 1,0—1,2 *м/ч*.

Наиболее рациональными числами оборотов буровой колонны при подрезке кернов можно считать 25—26 об/мин в начале подрезки с постепенным увеличением к концу подрезки до 32—36 об/мин.

Смазка всех узлов оборудования буровой установки производится от центральной смазочной станции, смонтированной в особом помещении вблизи буровой.

Крепление ствола шахты производится железобетонными кольцами, которые секциями по шесть колец опускаются на буровой колонне с прицепным устройством в ствол шахты. Зазор между стенкой ствола и железобетонными кольцами заполняется цементно-песчаным раствором.

Буровая установка УКБ-5

Конструкция буровой установки УКБ-5 разработана институтом ЦНИИПодземшахтострой для колонкового бурения стволов шахт диаметром в свету 5 м. По конструкции она аналогична установке УКБ-3,6.

В устойчивых и крепких породах бурение осуществляется колонковым буровым снарядом, который имеет диаметр 5,4 м. В нижней части снаряда укреплено 12 проходных шарошек.

Подрезка керна производится шестью подрезными рычагами с шарошками. Рычаги приводятся в действие шестью гидродомкратами. Подрезные шарошки образуют в керне щель глубиной 2,1 м, а шейка керна диаметром 0,7 м отрывается талевой системой.

В слабых, мягких и неустойчивых породах к колонковому буровому снаряду прикрепляется приставка для сплошного разбуривания забоя ствола и приставка с консольными шарошками для расширения ствола шахты до диаметра 6,5 м (чтобы иметь возможность закрепить ствол шахты на этих участках и предотвратить обрушение породы) (см. рис. 127).

Бурильная колонна состоит из труб диаметром 377 мм, длиной по 6,5 и 19,5 м. Внутри буровой трубы помещены две трубы, из них одна диаметром 100 мм служит для подачи сжатого воздуха при работе эрлифта, а по второй трубе диаметром 20 мм подается вода в гидродомкраты для подрезки керна.

Техническая характеристика буровой установки УКБ-5 дана в табл. 34.

Технология бурения установкой УКБ-5 в основном аналогична установке УКБ-3,6.

Промывка забоя ствола шахты от буровой мелочи осуществляется глинистым раствором по обратной схеме.

Крепление ствола шахты производится монолитным бетоном толщиной 30 см по способу подводного бетонирования, со скоростью до 2,5—3 м/ч.

Буровая установка ТМ-2,3

Буровая установка ТМ-2,3 располагается в призабойной части ствола шахты и осуществляет колонковое бурение в породах средней крепости и ниже средней крепости.

Буровая установка ТМ-2,3 (рис. 128) состоит из двух частей: приводной и режущей. Общая высота буровой установки 10,5 м.

В верхней геометрической части корпуса буровой установки размещены редуктор и электродвигатель. В верхней части также расположены: подвесное устройство, стабилизатор, шламоуловитель трубы для всасывания глинистого раствора промывочным насосом.

В нижней части редуктора расположен удлиненный пустотелый вал, который вращает буровой цилиндр снаряда. Цилиндр имеет коронку с резаками для обурирования керна и канаты для его подрезки и поддержания при подъеме.

Колонна труб в установке ТМ-2,3 отсутствует, что значительно упрощает комплекс сооружений на поверхности.

Технология бурения заключается в следующем. Буровую установку весом около 30 т на канатах спускают на забой ствола шахты. Находящийся внутри корпуса установки воздух сжимается и образует ниже редуктора воздушную подушку, которая препятствует проникновению глинистого раствора к редуктору и электродвигателю. Буровая установка раскрепляется в стволе шахты стабилизатором.

Буровой цилиндр при включении электродвигателя вращается и под действием собственного веса врывается в породу и выбуривает кольцевое пространство. Одновременно промывочный насос засасывает глинистый раствор в верхней части установки, подает его в кольцевое пространство, оmyвает забой и выносит разрушенную породу вверх. Крупные частицы породы выпадают в шламоуловитель.

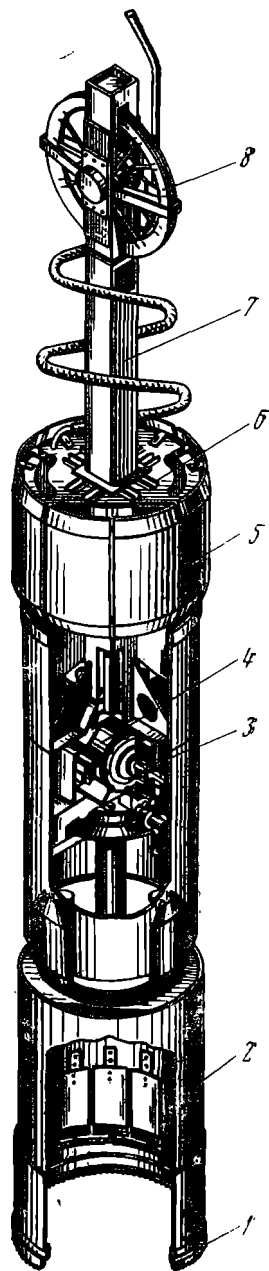


Рис. 128. Буровая установка ТМ-2,3.

1 — коронка с резаками, 2 — колонковый цилиндр, 3 — редуктор, 4 — электродвигатель, 5 — стабилизатор, 6 — диафрагма, 7 — квадратная штанга, 8 — шкив.

После обуривания керна на полную высоту (3/м) двигатель переключают на обратное вращение и в работу вступают подрезные канаты, снабженные резцами.

После окончания бурения ствола шахты на заданную глубину его закрепляют металлической крепью.

Установкой колонкового бурения ТМ-2,3 пройден вентиляционный ствол шахты № 2 «Ново-Гродовка» в Донбассе, диаметром в свету 2 м и глубиной 110 м.

Механическая скорость бурения составила: в плотных глинах 0,8—1,0 м/сутки; в глинистых сланцах 0,6—0,8 м/сутки; в песках и пльвунах 10 м/сутки.

В последние годы разработана конструкция буровой установки ТМ-6,5 для бурения стволов шахт диаметром вчерне 6,5 м на глубину до 500 м в породах средней крепости и крепких.

Буровой установкой ТМ-6,5 возможно колонковое и сплошное бурение. При сплошном бурении предусмотрено бурение передовой скважины диаметром 1,2—1,7 м.

При колонковом бурении отрыв керна производится кумулятивными зарядами взрывчатого вещества.

Проектно-расчетная скорость бурения ствола шахты до 200 м в месяц.

Следует отметить, что область применения буровой установки типа ТМ ограничивается крепостью горных пород и трудностью обеспечения герметической защиты электродвигателя при большой глубине ствола шахты.

Технические характеристики буровых установок ТМ-2,3 и ТМ-6,5 приведены в табл. 34.

§ 2. ПЕРСПЕКТИВЫ КОЛОНКОВОГО СПОСОБА БУРЕНИЯ СТВОЛОВ ШАХТ

Способ колонкового бурения с применением специальной шарошечной приставки позволяет проходить стволы шахт в различных породах: слабых, мягких, средней крепости и выше средней крепости, поэтому его следует считать почти универсальным способом проходки стволов.

Для разведочного дела колонковый способ бурения стволов шахт является весьма перспективным, так как по извлеченному керну можно получить полное представление о всех физико-химических свойствах горных пород и составить точный геологический разрез горных пластов, пересекаемых стволом шахты.

Отмеченные выше факторы и реальная возможность создания и изготовления новых высокопроизводительных буровых установок и снарядов к ним дают основание предполагать, что колонковый способ бурения стволов шахт является перспективным способом.

Недостатками колонкового способа бурения являются: большие размеры и большой вес буровой установки, а также трудности отрыва керна крепких пород. Но учитывая растущие масштабы геологоразведочных работ, стремление к механизации

наиболее трудоемких и опасных работ, можно полагать, что колонковый способ бурения найдет применение при проходке разведочных шахт на крупных месторождениях полезных ископаемых.

§ 3. БУРЕНИЕ СТВОЛОВ ШАХТ СПЛОШНЫМ ЗАБОЕМ

Бурение стволов шахт в мягких породах эффективнее осуществлять сплошным забоем. Для этого применяются установки типа УЗТМ-6,2 и РТБ.

Буровая установка УЗТМ-6,2

Буровая установка УЗТМ-6,2 предназначена для бурения шахт диаметром 6,2 м вчерне, глубиной до 400 м, в породах мягких (в основном) и средней крепости.

Общий вид установки УЗТМ показан на рис. 129.

Сначала проходят направление ствола и закрепляют его бетонной крепью. Над устьем ствола собирается постамент, на котором монтируется буровой агрегат (ротор, лебедка, силовой привод) и металлический буровой копер.

Буровая колонна подвешивается на крюке к талевой системе грузоподъемностью 250 Т.

На копре монтируются два консольно-поворотных крана, предназначенных для выполнения вспомогательных операций при наращивании и разборке (при подъеме) бурильной колонны.

Вращение квадратной штанги и буровой колонны осуществляется ротором с электроприводом, расположенным на постаменте II. Кроме того, в комплект буровой установки входят элеватор, вертлюг, бурильные трубы, породоразрушающий инструмент, передвижные платформы для расширителей, платформа для перекрытия ствола шахты, грязевые насосы и пр.

При проходке ствола шахты буровой установкой УЗТМ-6,2 возможны два варианта.

Первый вариант проходки ствола включает три стадии работ:

- 1-я стадия — проходка передовой скважины диаметром 1,2 м;
- 2-я стадия — расширение ствола шахты до диаметра 3,6 м;
- 3-я стадия — расширение ствола шахты до диаметра 6,2 м.

Второй вариант проходки ствола шахты включает две стадии:

- 1-я стадия — проходка передовой скважины диаметром 1,2 м;
- 2-я стадия — полное расширение ствола шахты до диаметра 6,2 м.

Рабочий механизм бурового снаряда представлен долотами и расширителями.

1. Долота типа «рыбий хвост» диаметром 1,2 м для бурения передовой (пилот) скважины в слабых и мягких породах.

2. Трехшарошечные долота диаметром 1,2 м для бурения пилотскважины в породах средней крепости и в крепких.

3. Шарошечные долота-расширители диаметром 3,6 м с семью шарошками на трех поясах (см. рис. 130).

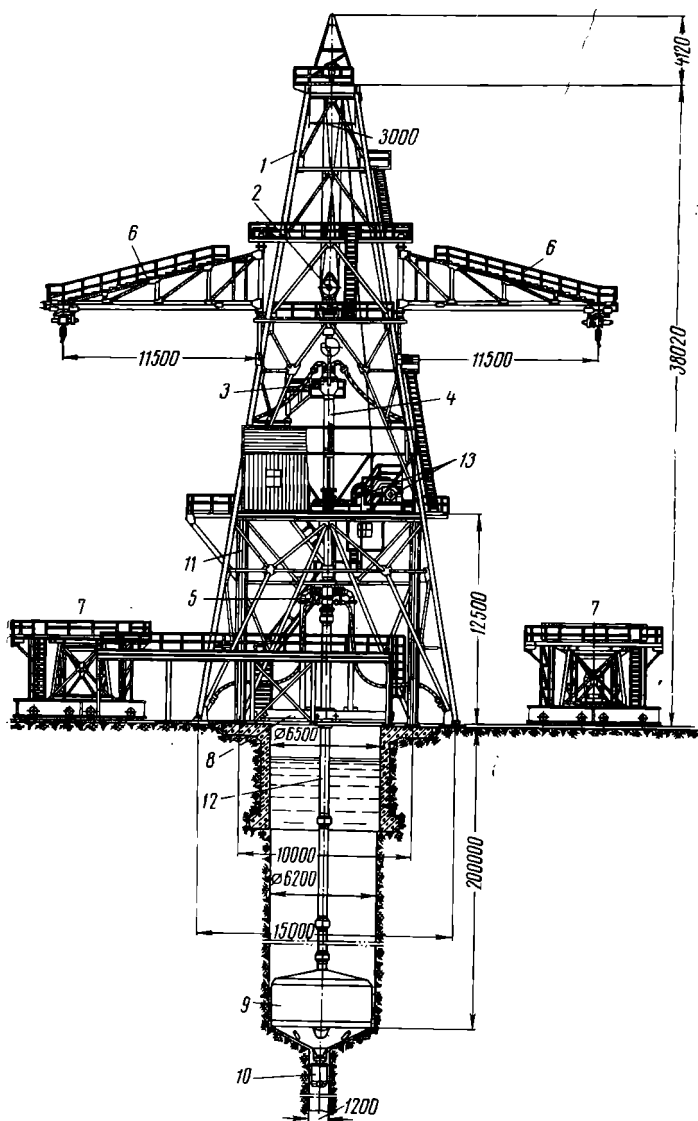


Рис. 129. Буровая установка УЗТМ.

1 — вышка, 2 — талевая система, 3 — вертлюг, 4 — квадратная штанга, 5 — выход пулпы, 6 — консольно-поворотные краны, 7 — передвижные платформы для расширителей диаметром 3,6 и 6,2 м, 8 — платформа для перекрытия ствола шахты, 9 — верхний фонарь расширителя, 10 — нижний направляющий фонарь, 11 — постамент, 12 — буровая колонна, 13 — ротор с лебедкой.

4. Шарошечные долота-расширители диаметром 6,2 м с четырнадцатью шарошками на 6 поясах. Весит это долото-расширитель 32 т.

5. Резцовые долота-расширители.

Расширители имеют два направляющих фанаря. Один фанарь расположен выше расширителя и имеет такой же диаметр. Другой фанарь находится под расширителем, и его диаметр равен долоту передовой скважины или диаметру предыдущего расширителя.

Шарошки вращаются на роликовых подшипниках и защищены от проникновения в них пульпы.

Глинистый раствор нагнетается к забою ствола по колонне бурильных труб (прямая промывка) или чаще поступает по стволу шахты, а откачивается по колонне бурильных труб с помощью эрлифта. Глинистый раствор, совершая непрерывную циркуляцию, выносит буровую мелочь, глинизирует и укрепляет стенки ствола и охлаждает рабочие органы бурового снаряда (рис. 130).

Временная крепь в стволе шахты отсутствует. Постоянная крепь возводится из чугунных, стальных или железобетонных тюбингов по окончании бурения ствола шахты. Первая секция тюбинговой крепи представляет собой цилиндр из четырех-пяти колец с железобетонным дном. Затем тюбинговая крепь собирается по 4—6 колец в каждой секции. Возможно крепление ствола шахты железобетонными цилиндрами высотой по 4—6 м, соединяемыми между

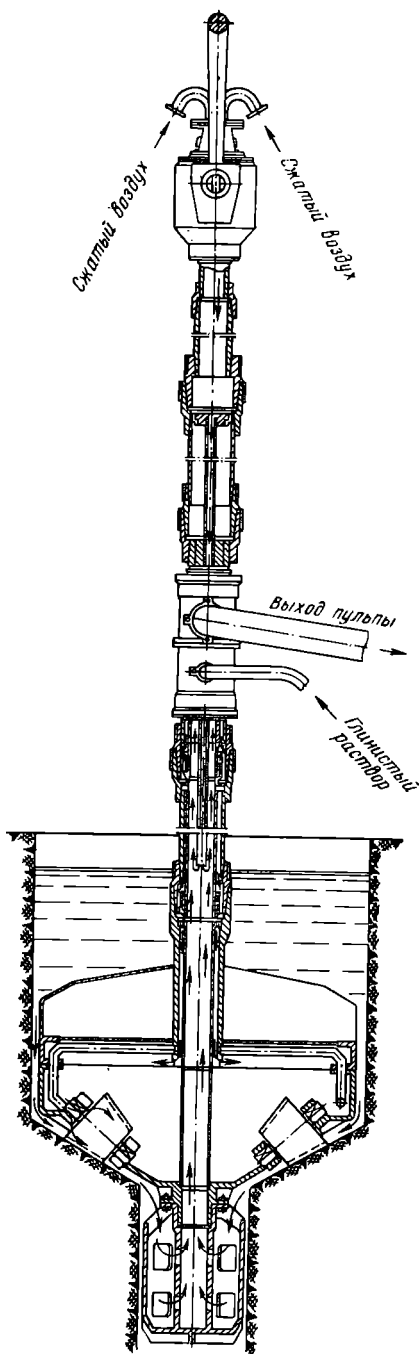


Рис. 130. Схема промывки буровой установки УЗТМ.

собой болтами. Тампонажный цементно-песчаный раствор нагнетается в затрубное пространство по трубам диаметром 125 мм.

Буровая установка УЗТМ-6,2 была успешно применена на бурении четырех стволов шахт Львовско-Волынского бассейна, общей глубиной 1144 м.

Уралмашзавод изготовил уникальную буровую установку УЗТМ-8,75 для бурения вертикальных стволов шахт в сложных горно-геологических условиях диаметром в свету 7,5 м.

Технические характеристики буровых установок УЗТМ-6,2 и УЗТМ-8,75 приведены в табл. 35.

Таблица 35

Техническая характеристика буровых установок УЗТМ-6,2 и УЗТМ-8,75

Показатель	УЗТМ-6,2	УЗТМ-8,75
Диаметр ствола в черне, м	6,2	8,75
Диаметр ствола в свету, м	5,2—5,4	7,5
Диаметр долота, м	1,2	3,0
Диаметры расширителей, м	3,6 и 6,2	5,75; 7,0; 7,5; 8,75
Наибольшая глубина бурения, м	400	800
Установленная мощность электродвигателей, кВт . .	3700	3900
Наибольшая одновременно потребляемая мощность, кВт	1500	1800
Наибольший крутящий момент на столе ротора, Т·м .	20	50
Грузоподъемность талевой системы, Т	250	600
Общий вес оборудования, т	1200	2250

Технико-экономические показатели по бурению четырех стволов шахт Львовско-Волынского бассейна приведены в табл. 35.

Общее время распределилось:

На монтаж, демонтаж и транспорт 7 месяцев	25,5%
На бурение ствола шахты 7,2 месяца	26,2%
На крепление ствола шахты 6 месяцев	21,8%
Простои 3,8 месяца	13,8%

На выполнение отдельных операций затрачивается: на навеску долота 1,5 ч, навеску расширителя диаметром 3,6 м — 1,35 ч и на навеску расширителя диаметром 6,2 м — 1,6 ч; на бурение 1 м ствола расширителем диаметром 3,6 м — 1,3 ч и расширителем диаметром 6,2 м — 2 ч; на сборку и чеканку тубингов 2 ч.

Расход электроэнергии на 1 м³ породы составил 203 квт·ч. Стоимость проходки 1 м ствола шахты по статьям расхода составляет:

зарплата 211 руб.	14%
материалы 170 руб.	11,3%
амортизация буровой установки 550 руб.	36,8%
электроэнергия 198 руб.	13,2%
услуги вспомогательных цехов 93 руб.	6,2%
накладные расходы 278 руб.	18,5%

Все основные и вспомогательные процессы бурения ствола шахты буровой установкой УЗТМ-6,2 полностью механизированы, и проходка ствола шахты осуществляется рабочими и специалистами с поверхности.

Буровые установки РТБ и другие

Буровая установка УРТБ-6,2

Установка реактивно-турбинного бурения предназначена для проходки стволов шахт в породах средней крепости, диаметром вчерне до 6,2 м на глубину 800—1000 м.

Основные узлы установки: буровая вышка, эстакада для бурильных труб, раздвижная платформа над устьем ствола шахты, буровая машина с приводом, талевая система грузоподъемностью 300 Т, эрлифтная установка, буровая колонна.

Буровой забойный агрегат состоит из шести турбобуров.

Принцип работы буровой установки заключается в следующем. Глинистый раствор грязевыми насосами через буровую колонну подается в турбобуры, соединенные траверсой. При работе турбобуров шарошечные долота разбуривают породу. В результате работы долот в турбобурах возникают реактивные моменты, которые вращают бур и буровую колонну, благодаря чему долота разбуривают всю площадь забоя ствола шахты.

Буровая установка РТБ-2,08

Эта установка предназначена для бурения вентиляционных, разведочных и вспомогательных стволов шахт в породах средней крепости, диаметром 2,08 м вчерне, глубиной 250—300 м.

Реактивно-турбинная установка состоит из буровой вышки, буровой лебедки, ротора, талевой системы, вертлюга, бурильных труб, компрессора, грязевых насосов, реактивно-турбинного агрегата (рис. 131).

Реактивно-турбинный агрегат собран из четырех параллельно расположенных турбобуров типа Т12РТ-9", жестко соединенных между собой сверху траверсой, а внизу плитой с четырьмя отверстиями. При помощи переводника 11 траверса соединяется с колонной бурильных труб.

Принцип работы турбобура аналогичен УРТБ-6,2. Отработанный в турбобурах глинистый раствор выносит разбуренную породу из забоя ствола шахты.

При бурении ствола диаметром 2,08 м в работе одновременно находятся три турбобура и три-четыре грязевых насоса для подачи глинистого раствора. Долото среднего турбобура обрабатывает центральную площадь диаметром 1,02 м, а два крайних долота разрушают кольцевую часть забоя ствола.

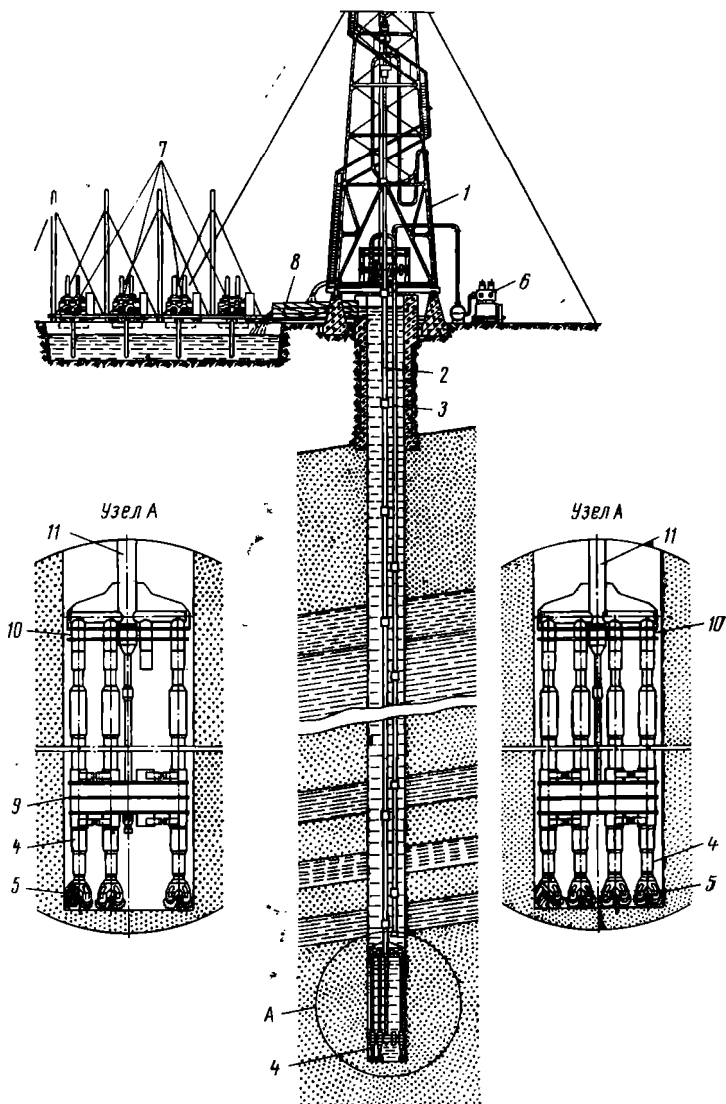


Рис. 131. Буровая установка РТБ-208.

1 — буровая вышка, 2 — буровые трубы, 3 — эрлифтные трубы, 4 — турбобуры, 5 — трехшарошечные долота, 6 — компрессор, 7 — грязевые насосы, 8 — желоб для глинистого раствора, 9 — плита, 10 — траверса, 11 — переходник к буровым трубам.

После бурения ствола шахт закрепляют металлическими или железобетонными кольцами.

Установками реактивно-турбинного бурения пройдено несколько вентиляционных и вспомогательных стволов шахт.

Ствол шахты № 22, треста Кировуголь Луганской области, глубиной 162 м, пробурен и закреплен металлической крепью за 37 рабочих дней. На чистое бурение ствола затрачено 156 ч. Механическая скорость бурения ствола составила 1,04 м/ч.

На шахте № 100-бис пробурили вентиляционный ствол диаметром 1,5 м на глубину 250 м.

Месячная скорость бурения установкой УРТБ-6,2 запроектирована до 300 м, с производительностью труда от 7,5 до 10 м³/чел.-смену, при расходе электроэнергии на 1 м³ породы до 250 квт·ч и расходе промывочной жидкости на один турбобур до 200 л/сек.

Перспективы применения буровых установок сплошного бурения

За рубежом буровыми установками УРТБ сооружено более 30 стволов шахт общей глубиной более 10 000 м.

В Советском Союзе за последние 30 лет пройдено при помощи буровых установок сплошного бурения более 60 стволов шахт общей глубиной около 7000 м. Только в Донбассе установками сплошного бурения стволов шахт конструкции инженеров Иванова и Щепотьева пробурено более 20 вентиляционных стволов общей глубиной более 4000 м.

На многих буровых установках получены удовлетворительные технико-экономические показатели по механической скорости бурения и производительности труда.

Способ проведения стволов шахт методом бурения имеет следующие достоинства.

1. Возможна комплексная механизация и автоматизация основных и вспомогательных процессов.

2. При бурении стволов шахт отпадает надобность нахождения рабочих в забое ствола шахты и исключается тяжелый и опасный подземный труд рабочих.

Дальнейшая работа по усовершенствованию и созданию новых высокопроизводительных буровых установок дает основание утверждать, что развитие техники и технологии проведения стволов шахт способом бурения является технически прогрессивным и перспективным. Этот способ найдет широкое применение при проведении стволов шахт в горной, горнорудной и нерудной промышленности, а также в практике геологоразведочных работ при детальной разведке сложных рудных тел.

БУРЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

За последние годы в горной промышленности и других отраслях народного хозяйства Советского Союза и за рубежом нашел широкое применение способ бурения горных выработок специальными буровыми машинами.

Диаметр скважин и выработок колеблется от 300 до 1500 мм, а длина (глубина) — от 30 до 150 м и более.

Назначение этих выработок и скважин разнообразное: для поисков и разведки слепых рудных тел и вмещающих пород, вентиляции, спуска воды с верхних горизонтов, спуска руды и закладки, спуска и подъема леса, прокладки трубопроводов и электрокабелей, дегазации пластов, оборудования людских ходков.

§ 1. МАШИНЫ ДЛЯ БУРЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Горные выработки проходятся методом бурения передовых скважин с последующим расширением их до требуемого сечения или сразу на полное сечение.

Условия применения — однородные породы средней, ниже средней крепости и мягкие. В особых случаях горные выработки, пробуренные в мягких и рыхлых породах, необходимо закреплять трубами соответствующего диаметра.

Основными узлами буровых машин (станков) являются: двигатель, механизмы вращения и подачи и буровой снаряд. Подающие механизмы могут быть механические (дифференциально-винтовые), пневматические и гидравлические. Рабочий механизм машины (станка) представлен резцами или шарошечными долотами.

Парк буровых машин, агрегатов и станков для бурения горных выработок очень многообразен, поэтому рассмотрим лучшие из них.

Буровая машина «Стрела»

Машина «Стрела» предназначена для бурения восстающих выработок диаметром 960 мм, длиной до 70 м в породах средней крепости. Сечение выработок достаточно для спуска руды, закладки леса, перемещения людей, обеспечивает нормальное проветривание блока (участка).

Выработка проходится на полное сечение с одновременным бурением опережающей скважины диаметром 190 мм или предварительным бурением направляющей скважины, которая затем расширяется до диаметра 960 мм.

Буровая машина «Стрела» (рис. 132) состоит из пневматического двигателя, редуктора, вращателя, механизма подачи, маслососа, става бурильных труб. Планетарный породоразрушающий механизм (специальное долото) оснащен шарошками.

Разрушенная шарошками порода сыпается в вагонетки. При углах наклона выработки до 45° разрушенная буровая мелочь

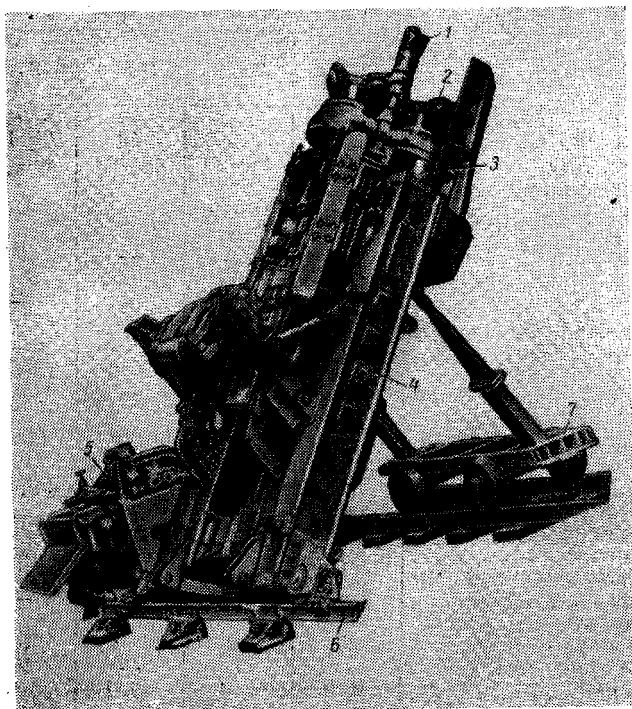


Рис. 132. Буровая машина «Стрела».

1 — центральное шарошечное долото; 2 — шарошечный расширитель, 3 — гидродомкрат, 4 — рама, 5 — маслостанция, 6 — секционный монорельс, 7 — тележка.

смывается водой, подаваемой по бурильным трубам в забой выработки для смачивания пыли и охлаждения шарошечных долот.

Буровая машина в камере штрека устанавливается на секционном монорельсе и раскрепляется домкратами. В откаточной выработке машина «Стрела» передвигается по монорельсу и рельсовому пути с помощью специальной тележки и каната с приводом от машины. Для перевозки машины на другой участок ее разбирают на отдельные узлы.

Производительность буровой машины «Стрела» в 3—4 раза выше, а стоимость проведения восстающих выработок и трудоем-

кость работ в 3—4 раза меньше, чем при буровзрывном способе. Машину обслуживают машинист и его помощник.

Техническая характеристика буровой машины «Стрела» приведена в табл. 36.

Машина «Стрела» демонстрировалась на выставке «Интергормаш-67».

Таблица 36

Техническая характеристика машин для бурения восстающих горных выработок

Показатели	«Стрела»	ЛБС-4	ППГ-3	СВМ-3у	БАВ-2
Длина выработки, м	70	30—60	40	75; 150	90
Угол наклона, град	30—80	45—90	40—90	45—90	50—90
Угол наклона при бурении шнеками, град	—	0—45	—	0—45	—
Диаметр мм:					
центрального долота	190	300	—	390	600
расширителя I стадии	960	500	700	850	1000
Усилие подачи, кг	30 000	—	—	—	30 000
Скорость бурения, м/ч:					
передовой скважины	0,7—	3—6,0	2,5—	6—7	2,5—4,7
расширителя I стадии	2,2	2,5—5,0	6,0	3—4	1,3—2,8
Ход шпинделя, мм	600	—	—	600	620
Размеры, мм:					
длина	2750	—	2220	2220	2820
ширина	2235	—	670/1160	1160	1355
высота	1530	—	1490	2290/1440	1685/2900
Скорость вращения, об/мин:					
центрального долота	56,5	—	—	72,8	27; 42
расширителей	38,5	—	—	51	54; 83
водила исполнительных механизмов	1,65	—	—	—	—
Мощность двигателя:					
пневматического, л. с.	35	12	6,5+0,8	16	—
электрического, кВт	—	7	—	16	60
Вес станка, кг	3670	710	1920	2360	6400

Буровые станки ЛБС-4, БГА-1 и БСА-6

Легкий буровой станок ЛБС-4 предназначен для бурения горизонтальных, восстающих и вертикальных (вверх) скважин диаметром до 500 мм, глубиной до 60 м.

Бурение горизонтальных и восстающих скважин с углом до 45° производится с применением шнеков на буровом стае, предназначенных для транспортировки буровой мелочи из скважины.

При бурении скважины применяются забурник и расширитель. Для разбуривания скважины обратным ходом используется расширитель обратного хода.

Станок ЛБС-4 может поставляться с пневматическим двигателем. Техническая характеристика станка приведена в табл. 36.

Буровые станки БГА-1 и БСА-6 по своей конструкции аналогичны буровому станку ЛБС-4.

Пневматический проходчик ППГ-3

Пневматический проходчик ППГ-3 предназначен для бурения востоящих выработок диаметром 700 мм, глубиной до 40 м.

Машина имеет следующие основные узлы: проходчик, направляющий станок, разводка шлангов, пульт управления, шламоуловитель (рис. 133).

Проходчик состоит из породоразрушающего механизма, рамы, гусеничного хода и привода подачи. В нерабочем состоянии проходчик находится в направляющем цилиндре, который монтируется на тележке. Маневровый механизм придает проходчику направление забуривания. При внедрении в породу машина опирается на внутреннюю футеровку направляющего цилиндра, а после входа в скважину движется за счет упора в стенки тремя гусеничными цепями, расположенными под углом 120°. Породоразрушающий механизм, приводимый пневматическим двигателем через редуктор, состоит из забурника, режущих фрез и расширителя.

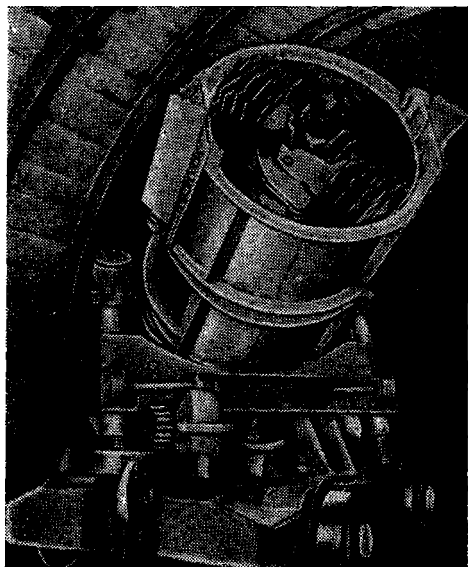


Рис. 133. Пневматический проходчик ППГ-3.

Привод подачи осуществляет движение трех гусениц по скважине и состоит из редуктора с планетарной передачей и двух пар цилиндрических колес, пневмодвигателя и предохранительной муфты.

Пульт управления имеет два вентиля, переключатель и два манометра для измерения давления сжатого воздуха в сети пневмодвигателя режущего органа и в сети пневмодвигателя подачи.

Разводка шлангов диаметром 13 и 32 мм питает сжатым воздухом два пневмодвигателя.

Шламоуловитель состоит из цилиндрического корпуса, сваренного из листовой стали, в днище которого имеется патрубок для отвода шлама по брезентовому рукаву в вагонетку или на конвейер.

Направляющий станок имеет направляющий цилиндр, тележку, траверсу, поворотный круг, редуктор подъема цилиндра, редуктор

поворота цилиндра, пневматический домкрат подъема, две металлические стойки. Станок предназначен для установки проходчика на забуривание в требуемом направлении и транспортирования по рельсовому пути.

Техническая характеристика проходчика ППГ-3 дана в табл. 36.

Сбочно-буровая машина СБМ-3у

Машина предназначена для бурения восстающих скважин различного направления диаметром до 850 мм.

Скважины (выработки) бурят под углом от 0 до 90°. Глубина скважин при углах наклона 0—45° достигает 75 м, а при углах 45—90° — до 150 м.

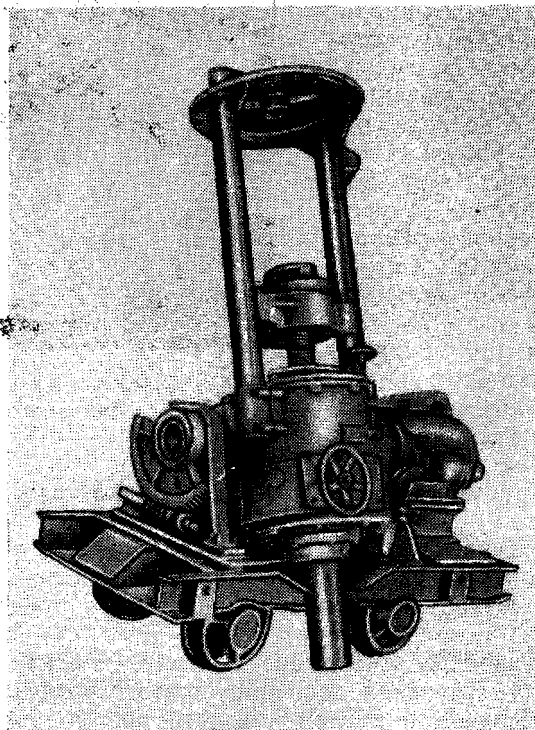


Рис. 134. Сбочно-буровая машина СБМ-3у.

Машина СБМ-3у приводится в действие пневматическим или электрическим двигателем. Электрооборудование изготавливается во взрывобезопасном исполнении.

Бурение скважин прямым ходом производится при помощи бурового снаряда, состоящего из забурника и расширителя пря-

мого хода. Расширение скважин обратным ходом осуществляется расширителем обратного хода.

Буровой снаряд оснащен резцами из твердого сплава. При бурении шпиндель сообщает буровому ставу и породоразрушающему инструменту вращение и одновременно продольную подачу — движение вверх или вниз, в зависимости от прямого или обратного хода бурения.

После перемещения става на длину, равную длине одной штанги, вращение прекращается, став закрепляют от выпадения из скважины специальным подхватом, шпиндель отсоединяют от става и опускают в исходное положение. При бурении прямым ходом к ставу присоединяют новую штангу, а при бурении обратным ходом от става отсоединяют одну штангу, затем присоединяют шпиндель и продолжают бурение до перемещения става с буровым снарядом на длину штанги.

Машина СБМ-3у на колесном ходу перемещается по рельсовому пути (рис. 134). При необходимости колесный ход может быть снят, тогда машина устанавливается и передвигается на площадке, имеющей форму салазок. При работе машина устанавливается в буровой камере или на откаточной выработке и закрепляется распорными стойками.

Техническая характеристика сбоечно-буровой машины СБМ-3у дана в табл. 36.

Буровой агрегат БАВ-2

Буровой агрегат БАВ-2 предназначен для бурения восстающих выработок диаметром 1000 мм в породах средней крепости и мягких (рис. 135).

Техническая характеристика бурового агрегата БАВ-2 дана в табл. 36.

Все оборудование смонтировано на тележке. На раме тележки имеются гнезда для установки четырех распорных колонок и прицепное устройство для транспортирования агрегата с помощью электровоза. Подача инструмента — гидравлическая.

Регулировку усилия и скорости подачи бурового снаряда на забой производят с пульта управления. Пульт управления состоит из шкафа, внутри которого размещены дроссель, регулятор давления, золотник, манометр со шкалой давления до 100 кг/см^2 и указатель давления на забой.

Буровая мелочь из восстающей выработки поступает через лоток в вагонетку.

Установку на агрегате буровых штанг, направляющих фонарей, буровых головок выполняют с помощью подъемника, который состоит из стойки и пневматической лебедки, грузоподъемностью до 1000 кг.

Размер буровой камеры (ниши) для установки агрегата БАВ-2

3,5×2×3,7 м. Буровой агрегат обслуживают буровой мастер и его помощник.

При проведении восстающих выработок буровым агрегатом БАВ-2 на пластах Криворожского бассейна в породах средней крепости получены следующие показатели:

а) по механической скорости бурения гребенчатой головкой 120—150 мм/мин; шарошечной головкой 60—75 мм/мин;

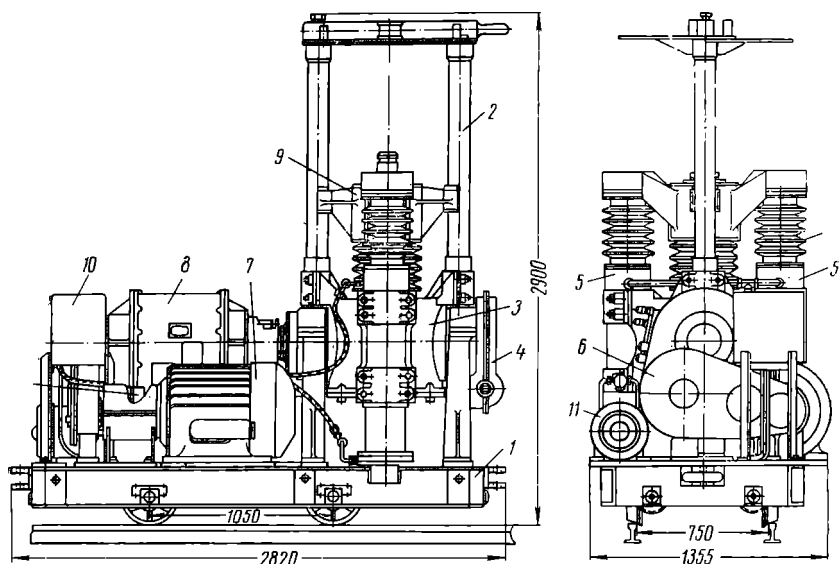


Рис. 135. Буровой агрегат БАВ-2.

1 — тележка, 2 — направляющие, 3 — вращатель, 4 — механизм поворота, 5 — гидравлические цилиндры, 6 — редуктор, 7 — электродвигатель, 8 — коробка скоростей, 9 — патрон, 10 — пульт управления, 11 — гидроузел.

б) по производительности агрегата: при бурении скважины диаметром 600 мм гребенчатой головкой 28 м/смену, шарошечной головкой 14 м/смену; при разбурировании выработки диаметром 1000 мм: гребенчатой головкой 17 м/смену, шарошечной головкой 8 м/смену;

в) стойкость резцов: гребенчатой головки 40 м, шарошечной головки 120 м выработки.

В комплект бурового снаряда агрегата БАВ-2 входят: гребенчатые и шарошечные буровые головки диаметром 600 и 1000 мм, направляющие фонари, отражатели, штанга с переходником и буровые штанги.

Гребенчатую головку диаметром 600 мм (рис. 136, а) применяют при бурении более мягких пород. Забурник диаметром 105—110 мм имеет трехступенчатую коронку. Расширители служат для увеличения диаметра скважины (выработки) с 105 до 600 мм и

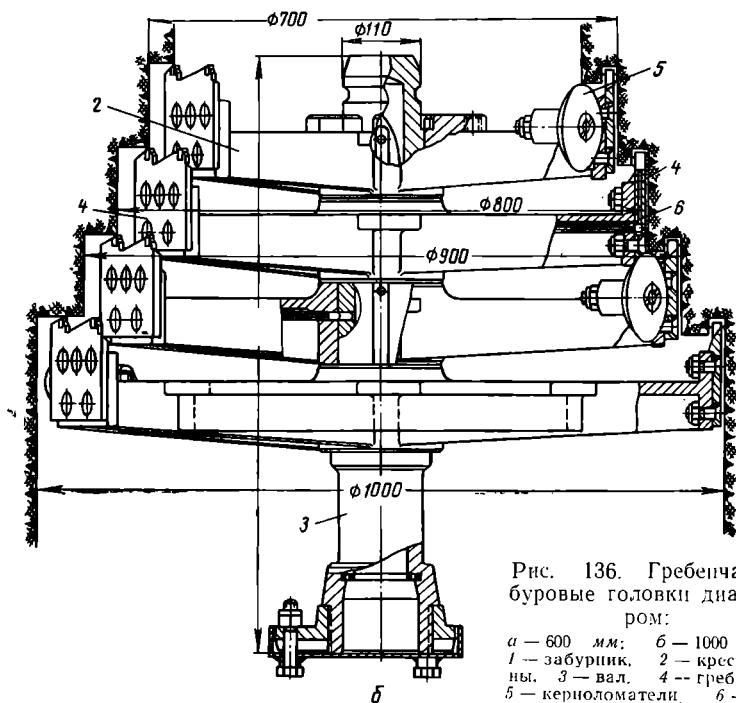
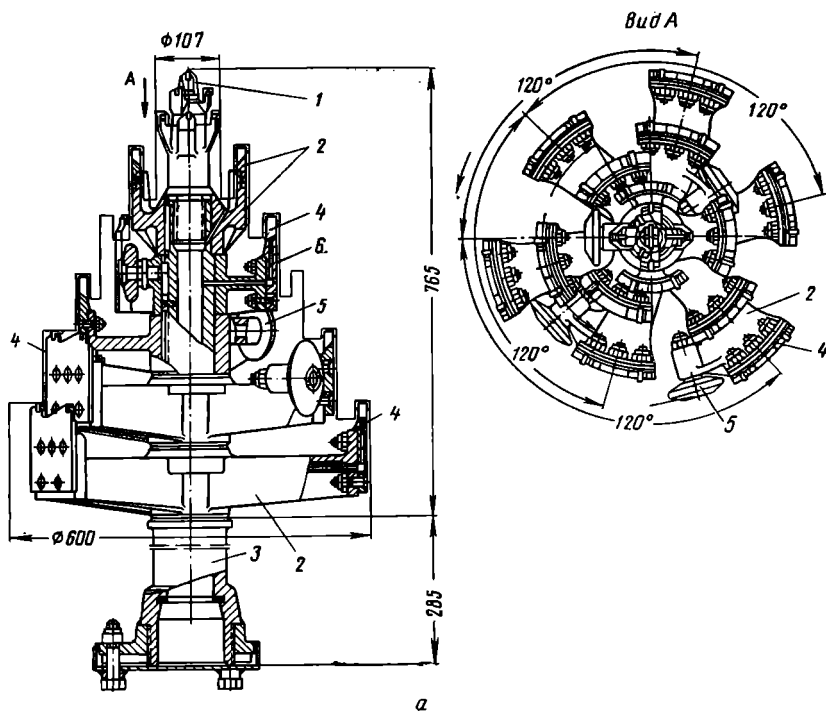


Рис. 136. Гребенчатые буровые головки диаметром:

a — 600 мм; *б* — 1000 мм;
 1 — забурник, 2 — крестовины, 3 — вал, 4 — гребенка,
 5 — керноломатели, 6 — вод-
 ная трубка.

состоят из пяти крестовин, которые закреплены на валу шпонками. На конце каждой крестовины прикреплены болтами сменные гребенки, армированные пластинами твердого сплава ВК-8. На одну буровую головку диаметром 600 мм расходуется 1,2 кг твердого сплава.

Резцы расширителей прорезают в породе забоя пять концентрических щелей диаметром 200, 300, 400, 500 и 600 мм шириной по 20 мм. Оставшиеся между щелями концентрические целики породы толщиной 30 мм, по мере продвижения буровой головки вверх, разрушаются керноломателями.

Коронка забурника и расширители имеют отверстия, соединенные с полостью вала, по которым подается вода или воздушно-водяная смесь для охлаждения резцов и смачивания пыли в процессе бурения.

Гребенчатая буровая головка диаметром 1000 мм (рис. 136, б) предназначена для разбуривания скважины с 600 до 1000 мм, и состоит из четырех расширителей, представляющих собой трехлучевые крестовины, смещенные одна относительно другой по высоте и оснащенные съёмными гребенками. Гребенки армированы пластинками твердого сплава ВК-8. На одну буровую головку диаметром 1000 мм расходуется 0,8 кг твердого сплава.

В верхней части вал имеет переходник для соединения буровой головки с направляющим фонарем. Вода или воздушно-водяная смесь поступает к резцам из плоскости вала через трубки.

Шарошечная буровая головка диаметром 600 мм (рис. 137, а) предназначена для бурения пород средней крепости и для пробуривания прослоев выше средней крепости.

Трехлучевая крестовина закреплена на валу шпонкой. Вал имеет в нижней части кулачки, с помощью которых буровая головка соединяется со штангой, а в верхней части гнездо, в которое установлен водораспылитель, предназначенный для охлаждения шарошек и смачивания пыли в процессе бурения.

Каждая шарошка состоит из корпуса, съёмных венцов и съёмной головки. Поверхности съёмной головки и венцов армированы штырями из твердого сплава ВК-15.

Лапа шарошки вставлена в гнездо крестовины на шпонке и закреплена болтом. К лапе через трубку подводится вода или воздушно-водяная смесь для охлаждения шарошек.

Шарошечная буровая головка диаметром 1000 мм (рис. 137, б) предназначена для разбуривания восстающей выработки диаметром от 600 до 1000 мм. Крестовина на валу закреплена переходником, который соединен с направляющим фонарем. В средней части переходник имеет несколько отверстий для поступления к шарошкам охлаждающей воды.

Направляющий фонарь служит для предотвращения от продольного изгиба буровых штанг и направления бурового снаряда в скважине. Корпус фонаря с бронзовой втулкой закреплён гайкой

на валу. К корпусу приварены пять лопастей, соединенных между собой ребрами жесткости.

При разбурировании восстающей выработки с диаметра 600 мм до диаметра 1000 мм фонарь наращивают дополнительными лопастями и его диаметр увеличивается до 990 мм. Направляющие фонари ставят через каждые 5—6 штанг.

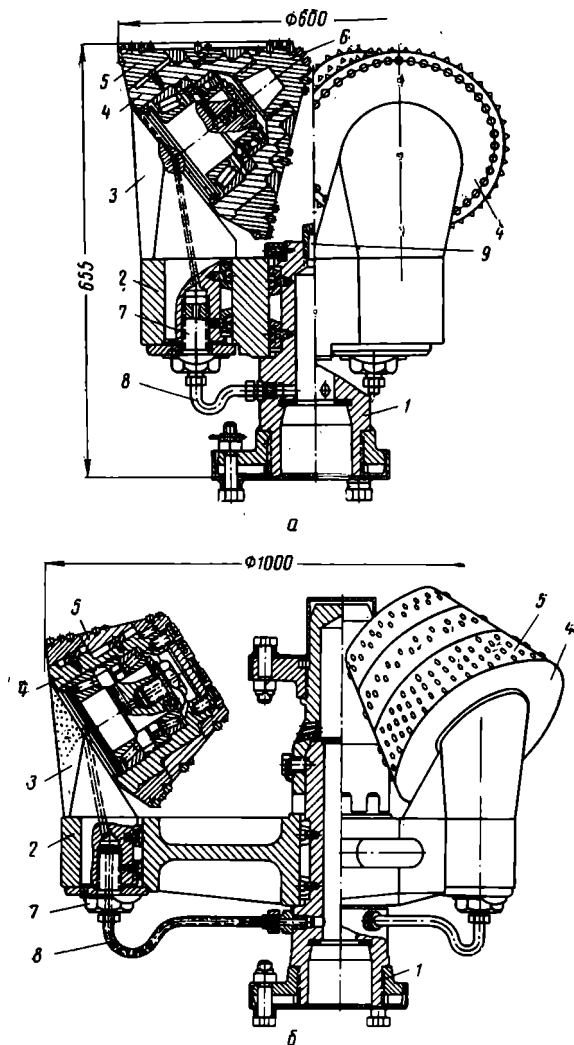


Рис. 137. Шарошечные буровые головки диаметром:

a — 600 мм; *б* — 1000 мм; 1 — вал, 2 — трехлучевая крестовина, 3 — лапа шарошки, 4 — корпус шарошки, 5 — съемный венец шарошки, 6 — съемная головка шарошки, 7 — сквозной болт, 8 — водяная трубка, 9 — сопло.

Буровые штанги представляют собой трубы, на концах которых имеются соединительные замки. Между собой замки соединяются болтами.

§ 2. БУРЕНИЕ ВЫРАБОТОК И СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ЗА РУБЕЖОМ

Буровая установка «Борвольф»

Буровая установка «Борвольф» фирмы «Баде» (ФРГ) предназначена для бурения скважин диаметром 1000—1500 мм, глубиной до 250 м. В подготовительный период по оси будущей выработки пробуривают между двумя горизонтами передовую скважину диаметром 150—200 мм. Эта скважина предназначена для пропуска каната, на котором подвешивается буровая машина «Борвольф».

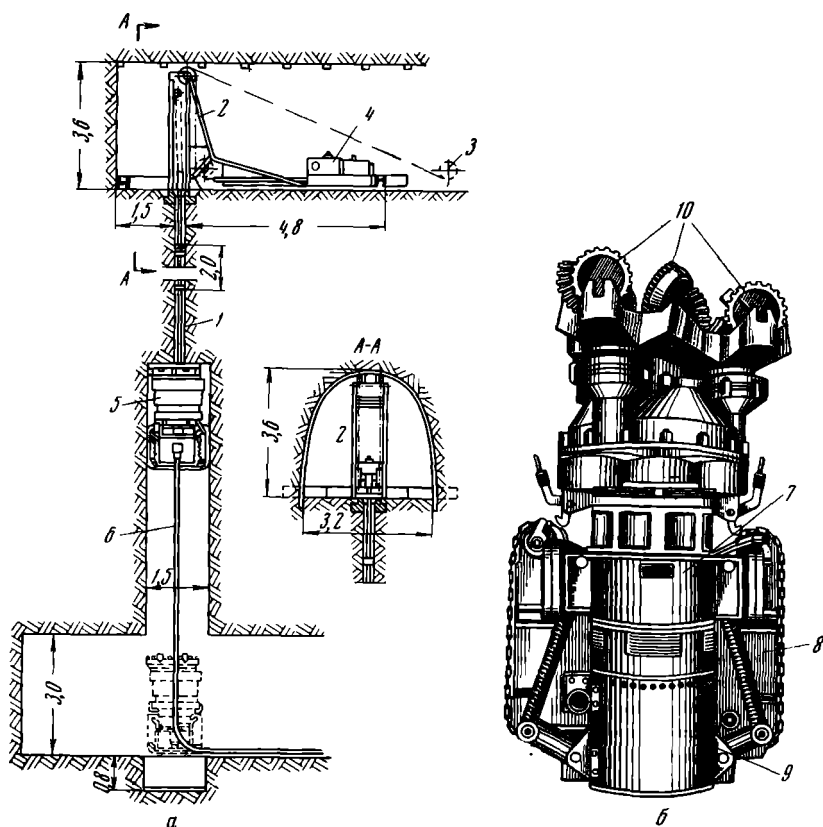


Рис. 138. Буровая установка «Борвольф».

а — схема работы при проведении вертикальной выработки: 1 — скважины малого диаметра, 2 — копровая рама, 3 — подъемная лебедка, 4 — подающий гидравлический механизм, 5 — буровая машина, 6 — электрокабель; *б* — буровая машина; 7 — планетарный редуктор, 8 — ведущие гусеницы, 9 — электродвигатель, 10 — трехшарошечные долота.

В горизонтальной выработке верхнего горизонта над скважиной устанавливают копровую раму, подъемную лебедку и подающий механизм (рис. 138, а).

Лебедка осуществляет спуско-подъемные операции, а подающий механизм создает осевую нагрузку на забой. Осевое усилие буровая машина получает от гидравлических цилиндров через цепь и штанги диаметром 60 мм, пропущенные через скважину.

Буровая машина (рис. 138, б) состоит из электродвигателя (мощностью 80 кВт), планетарного редуктора, двух направляющих лыж, двух распорных гусениц и буровой головки. Буровая головка для сплошного обуривания забоя оснащена тремя шпинделями, на каждом из которых закреплено трехшарошечное долото. Долота вращаются вокруг своих осей, делая 60 об/мин, и вокруг оси буровой машины — 10 об/мин.

В процессе работы буровой машины боковые гусеницы распирают в стенки выработки и служат для направления ее движения. Буровая машина разбуривает выработку до диаметра 1500 мм, и буровая мелочь при этом ссыпается вниз.

Длина буровой машины «Борвольф» 2,8 м, диаметр 1,3 м, вес 8,3 т.

Буровая установка «Борвольф» применяется на калийных рудниках Германии, где скорость бурения достигала 200 м в неделю. На железорудных месторождениях Южной Саксонии механическая скорость бурения составляла 25—100 мм/мин. Средняя скорость разбуривания по сланцам равна 1,4 м/ч.

Буровая установка «Зальцгиттер»

Буровая установка фирмы «Зальцгиттер» предназначена для бурения восстающих выработок диаметром до 1250 мм в слабых и ниже средней крепости породах с получением керна.

Буровая установка (рис. 139) состоит из полого цилиндра диаметром 1000 мм, который жестко соединен со штангой диаметром около 200 мм, пропущенной в заранее пробуренную скважину диаметром 250—300 мм. В верхней части цилиндра расположено вращающееся режущее кольцо, оснащенное зубками, армированными твердым сплавом.

Режущее кольцо (коронка) получает вращение от двигателя, смонтированного в направляющей штанге.

От подъемной лебедки, установленной в верхней выработке, штанга с помощью каната поднимается вверх по скважине, подтягивая за собой режущее кольцо бурового снаряда. Режущее кольцо выбуривает в породе керн, который проходит через полый цилиндр и падает вниз под действием собственного веса.

Тяговое усилие на канате достигает 8000 кг при наибольшем усилии резания 7000 кг. Это усилие контролируется прибором, установленным на подъемной лебедке. Электрокабель для питания

двигателя проходит в скважине и навивается на вспомогательную лебедку.

Скорость бурения в мягких породах достигает 10 м/ч.

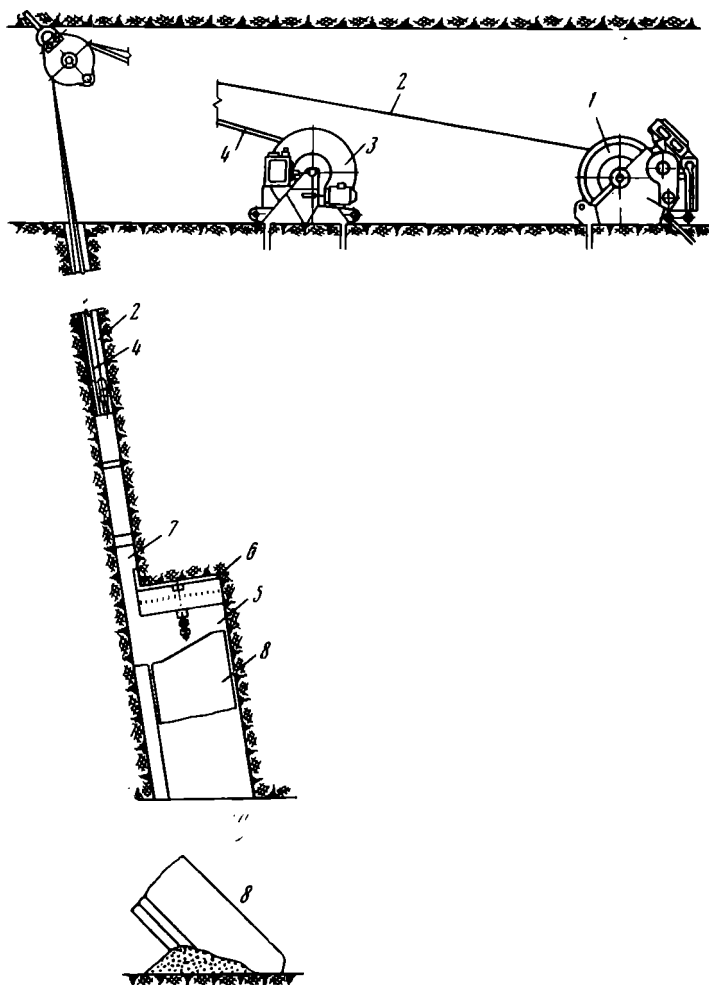


Рис. 139. Буровая установка «Зальциттер».

1 — подъемная лебедка, 2 — канат, 3 — лебедка для электрокабеля,
4 — электрокабель, 5 — цилиндр бурового снаряда, 6 — режущее кольцо, 7 — штаига, 8 — керн.

Буровые агрегаты «Бенато»

Общий вид бурового агрегата «Бенато» показан на рис. 140, а. При бурении агрегатом французской фирмы «Бенато» разрушение породы производится комбинированным воздействием на забой

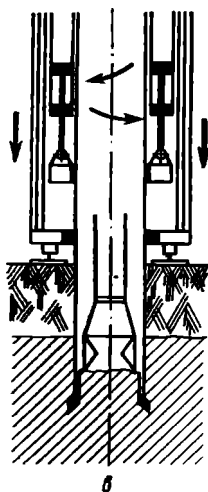
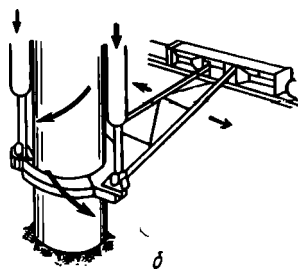
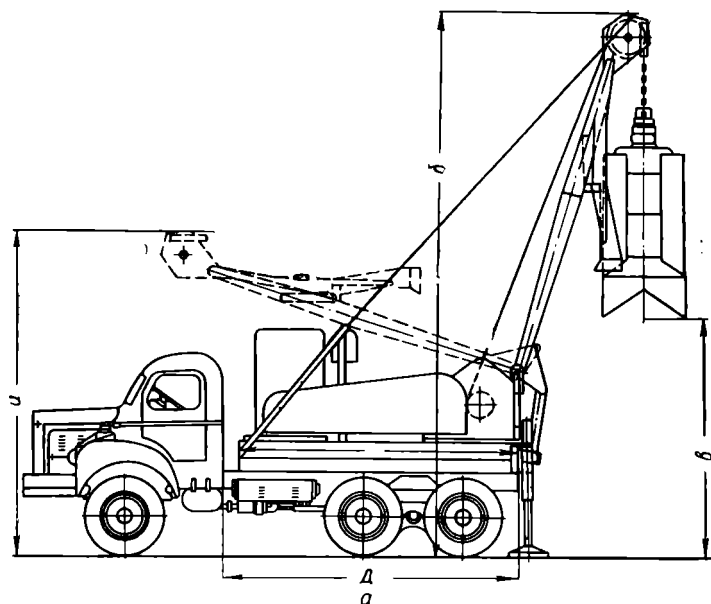


Рис. 140. Буровая установка «Бенато» типа EDF-55.
 а — общий вид; б — вращательно-поступательное движение обсадной трубы; в — работа гидравлических домкратов; г — работа грейферного снаряда (камер граба).

скважины: 1) вращающейся в переменном направлении колонны обсадных труб, оснащенной режущим башмаком с зубьями, и 2) падающим на забой в раскрытом состоянии многочелюстным грейфером-буром весом от 1,5 до 2,8 т.

Давление на забой под режущим башмаком, создаваемое собственным весом колонны труб, усиливается двумя домкратами, расположенными на станине (рис. 140, б и в).

Грейфер при падении разрушает своими челюстями породу, уже частично нарушенную внедрением в нее колонны труб, а при подъеме закрывается и зачерпывая породу выдает ее на поверхность (рис. 140, г). На поверхности грейфер с породой входит в направляющий раструб, смонтированный на верхней части мачты станка. Затем раструб приводится из вертикального положения в наклонное, а грейфер открывается и разгружается в бункер или самосвал.

Фирма «Бенато» создала несколько типов ударно-грейферных установок. Наибольшее распространение получили модели № 5 и EDF.

Комплект оборудования модели № 5 включает: грейфер-бур с набором лопастей для пород различной крепости, оборудование управления, оборудование для обсадки скважин трубами, домкраты гидравлические, стрелу поворотную, направляющие трубы, обсадные трубы с режущим башмаком, хомут, генератор для сварки труб, вальцовочный станок.

Агрегат EDF соединяет в себе механизмы для одновременного бурения и обсадки скважины трубами.

Тяжелый агрегат EDF размещается на шагающем ходу. Механизм шагания обеспечивает передвижение агрегата по прямой линии со скоростью 300—400 м/ч, а также может менять направление движения, делать повороты на месте и совершать боковое перемещение.

При движении по дорогам с твердым покрытием под агрегат подводится в задней части двухосная четырехколесная тележка на пневматическом ходу, а в передней части — одноосная тележка с четырьмя колесами и дышлом, прикрепляемая к грузовой автомашине или к тягачу. На колесном ходу агрегат перемещается со скоростью грузового автотранспорта.

Агрегаты фирмы «Бенато» применяются при бурении скважин на воду, при разведке месторождений, залегающих на небольшой глубине, при бурении скважин под сваи и т. п.

§ 3. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БУРЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Способ бурения горных выработок и скважин большого диаметра является универсальным способом, поэтому он нашел широкое применение в различных отраслях народного хозяйства Советского Союза и зарубежных стран. Этот способ дает удовле-

творительные показатели по скорости бурения, производительности станков и себестоимости бурения 1 м скважины (выработки). Кроме того, проведение выработок бурением является безопасным способом, так как исключено нахождение рабочих в горной выработке, в которой иногда может быть наличие вредных и ядовитых газов или возможность обрушения слабых пород.

В настоящее время для интенсификации процесса бурения проводятся специальные исследования, направленные на изыскание наиболее рациональных режимов бурения для различных горногеологических условий. Разработка научно обоснованных режимов бурения позволит более рационально использовать буровые машины и применять наиболее эффективные буровые снаряды, в зависимости от горно-геологических условий и физико-механических свойств буримых пород.

Научно-исследовательским институтам необходимо разработать типаж буровых машин и буровых снарядов для бурения горных выработок и скважин большого диаметра для различного направления: горизонтальное, наклонное, с восстанием, вертикально вниз, вертикально вверх.

Типизация буровых машин позволит более правильно планировать изготовление их, а специализация машиностроительных заводов позволит значительно улучшить качество изготавливаемых машин и буровых снарядов.

При бурении горных выработок и скважин большого диаметра, целесообразно в первую очередь пробуривать скважину малого диаметра, а затем пользоваться расширителями. Практикой установлено, что скважина малого диаметра лучше выдерживает заданное направление, а в дальнейшем она значительно улучшает вентиляцию при подземном бурении и гарантирует успех бурения выработки.

В буровых машинах целесообразно внедрение гидропривода, который упрощает подбор оптимального режима процесса бурения применительно к физико-механическим свойствам буримых пород.

Буровые машины следует оснащать измерительными приборами для осуществления постоянного контроля за нагрузкой на буровой снаряд в процессе бурения.

Следует продолжать работу по совершенствованию конструкций бурового снаряда и качеству изготовления шарошечных долот, резцов и других узлов и деталей рабочего механизма.

НОВЫЕ СПОСОБЫ БУРЕНИЯ

Основными недостатками механических способов бурения горных пород являются: быстрый износ рабочих элементов породоразрушающего инструмента в крепких породах, требующий значительных затрат времени при его замене и невысокий коэффициент использования энергии на породоразрушающем инструменте (0,08—0,1).

Стремление создать новые, более эффективные способы бурения привело к возникновению новых перспективных направлений с использованием достижений, имеющихся в области физики разрушения и обработки твердых материалов.

Новые способы разрушения и бурения горных пород по видам энергии, подаваемой в зону работы рабочего наконечника, условно можно разделить на: 1) термические, 2) взрывные, 3) гидравлические, 4) электро-физические и 5) комплексные.

Термический способ уже успешно применяется при бурении взрывных скважин в крепких породах.

Взрывной и гидравлический способы проходки скважин находятся в стадии доводки.

В лабораторных условиях исследуется возможность использования для бурения скважин электрофизических и комплексных способов.

§ 1. ТЕРМИЧЕСКОЕ БУРЕНИЕ

В настоящее время исследовательские работы в области термического бурения горных пород ведет ряд научно-исследовательских институтов.

Исследованиями было установлено, что наиболее работоспособными являются реактивные горелки, обеспечивающие высокую температуру факела и большое тепловыделение. Для эффективного

термобурения требуется температура факела в пределах 2250—3000° К, а скорость истекающих раскаленных газов должна быть сверхзвуковой, порядка 1800—2200 м/сек.

По конструкции рабочего органа современные станки термического бурения разделяются на станки с вращающимся и невращающимся рабочим органом. Последние используются при бурении крепких монолитных пород.

При бурении взрывных скважин в карьерах Южного горнообогатительного комбината (Кривбасс) была получена механическая скорость термобурения, в 2—3 раза большая чем при бурении ударно-канатными станками.

В настоящее время станки термического бурения серийно выпускаются Бузулукским заводом тяжелого машиностроения им. В. В. Куйбышева. Станок СБО160/20 (СБО2) предназначен для термического бурения взрывных скважин диаметром 180—220 мм, глубиной до 20 м в крепких монолитных породах. Скважина может быть расширена на любой глубине до диаметра 500 мм, образуя «котел» для помещения в нем большого количества заряда ВВ, что повышает производительность скважины, увеличивая выход взорванной породы.

Станок СБО 160/20 выпускается с горелками двух модификаций: а) работающими на жидком горючем и газообразном кислороде и б) работающими на жидком горючем и сжатом воздухе.

Соответственно станок снабжается либо реципиентом, представляющим собой передвижную батарею кислородных баллонов 4БК, либо двумя передвижными компрессорами ДК-600. Питание станков газообразным кислородом и сжатым воздухом может производиться от магистралей, если кислородный завод или компрессорная станция расположена вблизи карьера.

При применении в виде окислителя кислорода скорость термического бурения в 2 раза выше, чем при окислителе — сжатом воздухе.

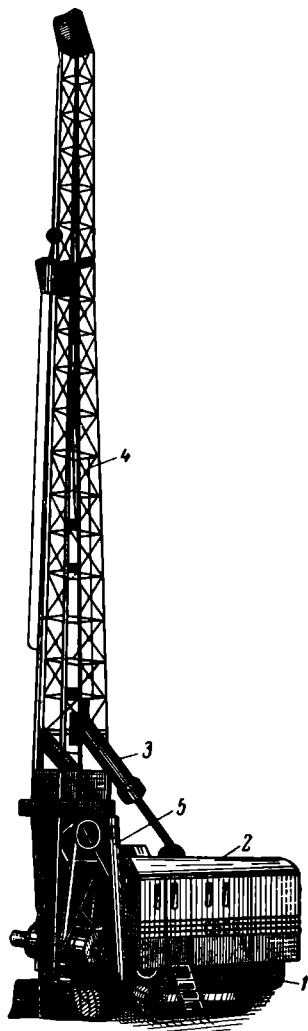


Рис. 141. Буровой станок СБО2.

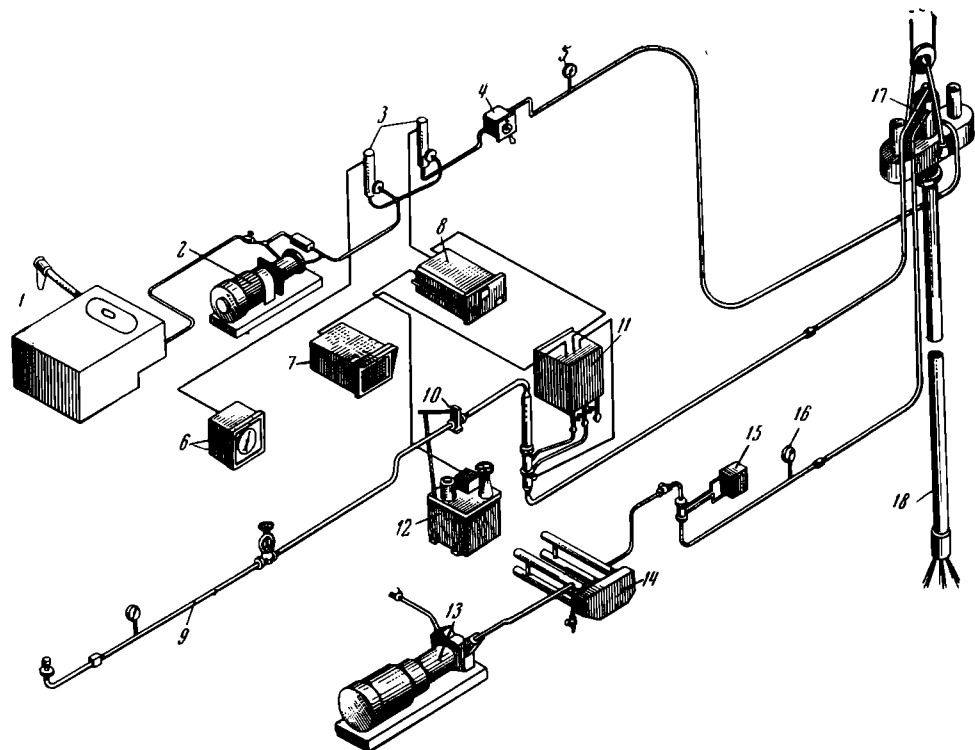


Рис. 142. Схема питания СБО.

1 — топливный бак, 2 — насос для подачи топлива, 3 — ротаметры, 4 — дроссель, 5 — манометр, 6 — расходомер топлива, 7 — расходомер кислорода, 8 — электронный регулирующий блок, 9 — трубопровод для подачи кислорода, 10 — регулирующий клапан, 11 — дифманометр, расходомер кислорода, 12 — автономный гидропривод, 13 — насос для подачи воды, 14 — нагреватель воды, 15 — реле контроля подачи воды, 16 — манометр, 17 — подводящее устройство, 18 — рабочий орган.

На рис. 141 показан общий вид станка СБО2. На раме гусеничной тележки 1 установлен кузов 2 с опорным кронштейном 5 для шарнирного крепления мачты 4, подъем и опускание которой производится гидродомкратами 3. Кузов имеет два отделения, утепленную кабину и машинное отделение. В кабине установлены: пульт управления и панель питания. В машинном отделении смонтированы: подъемная лебедка, электрооборудование, гидравлическая станция, электрообогреватель и вспомогательные устройства.

Наверху мачты установлены блоки для подвески рабочего органа. В нижней части смонтирован механизм для его вращения, а по середине мачты установлен люнет для направления рабочего органа.

Станок имеет всасывающий вентилятор для подачи воздуха, проходящего через обогреватель в кабину, а также вентиляторную установку для отсасывания и отвода в сторону газов, выходящих из скважины при бурении.

Оптимальное расстояние от торца горелки до забоя скважины автоматически поддерживается специальным устройством.

На рис. 142 показана общая схема питания станка топливом (керосин, соляровое масло), кислородом и водой. Особенностью этой схемы является автоматическое регулирование заданного соотношения между расходами горючего и окислителя. Эта система работает следующим образом: горючее забирается насосом из топливного бака. Предохранительный клапан поддерживает в системе заданное давление, сбрасывая излишки горючего обратно в бак. Горючее, идущее к рабочему органу, проходит через два ротаметра, один из которых является датчиком расхода для электронно-регулирующего блока. Датчиком расхода кислорода является дифманометр. Импульсы датчиков расхода горючего и кислорода воспринимаются электронно-регулирующим блоком. На основании этого при помощи регулирующего клапана, управляемого автономным гидроприводом, изменяется подача к рабочему органу кислорода.

Регулирование режима работы горелки осуществляется только одной рукояткой топливного дросселя, и качество горючей смеси не зависит от субъективных данных машиниста. Машинист станка может только изменять режим работы горелки, переводя ее на нормальную или формированную работу. Основным узлом рабочего органа является реактивная горелка.

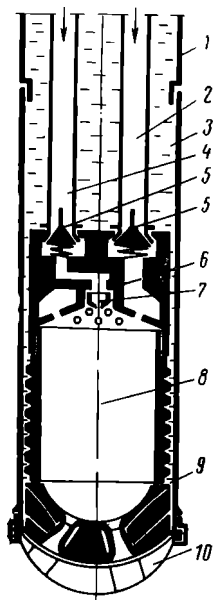


Рис. 143. Реактивная горелка для термического бурения.

1 — штанга, 2 — керосин, 3 — вода, 4 — кислород, 5 — обратный клапан, 6 — головка камеры сгорания, 7 — форсунка, 8 — камера сгорания, 9 — сопловая крышка, 10 — башмак.

На рис. 143 показана схема горелки. Корпус горелки закрывается снизу днищем, имеющим сопловые отверстия, а сверху головкой камеры сгорания, в которой крепятся трубки, подводящие горючее и окислитель, а также размещены клапаны и форсунки. Снаружи горелка защищена чехлом, соединяющимся резьбой с рабочей трубой, снизу имеет упорный башмак.

Горючее и окислитель подаются в камеру сгорания отдельными трубами. При сгорании образуются раскаленные газы,

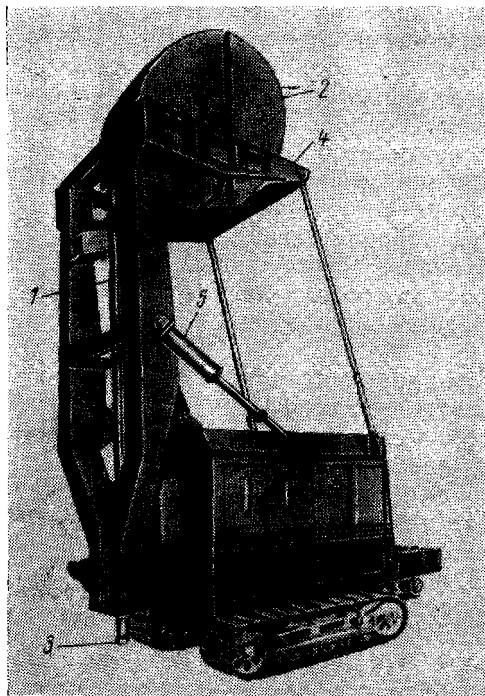


Рис. 144. Буровой станок СБОЗ.

имеющие температуру около 3000°K . Вырываясь из сопел со сверхзвуковой скоростью, они образуют рабочий факел, выполняющий работу разрушения породы на забое.

Во время работы горелка охлаждается водой, заполняющей пространство между корпусом горелки и чехлом. Некоторая часть воды выходит из горелки в скважину, где, испаряясь, усиливает газовый поток, усиливающий из скважины продукты разрушения.

При бурении горелка вместе с рабочей трубой и узлом уплотнения в подводном устройстве может вращаться со скоростью от 0 до 80 об/мин. Перспективные конструкции горелок, у которых вращательное движение имеет только днище, использующее для этого реактивную силу вытекающих газов.

Недостатком современных конструкций термореактивных горелок является невысокий к. п. д. ($\eta=0,15\div 0,17$). Одной из основных причин невысокого к. п. д. является неполное сгорание горючей смеси в камере сгорания горелки. В последнее время предложено несколько оригинальных решений, направленных на улучшение работы горелок.

Хорошие результаты дала горелка с ультразвуковыми устройствами, установленными на выходных участках каналов газового окислителя. Испытание подобной конструкции подтвердило значительное повышение полноты сгорания и ускорения процесса окисления.

Повышение полиоты сгорания также может быть достигнуто за счет ввода в зону реакции окисления катализирующих и стимулирующих веществ.

Перспективной является конструкция станка термического бурения СБО 3 с гибким буровым механизмом, разработанного институтом Гипрорудмаш (рис. 144). Гибкий буровой механизм 1 наматывается на барабан 2, установленный на раме 4. Последняя ставится в рабочее положение с помощью гидродомкратов 5. В нижней части бурового органа размещена горелка 3, вращаемая гидродвигателем, который приводится в действие водой, подаваемой для охлаждения горелки. Станок СБО 3 может бурить скважины глубиной до 42 м при отработке залежи сдвоенными и строенными уступами.

В табл. 37 приведены технические характеристики станков термического бурения.

Т а б л и ц а 37

Технические характеристики станков термического бурения

Показатели	Марки станков				
	СТБ-1	СБТУ-18	СБО 160/20		СБО 3
Глубина бурения, м	8	18	20	20	42
Диаметр скважины, мм	160	200	180—220	180—220	250
Диаметр «котла», мм		600	До 500	До 500	До 600
Скорость бурения пород крепостью $f=17 \div 20$, м/ч	4—5	10	12—15	6—7	15—20
Скорость разбуривания до диаметра 500 мм, м/ч	—	20	25—30	20—25	25—30
Расход рабочих компонентов:					
а) горючего, кг/ч	55	200	150	83	200
б) кислорода, м³/ч	150	400	350	—	400
в) сжатого воздуха, м³/ч				1000	
г) воды, м³/ч	2,5	3÷5	3	1,5	5
Мощность всех электродвигателей, квт			111	111	
Напряжение, в		380	380	380	380
Скорость передвижения, км/ч	До 45	1,0	0,625	0,625	0,625
Давление на грунт, кг/см²	Колесный	1	1	1	1
Габариты, мм:					
длина	6880	6715	8250	8250	6800
ширина	2350	3410	5000	5000	4480
высота	10 500	21 000	24 150	24 150	11 000
Вес, т	6,6	21	43	43	33

Кроме станков, работающих на кислороде и керосине, в настоящее время испытываются станки, в которых в качестве основных компонентов горючего и окислителя используются бензин и сжатый воздух. Проводятся также экспериментальные работы по использованию как окислителя концентрированной азотной кислоты.

Для бурения мелких шпуров и разделки негабарита создано несколько конструкций ручных термобуров, термоотбойников, терморезаков и другого инструмента, работающего с использованием воздействия высокотемпературной струи раскаленных газов, выходящих со сверхзвуковой скоростью из сопла реактивной горелки.

Ручные термобуры ОЛ-4 и РТБ-В2 работают на бензине и сжатом воздухе, ТБР — на керосине и кислороде.

Они позволяют бурить скважины глубиной до 1,5—2 м.

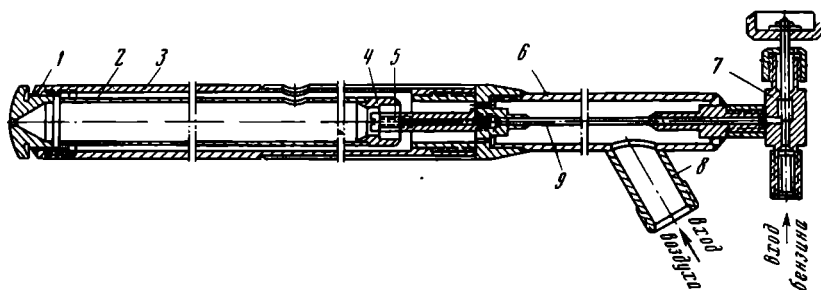


Рис. 145. Ручной термобур ОЛ-4.

Конструкция ручного термобура ОЛ-4 приведена на рис. 145. Бензин через штуцер на корпусе регулятора расхода горючего 7 и центральную трубку 9 подается к форсунке 5 и дальше впрыскивается в камеру сгорания 2. Сжатый воздух поступает в горелку через патрубок 8, трубу 6 и завихритель 4. Горелка заключена в кожух 3, снизу к ней прикреплена сопловая головка 1. На выходе из сопла факел раскаленных газов имеет температуру 1400—1500 °К и скорость ~1200 м/сек. Горелка имеет наружное охлаждение сжатым воздухом, проходящим по зазору между корпусом камеры сгорания и кожухом, дальше выходящим в шпур. Расход воздуха 3÷5 м³/мин, горючего (бензина) 6—8 кг/ч. Вес ручных термобуров 10—15 кг.

В настоящее время механизм разрушения горных пород при термобурении представляется в следующем виде.

Струя раскаленных газов со сверхзвуковой скоростью ударяет по породе, вызывая в ее наружной зоне большие напряжения, достигающие предела ее прочности. Факторами, вызывающими напряжение в породе, являются, во-первых, очень быстрый нагрев поверхностного слоя и, как следствие, термические напряжения и, во-вторых, динамическое воздействие струи газа, усиливающее напряжения до значений, превосходящих предел прочности. В результате верхний слой растрескивается и отделяется в виде нагретых частичек породы от ненагретого массива. При перегреве отдельных участков забоя, не отделившихся от массива, возможен расплав этих участков.

Чем больше разница в значениях коэффициентов расширения и теплопроводности минералов и цементирующего вещества, слагающих породу, тем выше степень анизотропии породы, больше ее монолитность, крепость, хрупкость и упругость, тем легче она разрушается при термобурении.

Кинетическая энергия движущегося потока газа пропорциональна квадрату его скорости движения. В момент удара потока газов о забой скважины кинетическая энергия при переходе в потенциальную способствует дополнительному тепловыделению, усиливающему разрушающее действие при термобурении.

Наиболее высокие скорости проходки скважин при термобурении наблюдаются при режимах работы горелки, обеспечивающих разрушение породы кусочками, «шелушение» породы, без плавления. Для некоторых пород (кварциты, роговики) такой характер разрушения наблюдается при температурах нагрева породы около 1500—1800° К.

Наименьшая удельная энергоемкость при термобурении достигается при быстром нагреве, суммирующемся с динамическими ударами струи газов и быстрым удалением частиц породы с забоя.

Термобурение малоэффективно на породах пластичных, трещиноватых и нарушенных, невысокой крепости, вызывающих хотя бы частичное расплавление.

Главную статью расходов при термическом бурении составляют затраты на кислород, стоимость которого с учетом его доставки к станку составляет около 50% всех расходов. По этой причине стоимость 1 м скважины только на 25—40% ниже, чем при ударно-канатном бурении, несмотря на то, что скорость термического бурения во много раз выше.

Применение окислителя — сжатого воздуха ведет к улучшению экономических показателей при термобурении.

§ 2. ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЙ СПОСОБ БЕСТРУБНОГО КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ В ЛЕДНИКОВЫХ ПОКРОВАХ

За последние годы значительно усилилось изучение и исследование ледниковых покровов Антарктиды, Гренландии и других полярных островов. При этом возникла необходимость получения образцов льда с больших глубин и пересечения всей толщи ледникового покрова, мощность которого в Антарктиде местами достигает нескольких километров.

Колонковое бурение обычными механическими способами в ледниковых покровах оказалось малоэффективным. В 1957 г. у обсерватории Мирный была пробурена станком КАМ-500 самая глубокая скважина во льдах Антарктиды, достигшая глубины 375 м. На основании опыта бурения этой скважины было решено отказаться от механического способа бурения и проходить скважины путем проплавления льда проникающим в него кольцевым нагревателем.

В 1964—1966 гг. Московским горным институтом под руководством А. В. Секурова был разработан электротермический способ бурения льда и создан электротермобуровой снаряд «ЭТБЛК-ЗМА», техническая характеристика которого такова:

Диаметр бурения в ледниковом массиве	около 150—160 мм
Глубина бурения в ледниковом массиве	до 500 м
Диаметр кернов льда	до 90 мм
Длина кернов льда	до 1200 мм
Вес бурового снаряда	150 кг
Длина бурового снаряда	5 м
Диаметр керноприемника	100 мм
Грузоподъемность барабана спецлебедки	до 2 Т
Мощность электропривода лебедки	8 квт, 220 в, постоянного тока
Мощность источника питания бурового снаряда	8 квт, однофазного тока, 400 в
Тип рабочего бурового инструмента	специальный открытый нагреватель сопротивления (кольцевой)
Рабочая мощность на нагревателе	от 0 до 8 квт
Режим работы в скважине	с водоотсосом при «сухом всасывании»
Электропитание, контроль и управление	централизованное, со специального пульта
Вес установки	около 12 т

Общий вид электротермобура показан на рис. 146.

Он собирается из трех трубчатых узлов (отсеков):

а) трансформаторного 2 вместе с электронагревательной кольцевой головкой 1; б) насосного 3; в) водосборного 4.

Длина отдельных узлов 1,5—2 м, диаметр — 147 мм.

Насосная группа 3 обеспечивает во время термобурения быстрый отсос всей воды, образующейся в кольцевой скважине от расплава льда.

Узел электродвигателя с форвакуумным насосом питаются независимо от нагревательной головки 1. Для предотвращения возможного засорения насоса в водовсасывающих коммуникациях установлен фильтр.

Во избежание замерзания воды расплава в водосборнике 4 и водокommunikациях предусмотрены местные электроподогреватели.

Снаряд сверху несет конус-хвостовик 5 для подвески его на специальном кабель-тросе и ввода силовых и контрольных жил для дистанционного электропитания и управления работой снаряда с поверхности.

Колонковый электротермобур имел при испытании в Антарктиде следующие показатели: 1) средняя механическая скорость бурения — 2—2,5 м/ч; 2) проходка за рейс — 1,2 м; 3) выход керна с ненарушенной структурой льда — 100%.

§ 3. ВЗРЫВБУРЕНИЕ

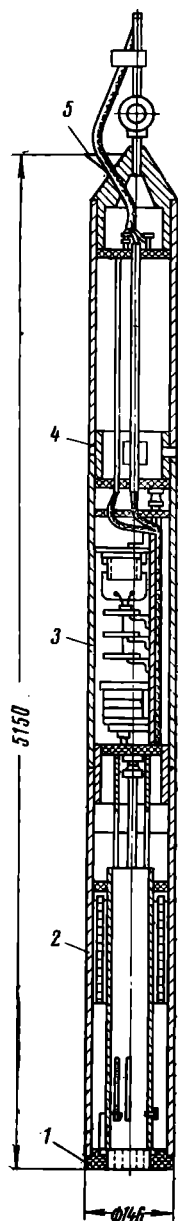


Рис. 146. Схема электротормо бурового снаряда ЭТБЛК.

Для осуществления процесса взрывобурения заряд компонентов жидкого ВВ, заключенный в пластмассовую оболочку, автоматически вводится в нагнетательную линию грязевых насосов через специальное шлюзовое устройство. Пройдя по нагнетательной линии через стояк и шланг, снаряд (ампула) попадает в колонну бурильных труб и, двигаясь в потоке промывочной жидкости, идет к забою (рис. 147). Ампулы посылаются через равные интервалы времени согласно установленному ритму подачи.

При установившемся процессе вся колонна бурильных труб от забоя до устья заполнена движущимися группами в 15—20 ампул.

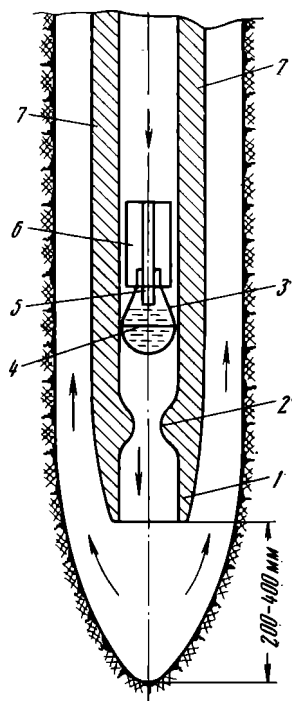


Рис. 147. Схема устройства для взрывобурения.

1 — сопло, 2 — пережим над соплом, 3 — торпеда, 4 — разделительная перегородка торпеды, 5 — капсуль-детонатор, 6 — оперение, 7 — бурильная труба.

Между каждой группой задается удлиненный разделяющий интервал подачи порядка 1 мин (пауза). В нижней части колонны каждая ампула проходит через суженное сопло-даватель под значительным натягом в радиальном направлении, достаточным для разрушения перегородки, разделяющей два порознь невзрывчатых жидких компонента ВВ внутри оболочки. Далее ампула движется к метательному соплу, за время подхода к которому оба компонента смешиваются и образуют взрывчатое высокообризантное вещество. Разрушенная порода вымывается с забоя потоком промывочной жидкости, выходящей из метательного сопла. В метательном сопле ампула за счет сужения канала для прохода промывочной жидкости набирает необходимую скорость для обеспечения сработки взрывателя ударного действия, а в случае отказа — для разрушения оболочки ампулы и ликвидации взрывчатого вещества путем растворения его в промывочной жидкости.

В процессе выпуска группы ампул буровой инструмент остается неподвижным и забой с каждым взрывом удаляется от торца метательного сопла на предельно допустимое по условиям рассеивания ампул расстояние.

После выпуска группы ампул, за счет наличия минутной паузы, бурильщик опускает метательное сопло до момента контакта последнего с поверхностью забоя и после этого поднимает весь инструмент на минимально допустимую (по условиям безопасности действия гидравлической ударной волны, идущей от заряда ВВ) высоту над поверхностью забоя и ждет сработки всех зарядов в очередной группе. После этого процесс повторяется.

В настоящее время технические средства для бурения взрывами с промывкой скважины и технология процесса отработаны до такой степени, что устойчивый и непрерывный процесс бурения уже неоднократно осуществлялся на глубинах до 2800 м в мощном комплексе осадочных пород с темпом подачи зарядов 300 штук в 1 ч и проходки за один взрыв 4 мм. Разработаны средства ввода заряда в циркуляционную систему на нагнетательной линии грязевых насосов, позволяющие регулировать темп подачи зарядов на забой и автоматическое снаряжение ампул компонентами ВВ. Намечены средства слежения за положением метательного сопла над поверхностью забоя и поддержанием этого сопла на оптимальном расстоянии, обеспечивающем сохранность последнего от действия ударных волн и поддержание наибольшей эффективности действия заряда. Разработаны также технологические приемы, управления процессом бурения (вынос шлама, наращивание инструмента, регулирование темпа, контроль сработки заряда).

Следует учитывать, что средняя эффективность единичного взрыва в затопленных скважинах убывает примерно по экспоненциальному закону и стоимость 1 м проходки будет расти соответственно увеличению глубины. Так, например, если на глубинах до 1000 м эффективность единичного взрыва составляет 10—15 мм,

то на глубине 2000 м она составляет всего лишь 4—5 мм для заряда взрывчатого вещества весом 50 г, формирующего ствол скважины диаметром около 300 мм.

В связи со сказанным значительный интерес представляет взрывобурение с продувкой воздухом там, где возможность его применения будет допускаться геологической обстановкой. Основанием для такого утверждения являются результаты испытаний, проведенных во ВНИИБТ, которые показали, что ствол скважины диаметром 200 мм формируется зарядами твердого ВВ весом в 300 г и при средней проходке за взрыв 40 мм; на 1 м проходки расходуется 25—28 зарядов, или 7,5 кг взрывчатого вещества.

Преимущества этого метода по сравнению со взрывобурением в затопленных скважинах заключаются, кроме того, в том, что ствол скважины имеет форму, очень близкую к гладкому цилиндру, гранулометрический состав шлама благоприятен для его транспортировки на поверхность и, самое существенное, что эффективность единичного взрыва практически не изменяется с глубиной.

Применение взрывобурения с продувкой воздухом дает возможность успешно проходить трещиноватые породы, где обычно происходят катастрофические поглощения промывочной жидкости.

§ 4. РАЗРУШЕНИЕ ПОРОД ГИДРОСТРУЕЙ

Работами последних лет было установлено, что при давлениях около 200 кг/см² возможно успешное разрушение некоторых групп песчаников, известняков и других пород небольшой крепости.

Исследованиями проф. А. Н. Зеленина была доказана возможность эффективного разрушения крепких горных пород струей воды при напоре 700—1000 кг/см² и сверхзвуковой скорости вылета ее из сопла. Более производительными оказались четырехсопловые насадки, с помощью которых в мраморе и граните выбуривались круглые углубления с оставлением керна, ширина реза была 3—5 мм, глубина до 50 мм. Наиболее интенсивное разрушение породы наблюдалось при диаметре струи 0,8—1 мм и расстоянии до породы 40—50 мм. При давлении 2000 кг/см² глубина реза была: в граните ($f=13\div 16$) — 30 мм, в мраморе ($f=8$) — 74 мм и в известняке ($f=6$) — 97 мм. Было отмечено, что глубина реза растет в соответствии с ростом давления по линейному закону. Величина критического давления для отдельных пород определяется их физико-механическими свойствами, в том числе и коэффициентом крепости.

Для разрушения горных пород кроме непрерывной гидроструи была применена прерывистая, импульсная струя, выбрасываемая из сопла отдельными порциями. Как было установлено, при давлениях 3000—5000 кг/см² и диаметре сопла 2 мм выбрасываемые порции воды обладали значительной кинетической энергией, вполне достаточной для разрушения крепких пород.

В Сибирском отделении АН СССР создана гидравлическая пушка-водомер, выбрасывающая струю воды при давлении более $40\,000\text{ кг/см}^2$. Очевидно, при таких условиях возможно разрушение горных пород самой высокой крепости.

Эрозионное гидромониторное бурение

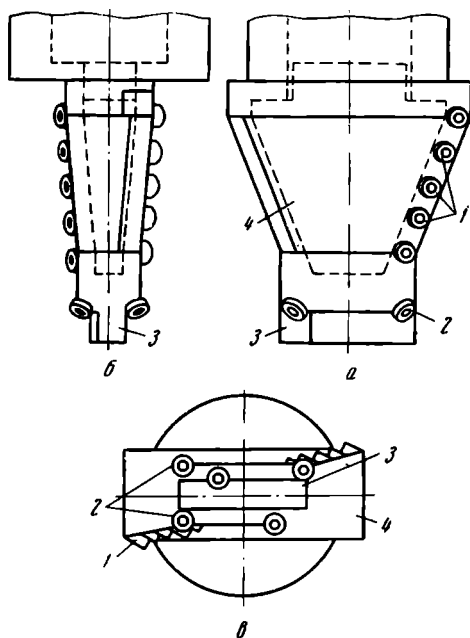
Этот способ разработан фирмой «Галф риссерч энд дивелопмент» и прошел испытание в западном Техасе (было пробурено несколько скважин). При эрозионном гидромониторном бурении разрушение породы происходит под действием струй жидкости, содержащей абразивный материал (кварцевый песок, стальную дробь) в концентрации 5—15% по объему. Размер зерен абразивного материала 20—40 меш. Гидромониторная головка (рис. 148) имеет форму усеченной пирамиды.

На нижней части корпуса 4 размещены насадки 2 для бурения пилотной скважины. Боковые насадки 1, установленные по ребрам, служат для расширения скважины до полного диаметра. Ведущие кромки 3 гидромониторной головки армированы пластинками твердого сплава.

Нижняя штанга имеет прямоугольное сечение. Ее ведущие кромки укреплены твердым сплавом. Скорость истечения жидкости из гидромониторных насадок должна быть не менее 200 м/сек , при перепаде давления порядка 350 кг/см^2 .

Рис. 148. Долото для эрозионного гидромониторного бурения.

а — главный вид; б — вид сбоку; в — вид снизу.



Для уменьшения гидравлических потерь должны применяться бурильные трубы большого диаметра с широкими проходными отверстиями соединений.

При эрозионном бурении скорость проходки не зависит от нагрузки на долото (головку).

Для удержания гидромониторной головки в контакте с забоем удельная нагрузка не должна превышать 50 кг на 25 мм диаметра головки.

Скорость вращения рекомендуется в пределах 40—60 об/мин.

Выходящая из скважины жидкость тщательно очищается от породного шлама с оставлением в ней абразивного материала.

По имеющимся промысловым данным, скорость проходки в крепких породах при эрозионном гидромониторном бурении составляла 18 м/ч, тогда как при роторном бурении она была всего 6 м/ч.

Для получения необходимого давления (до 500 кг/см²) были применены насосы, используемые для гидравлического разрыва пластов и цементирования глубоких скважин.

§ 5. РАЗЛИЧНЫЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД ПРИ БУРЕНИИ

Современные достижения в области физики породили серию новых методов разрушения горных пород, основанных на использовании явления пробоя изоляторов, магнитострикционного эффекта, гидромониторного действия струи, создания термических напряжений на поверхности забоя и на границах раздела кристаллов и цементирующей связки внутри массива разрушаемой породы, перевода породы в другое фазовое состояние и, наконец, на применении взрыва, создаваемого различными техническими средствами.

Для использования явления пробоя изоляторов была использована установка, состоящая из источника питания постоянного тока и батареи конденсаторов, обеспечивающей получение разряда высокого потенциала между двумя электродами, разделенными разрушаемой породой или жидкостью. Если омическое сопротивление жидкости меньше, чем сопротивление породы, разряд идет через жидкость, причем возникающая в канале разряда цилиндрическая ударная волна воздействует на поверхность забоя подобно взрыву. Чем ближе к поверхности забоя будет проходить канал разряда, тем больше будет разрушительный эффект. Наибольший эффект достигается в случае, если разряд пройдет через твердую породу, что возможно при большом сопротивлении жидкости, заполняющей скважину, чем сопротивление породы.

При этом возникающая в канале разряда ударная волна будет заставлять породу работать на отрыв от поверхности забоя. Учитывая, что все породы практически анизотропны и обладают прочностью на разрыв в 13—25 раз меньше, чем на сжатие, нетрудно себе представить, что удельная затрата энергии для этого случая будет чрезвычайно мала и процесс разрушения будет идти при очень высоком коэффициенте полезного действия.

Получение ударных импульсов на поверхности забоя возможно за счет захлопывания вакуумной полости, создаваемой различными путями искусственно на границе раздела двух сред (промысловая жидкость — порода). Вакуумная полость может быть

создана, например, при изменении размеров магнитострикционного элемента, установленного на поверхность забоя, со скоростью, превосходящей критическую скорость истечения жидкости в пустоту. Это можно осуществить при наличии колебательного контура, обеспечивающего получение ультразвуковых частот порядка 15 кГц. При этом количество выделяющейся энергии будет прямо пропорционально величине гидростатического давления.

К сожалению, для осуществления этого метода также существуют трудности, пока непреодолимые. Кавитационный эффект оказывает разрушающее действие не только на породу, но и на магнитострикционный элемент излучателя, отчего работоспособность последнего не удовлетворяет требованию бурения.

Были предложения использовать для бурения лучи лазера, с помощью которых можно сконцентрировать на площади в 1 см² энергию порядка 1 млн. вт.

Наиболее перспективным является электроимпульсный метод, разработанный проф. А. А. Воробьевым. При этом методе скважина заполняется (промывается) жидкостью (трансформаторным маслом, дизельным топливом), электрическая прочность которой превышает электрическую прочность твердого диэлектрика, т. е. породы. В скважине к забою плотно прижимают два электрода и подают импульсы напряжения с крутым фронтом при очень малом времени воздействия каждого импульса ($1 \cdot 10^{-6}$ сек и менее).

В этом случае разряд проходит через твердое тело. Электрический пробой сопровождается эффективным разрушением породы. В этом заключается принципиальная разница между электроимпульсным и электрогидравлическим способом, где разряд проходит через жидкость.

При электроимпульсном бурении амплитуда импульсов может достигать 250 кВ с разрядами емкостью до 15 600 нФ. Частота импульсов до 30 Гц. Электроимпульсный метод бурения характеризуется малой энергоемкостью и отсутствием вращения бурового снаряда.

Плазменный способ разрушения материалов, при котором струя холодной плазмы*, имеющей температуру от 5000° К до 50 000° К, используется для получения отверстий, резки, расплавления, сварки и других операций, требующих высокотемпературного воздействия на материал.

Источником плазмы является плазмотрон, называемый иногда электродуговой плазменной головкой. Создаваемая плазмотроном плазменная струя обладает большим диапазоном различных технологических свойств, зависящих от температуры и скорости истечения плазменной струи, параметров электрического тока, ма-

* Горячими называют плазмы, образующиеся при термоядерных реакциях, температура которых достигает сотен тысяч градусов.

териала электродов, свойств подаваемого газа, а также от физических качеств обрабатываемого объекта.

На рис. 149 показана принципиальная схема плазмотрона. Плазменная струя создается в канале 2 за счет электрического дугового разряда 4 между электродом 1 и электродом 5. Первый электрод выполняется в виде стержня, второй — в виде диска с отверстием (соплом). Электроды друг от друга изолированы. Диаметр отверстия канала должен соответствовать диаметру столба дуги. Через канал вдоль электрической дуги, со стороны первого электрода, продувается газ по направлению к соплу. Проходя через столб разряда электродуги газ ионизируется, образуя плазменную струю, выходящую из сопла в виде ярко светящегося факела 6.

Газ, менее ионизированный и с пониженной температурой, обволакивает столб электродуги, изолируя стенки канала и сопла от теплового воздействия плазменной струи.

Мощность плазменной струи и напряжение электродуги регулируются за счет подачи электрода 1 в канал.

При работе электроды и корпус плазмотрона охлаждаются водяным или газовым потоком, омывающим их. Одновременно происходит охлаждение наружных областей электродуги, что, снижая ионизацию газа и токопроводимость, вызывает кумуляцию энергии дугового разряда в тонкой центральной части дуги, обуславливая термическое обжигание плазменного шнура. Обжигание происходит также за счет действия собственного электромагнитного поля, создаваемого током заряженных частиц в плазме.

Термическое и магнитное обжигание плазменной струи вызывает значительное увеличение плотности энергии в столбе разряда, что создает возможность получения температуры плазменного шнура в несколько десятков тысяч градусов.

Исследования в области применения плазм для разрушения и бурения горных пород ведутся в СССР с 1957 г. При испытании

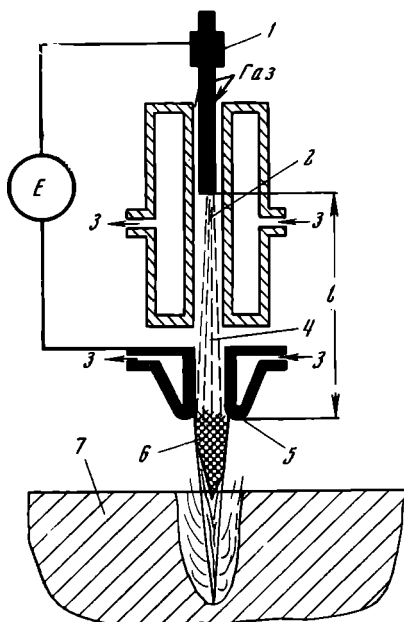


Рис. 149. Схема разрушения породы с помощью плазмотрона.

1 — электрод, 2 — канал, 3 — охлаждающая вода, 4 — столб дуги, 5 — электрод с соплом, 6 — плазменная струя, 7 — порода, E — источник тока, l — углубление дуги в канал.

плазмобуров было установлено, что повышение температуры плазменной струи вначале вызывает резкое увеличение интенсивности разрушения пород и достигает максимума при 4300—4800° К. Дальнейшее увеличение температуры приводит к расплавлению. Энергоемкость плазменного разрушения горных пород ниже, чем при термическом способе бурения.

§ 6. ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ И БУРЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Термомеханический способ разрушения горных пород является комплексным. Порода подвергается целенаправленному нагреву для облегчения разрушения ее механическим способом. При нагреве прочностные показатели почти всех материалов, в том числе и горных пород, можно значительно понизить.

Нагрев забоя скважины должен производиться с помощью источника, нагревающего породу до заданной температуры в самые короткие отрезки времени. Наиболее подходящими для этого являются источники с прямым нагревом пламенем: горелки на жидком и газообразном горючем с активными окислителями, электронагреватели, а также аппараты, создающие нагрев породы забоя за счет трения.

Разрушение подогретых пород забоя скважины можно производить любым из механических способов бурения — ударным, ударно-вращательным и вращательным.

При ударно и ударно-вращательном термомеханическом бурении можно применить пневматические перфораторы, обычные и погружные, в зависимости от условий применения.

При вращательном термомеханическом бурении инструментом, наиболее соответствующим условиям работы, являются шарошечные долота, армированные зубками сплава ВК-15.

При проведении экспериментальных работ по термомеханическому бурению, выполнявшихся Институтом геотехнической механики АН УССР совместно с Днепропетровским горным институтом, были применены погружные перфораторы с бензовоздушной горелкой. Скорости бурения, полученные при испытаниях, в несколько раз превышали скорость бурения каждого механизма в отдельности.

Разработанный институтом Гипрорудмаш опытный станок термшарошечного бурения при испытаниях подтвердил эффективность термомеханических способов бурения. Шарошечное долото при бурении с подогревом забоя скважины обеспечило увеличение скорости бурения более чем в 3 раза.

Комплексные методы бурения являются одними из перспективных, так как здесь возможно сочетание всех лучших качеств других способов бурения.

§ 7. ПЕНЕТРАЦИОННО-КАРОТАЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Для определения основных физико-механических свойств пород за последнее время стали внедряться специальные установки для пенетрационно-каротажных исследований (СПК). Принципиально эта задача решается следующим образом.

Измерительный зонд, содержащий датчики для определения необходимых свойств пород, навинчивается на нижнюю штангу. Вместе со штангой зонд вдавливается в грунт (см. рис. 13). В процессе погружения зонда датчики регистрируют параметры требуемого свойства и передают информацию на пульт наземной регистрирующей аппаратуры. В современных пенетрационных установках используются следующие методы:

1) гамма-гамма-каротаж (ГГК) для определения объемного веса грунтов;

2) гамма-каротаж (ГК) для расчленения разреза песчано-глинистых отложений;

3) нейтрон-нейтронный каротаж (ННК) для установления уровня подземных вод и определения влагосодержания грунтов;

4) статическое зондирование для измерения лобового сопротивления погружению зонда. Это измерение производится с целью определения модуля деформации. Кроме того, статическое зондирование позволяет регистрировать трение по боковой поверхности датчика и нормальное давление с целью определения коэффициента трения и ползучести грунта.

Пенетрационно-каротажная станция (СПК), смонтированная на машине ЗИЛ-157, с помощью гидравлического вдавливающего устройства способна погружать в грунты комбинированные пенетрационно-каротажные зонды с усилием до 12 т. В процессе погружения записывается в виде непрерывных диаграмм информация о свойствах и составе отложений. Вдавливание зонда осуществляется с помощью наращиваемой колонны пенетрационных штанг. Процесс вдавливания и извлечения колонны штанг происходит автоматически. Скорость погружения зонда постоянная и регулируется в пределах до 8 м/мин. Благодаря высокой степени автоматизации рабочих процессов, производительность станции СПК достигает 150 м/смену.

§ Подводная пенетрационно-каротажная станция (ПСПК)

Проведение инженерно-геологических исследований в прибрежных акваториях морей, на водохранилищах, озерах и реках для различных видов гидротехнического строительства весьма трудоемко. Наибольшую технологическую сложность представляют буровые работы на воде. Эти работы сложны тем, что очень трудно отбирать пробы водонасыщенных пород с ненарушенной структурой. Даже наиболее совершенные способы отбора проб с

использованием вибропоршневых трубок не обеспечивают удовлетворительного решения этой задачи.

Разработанная под руководством В. И. Ферронского подводная пенетрационно-каротажная станция (ПСПК) обеспечивает опре-

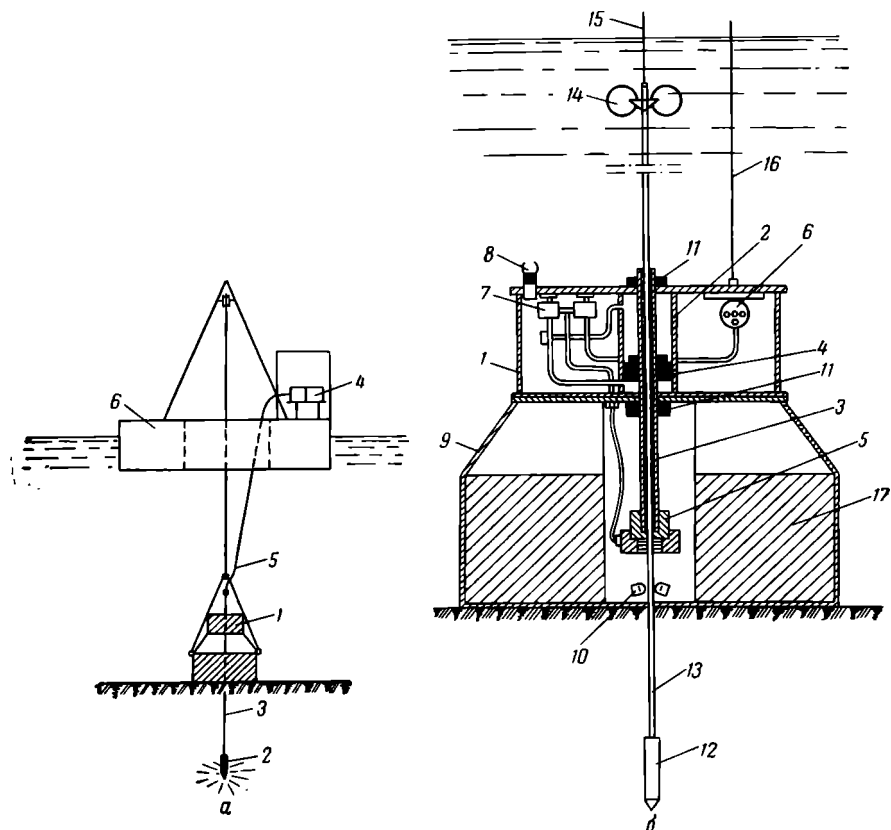


Рис. 150. Схема подводной пенетрационно-каротажной станции ПСПК.

а — общий вид: 1 — подводная установка; 2 — измерительный зонд; 3 — колонна пенетрационных штанг; 4 — пульт управления с регистрирующей аппаратурой; 5 — кабель; 6 — плавсредство с оснасткой;

б — устройство подводной установки ПСПК: 1 — герметичный контейнер, 2 — гидравлический цилиндр, 3 — полый шток, 4 — поршень, 5 — зажимной патрон, 6 — электродвигатель, 7 — гидравлическая система, 8 — компенсатор, 9 — несущая ферма с балластной емкостью, 10 — удерживатель колонны штанг, 11 — бесконтактный конечный переключатель, 12 — измерительный зонд, 13 — колонна штанг, 14 — поплавки; 15 — кабель для питания измерительных датчиков и получения информации, 16 — силовой кабель для питания электромотора и управления режимом работы установки, 17 — балласт.

деление основных физико-механических свойств и литологического состава отложений в разрезе без отбора образцов пород в условиях их природного залегания.

Принципиальное отличие ПСПК от существующих установок аналогичного назначения состоит в том, что установка погру-

жается с плавсредства на дно водоема, откуда производится вдавливание измерительного зонда (рис. 150).

Станция ПСПК состоит из подводной установки для погружения вдавливанием и извлечения измерительного зонда, комплекта измерительной аппаратуры и плавсредства. Установка представляет собой контейнер, в котором смонтировано устройство для вдавливания штанг (рис. 150, б). Измерительная аппаратура включает комбинированный зонд, блок регистрирующей аппаратуры и пульт управления работой подводной установки. Комбинированный измерительный зонд включает пять датчиков: лобового сопротивления, трения, нормального давления, ГГК и ГК. Такая конструкция зонда обеспечивает одновременное получение всех пяти измеряемых параметров грунта и запись их на лентах самописцев в виде непрерывных диаграмм.

В связи с тем что сама установка погружается на дно, разработана специальная система дистанционного управления всеми операциями.

Плавсредство для опытного образца станции ПСПК было изготовлено из четырех стандартных понтонов типа КС грузоподъемностью 25 т каждый. Для питания установки на плавсредстве установлена электростанция.

Работы, проведенные с помощью изготовленного образца ПСПК, которые выполнялись в районе Новороссийска, показали, что разработанная станция обладает высокими технико-экономическими показателями и позволяет выполнять инженерно-геологические исследования акваторий на принципиально новой методической и технической основе.

Заканчивая общий обзор новых методов разрушения горных пород, следует указать, что предстоят большие научно-исследовательские работы до широкого внедрения их в геологоразведочную практику. В ближайшие годы разведочное бурение будет производиться в основном различными породоразрушающими инструментами, при правильном использовании которых можно значительно повысить производительность буровых работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воздвиженский Б. И., Волков С. А. и др. Разведочное колонковое бурение. Госгеолтехиздат, 1957.
2. Волков С. А., Сулакшин С. С., Андреев М. М. Буровое дело. Изд-во «Недра», 1965.
3. Куличихин Н. И., Воздвиженский Б. И. Разведочное бурение. Изд-во «Недра», 1966.
4. Шамшев Ф. А., Тараканов С. Н. и др. Технология и техника разведочного бурения. Изд-во «Недра», 1966.
5. ВИНТИ. Итоги науки и техники. Техника геологоразведочных работ, 1964. Техника и технология разведочного бурения на твердые полезные ископаемые. 1966.
6. Шацов Н. И., Федоров В. С., Кулиев С. М. и др. Бурение нефтяных и газовых скважин. Гостехиздат, 1961.
7. Сб. Бурение глубоких геологопоисковых скважин на суше и на море. Изд-во «Недра», 1965.
8. Воздвиженский Б. И., Борисович В. Т. Подготовка сверхглубокого бурения в океане на верхнюю мантию Земли. Советская геология, № 7, 1967.
9. Гаврилко В. М., Алексеев В. С. Бурение скважин большого диаметра роторными станками с обратной промывкой (обзор по зарубежным материалам). Госстрой СССР, 1966.
10. Методика и техника разведки. Сб. статей № 58 под ред. Г. К. Волосюка. ВИТР, 1967.
11. Воздвиженский Б. И., Куличихин Н. И., Багдасаров Ш. Б., Брылов С. А., Верчеба А. О. Основы горнобурового дела. Изд-во «Недра», 1967.
12. Любимов Н. И. Принципы классификации и эффективного разрушения горных пород при разведочном бурении. Изд-во «Недра», 1967.
13. Ребрик Б. М. Вибротехника в бурении. Изд-во «Недра», 1966.
14. Совершенствование систем технологии и механизации при подземной разработке мощных рудных месторождений. ИГД им. А. А. Скочинского. Госгортехиздат, 1963.
15. Шрейнер Л. А. Физические основы механики горных пород. Гостопиздат, 1950.
16. Сидоренко А. К. Исследование некоторых факторов, влияющих на мощность пневматических перфораторов. Труды Криворожского горнорудного института, вып. VI. Металлургиздат, 1958.
17. Сидоренко А. К. Автоматизация подачи пневматических бурильных молотков. Горный журнал, № 11, 1954.
18. Сидоренко А. К. Применение забойных пневматических перфораторов для бурения разведочных скважин в крепких породах. Днепропетровское областное издательство, 1957.
19. Сидоренко А. К. Пути увеличения скорости бурения разведочных скважин. Разведка и охрана недр, № 10, 1957.
20. Сидоренко А. К. Формула зависимости скорости ударного бурения от длины лезвий коронки. Изв. высших учебных заведений. Горный журнал, № 2, 1960.
21. Сидоренко А. К. Зависимость скорости бурения от диаметра скважины. Горный журнал, № 11, 1965.
22. Суханов А. Ф. Буримость и взрываемость горных пород. Гостехиздат, 1940.

23. Клубничкин К. Ф., Рывкин Г. М. Зависимость скорости бурения от диаметра шпура. Горный журнал, № 10, 1949.
24. Царицын В. В. Технологическое разрушение горных пород. Изд-во «Техника», Киев, 1964.
25. Ямковой Г. Т. Изыскание возможности применения высокого давления воздуха при перфораторном бурении. Труды института НИГРИ. Металлургиздат, 1957.
26. Справочник горного инженера. Госгортехиздат, 1960.
27. Алимов О. Д., Колодяжный Н. С., Карминский В. Н. О создании длинноходовых электросверл с механической подачей. Известия вузов. Горный журнал, № 2, 1963.
28. Соловьянов Л. Н., Макашов Л. Н., Кучер А. А. Буровые машины для металлических рудников. Изд-во «Недра», 1964.
29. Седов Б. Я., Николаенко Л. Т., Юдицкий Г. И. Буровые установки для проходки стволов и скважин. Госгортехиздат, 1962.
30. Сб. «Алмазный и твердосплавный инструмент в горном деле». Изд-во «Техника», Киев, 1965.
31. Арцимович Г. В., Асыченко Е. И. и др. Алмазный и твердосплавный инструмент для бурения шпуров и взрывных скважин. Институт технической информации, Киев, 1963.
32. Сидоренко А. К., Савельев М. С., Жуковский Ю. Э. Новый вибросиловой способ бурения горных пород. Сб. «Горная электромеханика и автоматика», вып. 3. Изд-во Харьковского университета, 1965.
33. Бухарев Н. Н. и Радзиковский Р. М. Бурение погружными пневмударниками как один из резервов повышения эффективности геологоразведочных работ. ОНТИ—ВИЭМС, 1966.
34. Воздвиженский Б. И. и Скорняков А. Л. Бурение взрывных скважин. Госгортехиздат, 1960.
35. Емельянов П. М., Есин Н. Н., Зиновьев Л. И. и Суков Г. И. Машины для бурения скважин погружными молотками в подземных условиях. Новосибирск, 1965.
36. Зиновьев А. А., Максимов Н. И., Следзюк Н. Е., Суков Г. И. и Чинакал Н. А. Применение буровых машин БА-100 и НКР-100 на подземных горных выработках. Новосибирск, 1965.
37. Кудряшов В. П., Михайлов Ю. И., Сидоренко А. К. Горные машины. Изд-во «Недра», 1966.
38. Огибеник Б. П. и Лисовик Л. К. Горные машины. Изд-во «Недра», 1967.
39. Филимонов Н. А. Горные машины для открытых работ. Изд-во «Недра», 1967.
40. Тезисы докладов и сообщений на Всесоюзном совещании по термическому бурению. Институт Гопрорудмаш, 1963.
41. Термическое бурение. Сб. трудов. Изд-во «Недра», 1965.
42. Островский А. П. Новые процессы бурения глубоких скважин. Госгортехиздат, 1960.
43. Эпштейн Е. Ф., Арш Э. И., Виторг Г. К. Новые методы разрушения горных пород. Госгортехиздат, 1960.
44. Бричкин А. В., Болотов А. И. Плазменное бурение горных пород. Ежегодник БСЭ. Советская энциклопедия, 1967.
45. Розенберг Л. Д., Казанцев В. Ф., Макаров Л. О., Яхимович Д. Ф. Ультразвуковое резание. Изд-во АН СССР, 1962.
46. Зеленский Н. М., Галяс А. А., Полуянский С. А., Игнатович Ю. Н., Алымов Б. Д. О применении термомеханического способа разрушения крепких горных пород в рабочих органах проходческих машин. Изв. Днепропетровского горного института, том 47, 1965.
47. Владиславлев В. С. О возможности применения новых методов бурения геологоразведочных скважин. МВ и СО СССР, сер. Геология и разведка, № 10, 1967.
48. Бондарик Г. К., Комаров И. С., Ферронский В. И. Полевые методы инженерно-геологических исследований. Изд-во «Недра», 1967.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.
3

Введение

Раздел I

Бурение разведочных скважин

Глава I.	Физико-механические свойства горных пород и их буримость. Классификация буровых машин	5
Глава II.	Бурение неглубоких поисково-разведочных скважин	24
Глава III.	Колонковое бурение. Общие сведения и оборудование	44
Глава IV.	Промывка и продувка скважин	68
Глава V.	Технология колонкового бурения	78
Глава VI.	Роторное бурение и бурение забойными двигателями	143
Глава VII.	Ударно-канатное бурение	173
Глава VIII.	Бурение скважин на воду	180
Глава IX.	Искривление скважин, измерение искривления и направленное бурение	186

Раздел II

Бурение скважин при разработке месторождений твердых полезных ископаемых

Глава I.	Ударно-перфораторное бурение горных пород	196
Глава II.	Вращательное бурение взрывных скважин	230
Глава III.	Пневмударное бурение скважин	262

Раздел III

Бурение горных выработок

Глава I.	Бурение стволов шахт	298
Глава II.	Бурение горных выработок и скважин большого диаметра	314

Раздел IV

Новые способы бурения

Литература	350
----------------------	-----

ВОЗДВИЖЕНСКИЙ БОРИС ИВАНОВИЧ
СИДОРЕНКО АНАТОЛИЙ КИРИЛЛОВИЧ
СКОРНЯКОВ АЛЕКСАНДР ЛЬВОВИЧ

Современные способы бурения скважин

Редактор издательства Н. А. Круглова
Переплет художника Ю. Г. Асафова

Техн. редактор А. Е. Матюсова
Корректор Т. М. Сторарова

Сдано в набор 7/IV 1970 г. Подписано в печать 27/X 1970 г. Т-14063 Формат 60x90¹/₁₆
Печ. л. 22,0 Уч.-изд. л. 22,9 Бумага № 1 Индекс 1-3-1 Заказ 897/ИД-5
Тираж 4000 экз. Цена 1 р. 41 к.

Издательство «Недра». Москва, К-12, Третьяковский проезд, д. 1/19.
Московская типография № 6 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Москва, Ж-88, 1-й Южно-портовый проезд, 17.