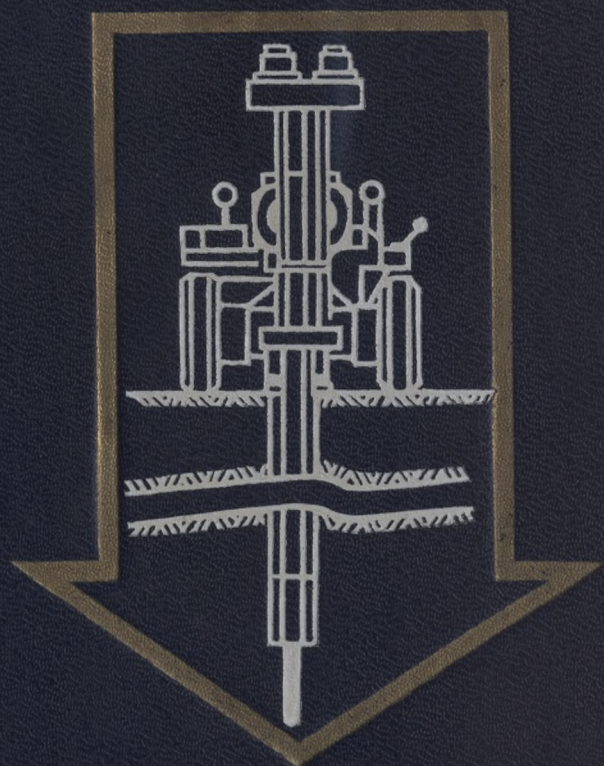


К. И. ИВАНОВ В. А. ЛАТЫШЕВ В. Д. АНДРЕЕВ

# ТЕХНИКА БУРЕНИЯ

ПРИ РАЗРАБОТКЕ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ПОЛЕЗНЫХ  
ИСКОПАЕМЫХ



# ТЕХНИКА БУРЕНИЯ

## ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ,  
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ



МОСКВА "НЕДРА" 1987

5 282 000 000—375

042 (01) — 87



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

Рассмотрены характеристика, классификация и условия рационального применения различных способов бурения шпуров и скважин на подземных и открытых разработках рудных месторождений. Приведены сведения о буровом инструменте, конструкциях современных буровых станков, самоходных бурильных установок и пневмоударников отечественного и зарубежного производства. Описаны режимы бурения, методики расчета параметров буровых процессов, правила эксплуатации бурового оборудования. Изложены вопросы совершенствования развития буровой техники. Третье издание (2-е изд.— 1974) переработано с учетом новейших достижений в области бурения.

Для инженерно-технических работников, связанных с эксплуатацией и проектированием бурового оборудования.

Табл. 31, ил. 146, список лит.— 51 назв.

Рецензент: А. М. Ципкис, инж. (Специальное конструкторское бюро самоходного горного оборудования Минтяжмаша СССР)

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Константин Иванович Иванов  
Владимир Андреевич Латышев  
Валентин Дмитриевич Андреев

## ТЕХНИКА БУРЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Редактор издательства Л. И. Елагин  
Переплет художника А. Е. Григорьева  
Художественный редактор О. Н. Зайцева  
Технический редактор Л. А. Мурашова  
Корректор Е. В. Богаткова

ИБ № 5869

Сдано в набор 23.03.87. Подписано в печать 21.07.87. Т-16618. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типографская № 1. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 17,0. Усл. кр.-отт. 17,0. Уч.-изд. л. 19,23. Тираж 5300 экз. Заказ 760/145—8. Цена 1 р. 30 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,  
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

И  $\frac{2\ 502\ 000\ 000-383}{043\ (01)-87}$  268—87

© Издательство «Недра», 1987

В соответствии с решениями XXVII съезда КПСС в стране взят курс на дальнейшее развитие горнодобывающей промышленности. Увеличение выплавки металлов потребует значительного роста добычи полезных ископаемых, который произойдет как в результате освоения новых месторождений, так и в результате расширения производственной мощности действующих рудников. Характерными особенностями развития рудной базы являются ввод в действие и реконструкция ряда мощных месторождений крепких руд, разрабатываемых открытым и подземным способами.

Разработка крепких руд связана с большими затратами труда, времени и средств на бурение взрывных скважин и шпуров. При современном уровне развития горной техники взрывной метод отбойки крепких руд остается, по существу, единственным и от его эффективности зависят технико-экономические показатели и темпы ведения горных работ.

В настоящее время на смену малоподвижным бурильным установкам на колесно-рельсовом или гусеничном ходу, скреперной доставке и колесно-рельсовому транспорту приходят комплексы мощных самоходных машин на пневмо-колесном ходу с автономным приводом: самоходные шахтные бурильные установки, погрузодоставочные и транспортные машины, машины для перевозки людей и материалов, крепления выработок, зарядания шпуров и скважин, ремонта машин и их заправки [10].

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, применение комплексов самоходных машин позволяет увеличить производительность труда на рудниках в 1,8—2,2 раза при одновременном снижении стоимости добычных процессов на 16—22 %, что вызвало повышенный интерес к их внедрению. Эффективность применения самоходных машин в подземных условиях возрастает с осуществлением многозабойного обслуживания. Составным элементом комплексов являются шахтные бурильные установки и станки.

Как в отечественной, так и в зарубежной практике, наблюдается тенденция создания малогабаритного самоходного оборудования, обусловленная большим объемом проведения выработок малых площадей сечений, особенно на рудниках цветной металлургии.

При описании буровой техники на открытых горных разработках основное внимание уделено шарошечным станкам и станкам с погружными пневмоударниками.

В работе использованы результаты исследований, выполненных авторами совместно с Н. Н. Ушковым, Г. Г. Манзиенко, А. М. Ципкисом, М. Ф. Ярмаком, Ю. Н. Власовым, П. В. Черновым, А. А. Шпенстом.



# 1. СПОСОБЫ БУРЕНИЯ ШПУРОВ И СКВАЖИН И ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

## 1.1. Классификация способов бурения

Процесс образования цилиндрических полостей (выработок) в горной породе носит название бурения. Цилиндрическую горную выработку диаметром до 75 мм и глубиной до 5 м называют шпуром; выработку диаметром более 75 мм при глубине до 5 м или любого диаметра при глубине более 5 м называют скважиной.

Способы бурения шпуров и скважин можно подразделить на два вида. К первому виду относят механические способы бурения, ко второму — теплофизические способы (огневой, термомеханический, плазменный, электротермический).

При механическом бурении разрушение породы на забое шпура или скважины осуществляют внедрением в породу под действием механических усилий твердых тел — инденторов, при этом кристаллографическая структура разрушенных пород не меняется.

По характеру работы инструмента в забое и приложению силовых нагрузок механическое бурение можно разделить на следующие четыре способа: вращательный, вращательно-ударный, ударно-вращательный и ударный (рис. 1.1).

При вращательном бурении разрушение породы на забое скважины происходит благодаря движению инструмента, имеющего форму резца, по винтовой линии. Такое движение является результатом сочетания вращательного и поступательного движений. Вращательно-поступательное движение инструмента на забое шпура или скважины осуществляется за счет приложения к буровому инструменту значительного крутящего момента ( $M_{кр}$ ) и больших усилий ( $F$ ). Ударные нагрузки при этом отсутствуют.

Бурение долотами шарошечного типа многие исследователи относят к ударному бурению, так как зубья долота, перекатываясь по забою скважины, имеют движение, сходное с движением ударного инструмента.

В горной практике скважины бурят долотами, вращающимися с небольшой частотой ( $1-1,5 \text{ с}^{-1}$ ), а следовательно, с малыми скоростями приложения нагрузок (менее  $0,6 \text{ м/с}$ ). При этом порода разрушается в результате статического раздавливания, характерного для вращательного бурения.

При ударном бурении инструмент, заточенный в виде клина, внедряется в породу под действием кратковременного ударного усилия, направленного по оси скважины. При этом осевое статическое усилие, необходимое для того, чтобы инструмент находился в контакте с забоем скважины, отсутствует или очень незначительно. Инструмент после совершения удара отскакивает от забоя

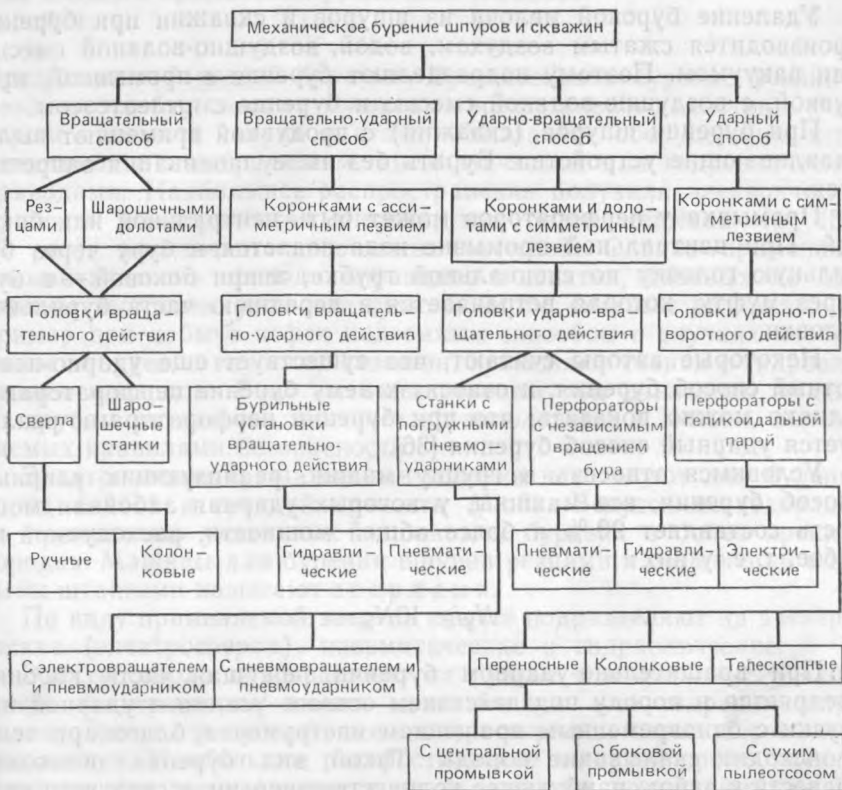


Рис. 1.1. Классификация способов механического бурения.

и может быть повернут на некоторый угол для нанесения удара по новому месту на забое. Крутящий момент, необходимый для поворота инструмента, имеет незначительную величину.

Если механизм вращения бурового инструмента и ударный механизм совмещены в одном корпусе, то такие машины носят название перфораторов. Механизм вращения приводится в действие благодаря энергии поршня при обратном его ходе. Такой принцип построения бурильной головки реализован в перфораторах с геликоидальной парой. Эти машины относят к классу машин ударно-поворотного действия. Перфораторы, у которых вращение инструмента производится с помощью отдельного двигателя с редуктором, носят название перфораторов с независимым вращением бура.

Ударные механизмы могут следовать в скважину за буровым инструментом. Они называются погружными.

По роду подводимой энергии бурильные машины подразделяют на пневматические, гидравлические и электрические.



Удаление буровой мелочи из шпуров и скважин при бурении производится сжатым воздухом, водой, воздушно-водяной смесью или вакуумом. Поэтому подразделяют бурение с промывкой, продувкой, с воздушно-водяной смесью и бурение с пылеотсосом.

При бурении шпуров (скважин) с продувкой применяют пылеулавливающие устройства. Бурить без пылеулавливания запрещается.

Промывка у перфораторов может быть центральной или боковой. При центральной промывке вода подается к буру через бурильную головку по специальной трубке, а при боковой — в бур через муфту, которая встраивается в переднюю часть бурильной головки.

Некоторые авторы считают, что существует еще ударно-поворотный способ бурения, и относят к нему бурение перфораторами. Однако можно показать, что при бурении перфораторами реализуется ударный способ бурения [36].

Условимся относить в группу машин, реализующих ударный способ бурения, все машины, у которых ударная забойная мощность составляет 90 % и более общей мощности, расходуемой на забое, т. е. у них

$$N_y \geq 10N_b.$$

При вращательно-ударном бурении режущая часть коронки внедряется в породу под действием осевого усилия и ударной нагрузки с одновременным вращением инструмента, благодаря чему происходит скалывание породы. Такой вид бурения позволяет подвести к забою наибольшее количество энергии, в силу чего вращательно-ударное бурение отличается высокой производительностью. В машинах вращательно-ударного действия мощность механизма вращения значительно больше мощности механизма ударного. Для такого вида бурения справедливо соотношение  $N_b > N_y$ . Вращательно-ударное бурение применяют для пород с  $f = 6 \div 14$ <sup>1</sup>.

При бурении пород более высокой крепости разрушение происходит преимущественно за счет ударной нагрузки. На вращение инструмента при этом затрачивается меньшая мощность, а осевое усилие приходится уменьшать, так как большое осевое усилие в таких породах не способствует внедрению в них инструмента и вызывает повышенный его износ. Таким образом, в крепких породах целесообразно применять ударно-вращательное и ударное бурение.

При ударно-вращательном бурении буровой инструмент благодаря энергии вращения производит очистку забоя от разрушенных, но не отделившихся от массива частиц породы и разрушение небольшой части породы резанием.

<sup>1</sup> Здесь и далее по тексту коэффициент крепости пород приводится по шкале проф. М. М. Протождяконова.

## 1.2. Области применения различных способов бурения

*Вращательный способ бурения.* Вращательное бурение резанием реализуется бурильными головками вращательного действия, к которым относятся сверла и станки. Указанное оборудование изготавливают с электрическим, пневматическим или гидравлическим приводами. Наибольшее распространение получили электрические приводы. Электрическая энергия, как более дешевая (в 15—20 раз), предпочтительнее пневматической. Однако применение пневматического привода оправдано в шахтах, опасных по внезапным выбросам угля или газа. В особо опасных условиях, например при добыче нефти подземным способом в случаях необходимости бурения глубоких скважин, применяют станки с гидравлическим приводом. Воду к таким станкам под давлением подают по трубам от насосов, которые устанавливают в местах, определяемых правилами безопасности.

Электрические вращательные головки используют для бурения пород слабой и средней крепости ( $f \leq 8$ ). Ведутся исследования по применению указанных машин для бурения в более крепких породах. Машин для бурения шпуров резцами в соединении с витыми штангами называют сверлами.

По виду применяемой энергии сверла подразделяют на электрические (электросверла), пневматические и гидравлические.

Электросверла подразделяют на ручные и колонковые. Колонковые электросверла имеют механическую или гидравлическую подачу. Заводы выпускают все электросверла во взрывобезопасном исполнении. Наибольшее распространение в горной промышленности получили ручные электросверла, которые применяют для бурения шпуров глубиной 1,5—3 м по углю и слабым породам с  $f \leq 3$  (каменная соль, сланцы). Диаметр шпуров 40—45 мм. Ручные электросверла выпускают массой 12—24 кг, частота вращения шпинделя 5—20 с<sup>-1</sup>. Мощность электродвигателя не превышает 1,6 кВт. При бурении ручным электросверлом подача инструмента на забой осуществляется рабочим вручную, величина усилия подачи при этом составляет 200—250 Н. Скорость бурения 0,2—1 м/мин.

Для бурения шпуров и скважин большей глубины (до 10 м) или в более крепких углях (антрацитах) и породах применяют колонковые электросверла. Масса таких электросверл 28—140 кг (без колонн и бурового инструмента). Мощность электродвигателя 1,4—4,8 кВт. Частота вращения шпинделя сверла при наличии сменных шестерен варьирует в широких пределах (1—17 с<sup>-1</sup>). Современные подающие устройства развивают усилия подачи до 16 кН.

Заводы выпускают также пневматические сверла массой 10—15 кг мощностью на шпинделе 1,5—2 кВт и вращающим моментом 25—50 Н·м. Сверла выпускают для бурения с руки и пневмомодержки.



Для бурения скважин в породах с  $f \leq 8$  применяют станки вращательного действия, выпускаемые с электрическим и пневматическим приводами. Масса станка 200—400 кг. Частота вращения шпинделя  $2,5\text{—}3\text{ с}^{-1}$ . Мощность двигателя  $3\text{—}8\text{ кВт}$ . Осевое усилие  $0,5\text{—}1,5\text{ кН}$ . Глубина бурения скважин диаметром  $60\text{—}80\text{ мм}$  равна  $60\text{—}70\text{ м}$ .

Для бурения резцами в мягких породах может быть применен любой станок, предназначенный для дробового или алмазного бурения.

Для бурения алмазами применяют специальные станки. Коронка для сплошного или кернового бурения, армированная алмазами, при вращении разрушает породу забоя скважины, которая потом выносится на поверхность водой. Алмазную коронку подают на забой с помощью буровых штанг, вращение и осевое перемещение которым передается от станка. Станки для алмазного бурения отличаются портативностью, большой частотой вращения ( $7\text{—}50\text{ с}^{-1}$ ). Мощность двигателя  $2,5\text{—}12\text{ кВт}$ . Масса станка  $50\text{—}300\text{ кг}$ . Такими станками бурят скважины диаметром  $33\text{—}93\text{ мм}$  и глубиной до  $100\text{ м}$ .

На открытых горных работах при вращательном бурении резанием используют инструменты из резцовых коронок со шнековым буровым ставом. Диаметр скважины  $115\text{—}160\text{ мм}$ . Для бурения скважин диаметром  $115\text{ мм}$  применяют легкие станки массой до  $2\text{ т}$  с ходовым устройством шагающего типа. Скважины диаметром  $125\text{—}160\text{ мм}$  бурят станками 2СБР-125-30, СБР-160А-24 (ГОСТ 20078—74). Станки оборудованы гусеничным ходом. Масса станка до  $12\text{ т}$ . Мощность вращателя  $40\text{ кВт}$ . Частота вращения бурового инструмента  $2\text{—}3\text{ с}^{-1}$ .

Станки для бурения долотами шарошечного типа с воздушной очисткой скважин нашли наибольшее распространение в горной промышленности. На открытых горных работах такими станками бурят скважины диаметром  $160\text{—}320\text{ мм}$ , глубиной до  $40\text{ м}$ . Частота вращения долота  $1\text{—}3\text{ с}^{-1}$ . Масса станка  $20\text{—}130\text{ т}$ . Такие станки применяют для бурения взрывных скважин по породам с  $f = 6 \div 18$ .

*Ударный способ.* В практике разработки рудных месторождений полезных ископаемых наибольшее распространение имеет ударное бурение переносными перфораторами с пневмодержками и телескопными перфораторами (ГОСТ 18093—79). Переносными перфораторами бурят шпуры диаметром  $30\text{—}55\text{ мм}$ , глубиной до  $4\text{ м}$ , а телескопными — скважины диаметром  $40\text{—}85\text{ мм}$ , глубиной до  $25\text{ м}$ . Перфораторами бурят скважины в породах с  $f = 6 \div 20$  и выше.

*Вращательно-ударный способ.* Машины вращательно-ударного действия появились в последние двадцать лет. Из-за необходимости создания высокого осевого усилия машины этого типа имеют большую массу и высокую стоимость. Бурение такими машинами ведут с колесных или гусеничных установок. Бурят шпуры диаметром  $40\text{—}65\text{ мм}$ , глубиной до  $4\text{ м}$ . Глубину бурения шпуров оп-

ределяют длиной податчика, так как бурение производят цельными штангами. Опыт показывает, что машины этого типа целесообразно применять для бурения в породах с  $f=6 \div 12$ .

**Ударно-вращательный способ.** При отбойке руды методом глубоких скважин в подземных условиях бурят скважины глубиной до 50 м, диаметром 85—160 мм. Бурят такие скважины буровыми станками с погружными пневмоударниками. Станок состоит из механизма вращательного действия и пневмоударника, подаваемого в скважину с помощью штанг. Благодаря тому, что ударное бурение не требует больших силовых нагрузок, указанные станки имеют небольшую массу. Станки просты в изготовлении, удобны в эксплуатации. Их широко применяют при бурении скважин диаметром 85—125 мм.

На открытых разработках широко используют станки ударно-вращательного действия для бурения скважин диаметром 105—

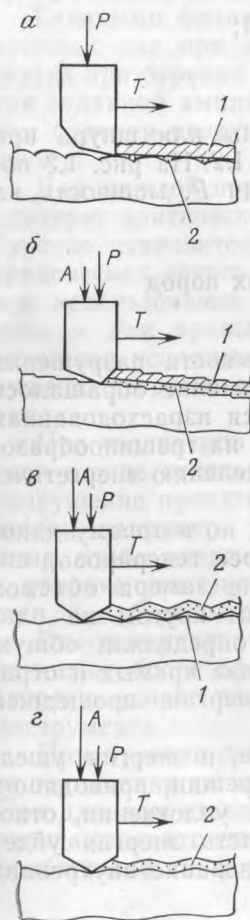
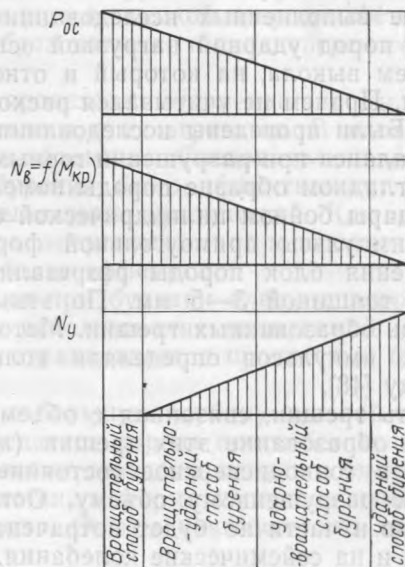


Рис. 1.2. Схема разрушения пород забоя скважины:

а — при вращательном, б — при вращательно-ударном, в — при ударно-вращательном и г — при ударном способах бурения; А — силовой импульс; Р — осевое усилие на инструмент; Т — окружное усилие при вращении инструмента; 1 — разрушение породы за счет среза; 2 — разрушение породы ударной нагрузкой и вибрацией инструмента

Рис. 1.3. Относительные значения осевого усилия  $P_{ос}$ , мощности на вращение  $N_в$  и ударной мощности  $N_у$  при различных способах бурения ( $M_{кр}$  — крутящий момент)



160 мм и глубиной до 40 м в породах с  $f=10\div 20$ . Станки с погружными пневмоударниками выполняют как на колесном, так и на гусеничном ходу.

К машинам ударно-вращательного действия относят и мощные колонковые перфораторы с независимым вращением бура. Такими перфораторами бурят глубокие взрывные скважины диаметром 46—85 мм, глубиной до 30 м в породах с  $f=6\div 20$ . Колонковые перфораторы устанавливают на колонках или передвижных установках.

В соответствии с изложенным области применения способов бурения шпуров и скважин можно подразделить следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} N_v &= f [M_{кр}(P)] \\ N_y &= 0 \end{aligned} \right\} \text{— вращательный;} \\ N_v > N_y &\text{— вращательно-ударный;} \\ N_y > N_v &\text{— ударно-вращательный;} \\ N_y &\geq 10N_v \text{— ударный.}$$

Картина разрушения пород забоя скважины или шпура при различных способах бурения показана на рис. 1.2. На рис. 1.3 показаны относительные значения осевого усилия  $P$ , мощности на вращение  $N_v$  и ударной мощности  $N_y$ .

### 1.3. Энергоемкость процесса разрушения горных пород при бурении

В ранее выполненных исследованиях энергоемкости разрушения горных пород ударной нагрузкой основное внимание обращалось на объем выкола, на который и относилась вся израсходованная энергия. Причем не учитывался расход энергии на трещинообразование. Были проведены исследования по определению энергетического баланса при разрушении горных пород.

На гладком образце породы помещали бур, по которому наносили удары бойком цилиндрической формы. Боек генерировал силовые импульсы прямоугольной формы. После замера объемов разрушения блок породы разрезали алмазным кругом на пластинки толщиной 3—5 мм. По этим срезам определяли общую площадь образованных трещин. Методом анализа прямых и отраженных импульсов определяли количество энергии, прошедшей в породу [48].

Часть трещин, связанная с объемом выкола, и энергия, ушедшая на образование этих трещин (а также трещин, приводящих породу в тонкодисперсное состояние) и ядра уплотнения, относятся к разрушенному объему. Остальная часть энергии уйдет в массив и частично будет потрачена на образование внутренних трещин и на сейсмические колебания.

Исследования показали [48], что площадь внутренних трещин изменяется в значительных пределах с изменением длины ударника, а следовательно, и времени действия ударной нагрузки.

При разрушении шокшинского кварцита ударником с энергией удара 35 Дж в породе ушло 21 Дж энергии, в результате чего образовался выкол  $0,145 \text{ см}^3$ , а поверхность выкола и площадь внутренних трещин составила  $16,2 \text{ см}^2$ .

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что на отделение объема выкола и его дробление тратится 5—10 % энергии, прошедшей в породе, на образование трещин в массив — так же 5—10 %, на образование ядра уплотнения — около 1 %. Остальная часть энергии в количестве до 86 % тратится в массиве.

Установлено, что, меняя угол заострения лезвия инструмента, можно управлять распределением энергии между зонами разрушения породы. Острый инструмент создает видимую часть разрушения в большом объеме, тупой инструмент — незначительную лунку выкола, но глубокую трещину.

Главными физическими критериями интенсивности воздействия внешних сил при механическом бурении являются удельная нагрузка при бурении резанием и удельная контактная энергия удара при заданной амплитуде силового импульса. При резании и ударном бурении разрушение горных пород имеет скачкообразный характер.

Для каждой породы при вращательном бурении резанием существует критическое осевое усилие, ниже которого вращательное бурение становится нерациональным, а при ударном бурении — критическая энергия удара, обеспечивающая наиболее рациональное использование кинетической энергии. То же самое справедливо и для вращательно-ударного бурения. Бурение с малыми силовыми усилиями сопровождается высокой энергоемкостью разрушения горных пород с образованием тонкодисперсного материала.

При увеличении нагрузок происходит отделение породы от массива в виде отдельных кристаллов и их агрегатов. В этом случае разрушение принято называть объемным. Следовательно, для того чтобы, например, ударное бурение было эффективным, необходимо, чтобы энергия удара была выше критической. Как правило, с увеличением энергии удара энергоемкость процесса уменьшается, т. е. бурение протекает более эффективно.

Высокие удельные нагрузки при бурении крепких пород обеспечивают более эффективное использование подводимой к забой энергии, однако величина их ограничивается прочностью бурового инструмента.

При бурении скважин на небольшую глубину силовой импульс от хвостовика по штанге передается породе почти без искажения. При длинном стале штанг условия передачи импульса значительно отличаются: его энергия теряется, а форма импульса изменяется, приближаясь к форме колокола. Опыты показали, что для буре-



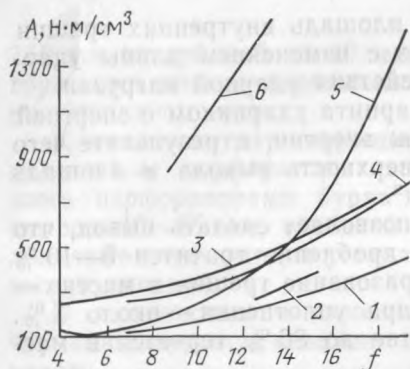


Рис. 1.4. Графики изменения удельной энергоёмкости  $A$  при бурении пород от их крепости  $f$

(кривая 3) более высокую энергоёмкость. Машины вращательно-ударного действия менее энергоёмки, чем переносные перфораторы. При бурении в мягких породах их применение неэффективно (кривая 5). Бурение пневмоударниками менее эффективно (кривая 4), чем мощными колонковыми перфораторами. Бурение скважин шарошечными долотами (кривая 2), несмотря на высокую скорость бурения и относительно большой диаметр, требует больших энергетических затрат, которые могут быть снижены путем увеличения силовых усилий на буровой инструмент. При очень высоких усилиях этот способ бурения будет наименее энергоёмким.

Алмазное бурение (кривая 6, диаметр коронки 36 мм) является наиболее энергоёмким, благодаря тому что при этом виде бурения продукты разрушения самые мелкие.

#### 1.4. Влияние формы импульса на энергоёмкость разрушения твердых сред

Первые опыты по влиянию формы ударяющего тела на разрушение твердых сред были начаты авторами в 1958 г. Первоначальные опыты проводились с пневмоударником М1900, в который вставлялись бойки разной длины. Опыты показали, что длина бойка существенно влияет на производительность бурения.

С увеличением массы поршня с 0,82 до 2,6 кг, а следовательно, и его длины скорость бурения изменилась от 57 до 98 мм/мин. Энергоёмкость разрушения породы уменьшилась с 62 до 22 Дж/см<sup>3</sup>. Частота ударов существенно уменьшилась, в то время как работа единичного удара менялась незначительно. Проведенные опыты позволили утверждать, что длина поршня-ударника существенно влияет на эффективность разрушения твердых сред. Однако исследования, выполненные в условиях забоя, не позволили с приемлемой точностью определить количественные величины обнаруженного явления и вскрыть характер поведения зависимостей.

Дальнейшие экспериментальные работы проводили на вертикальном копре КДР-1 с использованием метода единичных ударных нагрузок. Применявшиеся ударники имели постоянную массу и разные геометрические размеры: площадь сечения и длину. Удары наносили по буровой штанге диаметром 25 мм и длиной 1 м. На конце штанги находилась долотчатая коронка диаметром 46 мм с углом приострения лезвий  $110^\circ$ . В качестве разрушаемой среды использовали блоки гранита и мрамора. Силовые импульсы в штанге регистрировали с помощью катодно-осциллографической установки 2ТСУ-2.

Опыты показали, что энергоемкость разрушения твердой среды (породы) уменьшается с увеличением энергии удара. Вместе с тем было показано, что на эффект разрушения существенное влияние оказывают амплитуда силового импульса и его длительность.

Более длинные ударники, обеспечивающие большую продолжительность силового воздействия, разрушают твердую среду в 1,4—1,9 раза экономичнее коротких и утолщенных [22].

Исследован также процесс разрушения твердой среды ударниками переменной формы. С этой целью наряду с другими были изготовлены два ударника, имеющие форму усеченного конуса. Масса ударников 7000 и 7015 г. Размеры их следующие: диаметр большого основания 94 и 110 мм, диаметр меньшего основания 27 и 26 мм, длина обоих ударников 230 мм. Испытания проводились на граните. Коэффициенты вариации в опытах составили 12,5—22,3 %. Результаты опытов показаны на рис. 1.5.

Из рассмотренных графиков следует, что энергоемкость процесса разрушения среды этими ударниками неодинакова. Наименьшую энергоемкость создает ударник, совершающий удары тонким концом по буровой штанге. Причем разница в его пользу при малых скоростях и малых энергиях удара ( $\Theta$ ) более значительна (28 %). С ростом энергии удара эта разница уменьшается до 9 %.

Был выполнен анализ прямых и отраженных импульсов по методике, изложенной в работе [48], результаты которого показаны на рис. 1.6, а и б. При ударе толстым концом энергия отражения от забоя составила 23 Дж, а при ударе тонким концом — 16 Дж (общая энергия удара 60 Дж). Количество энергии, перешедшей в среду в первом случае, составляет 27 Дж, а во втором — 44 Дж, т. е. выше в 1,6 раза.

Величина внедрения инструмента в среду составляет соответственно 0,58 и 0,72 мм. Время длительности импульса  $t=625$  мкс.

Усилие на лезвие долота при ударе о штангу толстым концом равно 101,25 кН, а тонким — 81 кН. При этом длительность действия наибольшего усилия во втором случае больше, чем в первом. Напряжения, создаваемые в штанге первым ударником, меньше, чем во втором.

В первом приближении это явление можно объяснить следующим образом: при ударе о штангу тонким концом форма силового импульса соответствует во времени сопротивлению разрушаемой среды внедряющемуся инструменту. Усилие, необходимое для

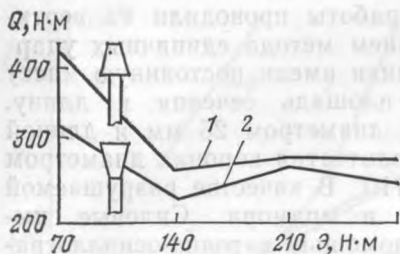


Рис. 1.5. Графики изменения энергоемкости разрушения  $Q$  гранита коническими ударниками при ударе по штанге толстым (1) и тонким (2) концами

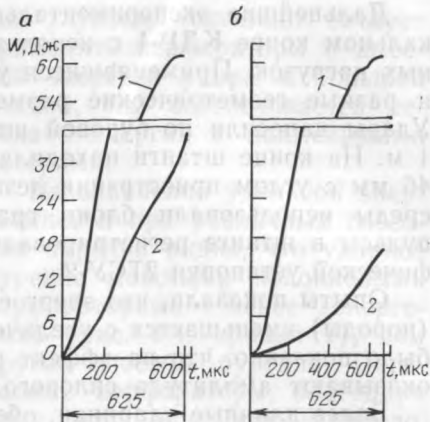


Рис. 1.6. Графики изменения импульса  $W$  при ударе о штангу коническими ударниками толстым (а) и тонким (б) концами:

1 — энергия силового импульса; 2 — отраженная от забоя энергия

внедрения острого долота в породу, будучи в начале процесса внедрения небольшим, должно возрастать по мере углубления долота в породу, так как при углублении площадь контакта лезвия долота с породой увеличивается. Соответственно этому должна возрастать и амплитуда силового импульса. Поскольку амплитуда силового импульса пропорциональна площади сечения ударника, то при ударе меньшим основанием в начале удара будут создаваться меньшие напряжения. По мере прохождения волны по конусу эти силы будут возрастать. Энергия при ударе меньшим основанием передается штанге и далее породе более рационально, так как в этом случае форма силового импульса будет более соответствовать силам, необходимым для разрушения среды.

Таким образом, для эффективного разрушения любой твердой среды должны создаваться силовые импульсы, близко совпадающие с разрушающим усилием. Необходимо также обеспечить продолжительность силового импульса, величина которого определяется длиной ударяющего тела. Чрезмерная длина ударяющего тела может привести к нерациональному использованию энергии силового импульса.

На основании проведенных опытов была предложена рекомендация [20, 21] о целесообразности применения поршней-ударников, силовой импульс которых совпадает с усилиями, возникающими при внедрении. Применение таких машин позволит увеличить производительность бурения без существенных затрат.

### 1.5. Влияние амплитуды и длительности прямоугольного силового импульса на энергоемкость разрушения твердых сред

До последнего времени определение удельной энергоемкости при ударе производилось без учета количества энергии, непосредственно идущей на разрушение; учитывалась лишь общая энергия,

подводимая к инструменту, которую относили к объему разрушенной среды.

Такая методика позволяет лишь косвенно оценить процесс разрушения, так как она не вскрывает истинную энергоемкость процесса разрушения.

Энергия, прошедшая в разрушаемую среду, расходуется на собственное разрушение, упругие деформации, разлет частиц, нагрев, колебания массива.

Для определения истинной энергоемкости процесса разрушения необходимо определить коэффициент передачи удара от инструмента к разрушаемой среде. Этот коэффициент определяется на основе анализа прямых и отраженных импульсов [48]. Энергия, переданная разрушаемой среде, или истинная энергия, ушедшая на разрушение, определяется как разность прямого и отраженного импульсов.

Для того чтобы более рельефно показать процесс прохождения силового импульса через штангу в среду (породу), исследования выполняли с бойками площадью сечения, равной площади сечения штанги (идеальные ударники). Такие ударники давали почти прямоугольные импульсы, причем процесс передачи энергии от ударника к штанге происходил за один проход волны.

Опыты проводились на мраморе, т. е. на породе, сравнительно некрепкой. В этом случае объемы разрушенных пород значительны, что повышает точность оценки результатов измерения.

Ударяемым элементом являлся бур с головкой, армированной пластинкой твердого сплава. Диаметр штанги и ударника был равен 22 мм. Характеристика ударников приведена в табл. 1.1.

В опытах силовые импульсы фиксировались на экране осциллографа и фотографировались. Опыты проводились в диапазоне скоростей приложений силовых нагрузок 2,64; 3,7; 5,4; 6 м/с.

Результаты опытов показаны на рис. 1.7. Коэффициент передачи энергии удара от ударника к штанге определяли как отношение энергии прямого импульса к кинетической энергии ударника. Как видно, величина  $\eta_1$  равна 0,95—0,98 независимо от размеров применяемых ударников. Коэффициент передачи энергии от бура в породу  $\eta_2$  резко изменяется. С увеличением скорости ударной нагрузки увеличивается энергия удара, в результате чего растут силы на лезвии инструмента. Это способствует уменьшению отраженной энергии, и большая часть энергии передается породе. Эффект улучшения передачи энергии в среду с ростом скорости движения ударника особенно рельефно проявляется для

ТАБЛИЦА 1.1

Обозначение ударника	Длина ударника, м	Масса, кг	Обозначение ударника	Длина ударника, м	Масса, кг
№ 1	0,5	1,5	№ 3	0,3	0,9
№ 2	0,4	1,2	№ 4	0,2	0,6



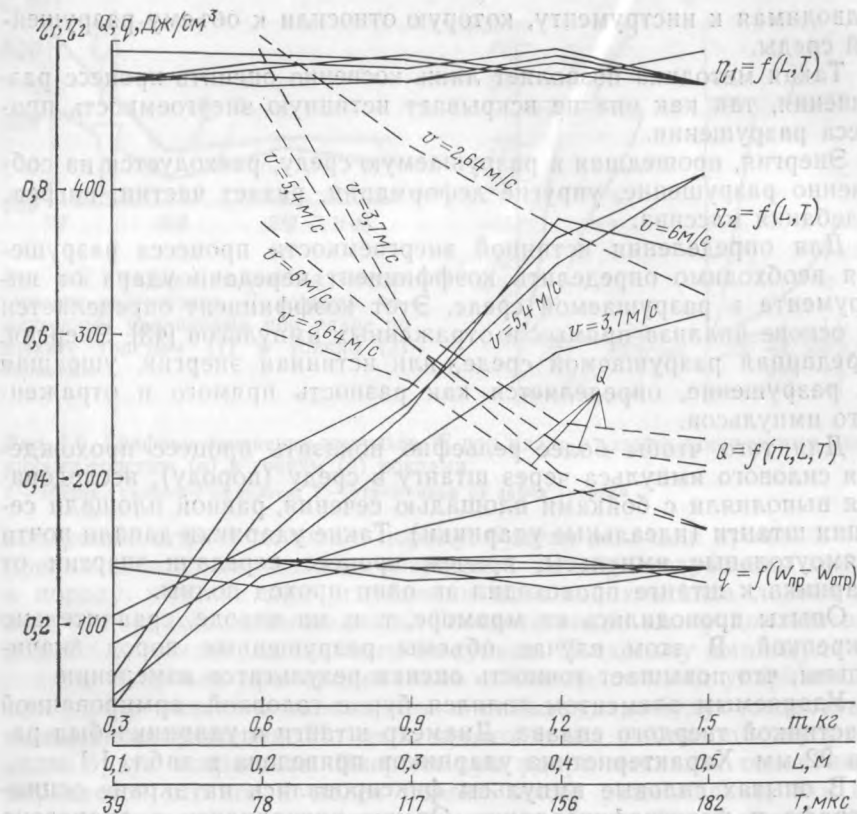


Рис. 1.7. Результаты испытаний идеальных ударников

$\eta_1$  — коэффициент передачи энергии от ударника к штанге;  $\eta_2$  — коэффициент передачи энергии удара от бура в породе;  $Q$  — кажущаяся энергоёмкость разрушения;  $q$  — истинная энергоёмкость разрушения;  $v$  — скорость движения ударника;  $m$  — масса ударника;  $L$  — длина ударника;  $T$  — время удара

длинных ударников: они обеспечивают большую продолжительность воздействия на разрушаемую среду. Для коротких ударников при всех скоростях соударения  $\eta_2 = 0,1 \div 0,22$ . Для длинных ударников  $\eta_2 = 0,4 \div 0,82$ .

Применение длинных ударников снижает энергоёмкость разрушения твердой среды (породы).

Для всех поршней и всех скоростей истинная энергоёмкость разрушения

$$q = (W_{\text{пр}} - W_{\text{отр}})/G,$$

где  $W_{\text{пр}}$  и  $W_{\text{отр}}$  — энергия прямого и отраженного импульсов;  $G$  — объем разрушенной породы.

Результаты подсчетов показывают, что в условиях опытов  $q = 140,3$  Дж/см<sup>3</sup>, т. е. для всех случаев истинная энергоёмкость

есть величина постоянная и наименьшая. О стабильности показателя  $q$  можно судить по следующему обстоятельству. Средняя величина истинной энергоемкости по 22 значениям энергии удара для известняка равна  $140,3 \text{ Дж/см}^3$  при коэффициенте вариации 3,9 %. Энергия удара в опытах при этом менялась от 1,05 до 28,4 Дж, т. е. в 27 раз.

Короткий ударник при скорости соударения 2,64 м/с имеет кажущуюся энергоемкость  $Q=530 \text{ Дж/см}^3$ , а длинный — при скорости 6 м/с  $170 \text{ Дж/см}^3$ , т. е. в три раза меньшую. Это говорит о том, что величиной коэффициента полезного действия удара можно управлять, меняя скорость  $v$ , длину  $L$  и площадь сечения  $F$  ударника.

По результатам опытов была построена зависимость  $Q$  от  $W$  (рис. 1.8), которая показывает, что с ростом энергии удара энергоемкость уменьшается.

При рассмотрении графиков для разных скоростей можно заметить, что одному и тому же значению энергии удара соответствуют два значения скорости, причем более высоким скоростям соответствуют и более высокие значения энергоемкости. Разница составляет 20—30 %. Это говорит о том, что при выборе параметров удара внимание следует придавать массе, а не скорости. Увеличение скорости приводит к росту инерционных сопротивлений среды, что увеличивает энергоемкость процесса разрушения.

В опытах истинная энергоемкость была получена при динамическом нагружении, однако желательно получить величину при статическом нагружении. Статические испытания проводили на 100-тонном прессе; давление передавалось на тот же инструмент, что и при динамических испытаниях.

На рис. 1.9 показан график зависимости величины внедрения лезвия долота  $u$  от осевого усилия  $P$  (сила, внедрение).

Площадь кривой  $P-u$  отражает энергию, затраченную на разрушение твердой среды. Отношение затраченной энергии к объему разрушенной породы определяет энергоемкость статического разрушения  $q$ . Эта величина оказалась равной  $102-127 \text{ Дж/см}^3$ . Динамическая энергоемкость была равна  $132-147 \text{ Дж/см}^3$ .

Пользуясь полученными зависимостями, можно определить к. п. д. ударной системы и принять за меру качества бурильной машины.

$$\eta = q/Q$$

Показатель целесообразно ввести в технические характеристики ударных машин. Он будет оценивать конструктивную особенность машин и их соответствие породам, для бурения которых они предназначены.

Для практических целей производилась оценка влияния формы поршня на производительность бурильных машин. С этой целью был изготовлен перфоратор, в который вставляли поршни разной длины. Производилось бурение в различных породах. Во всех

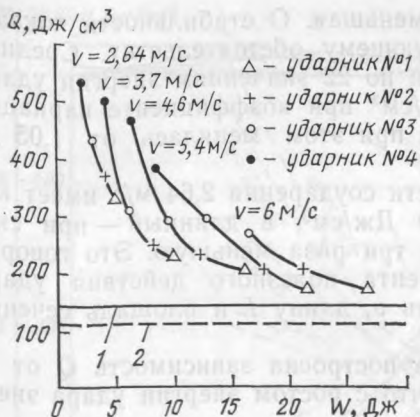
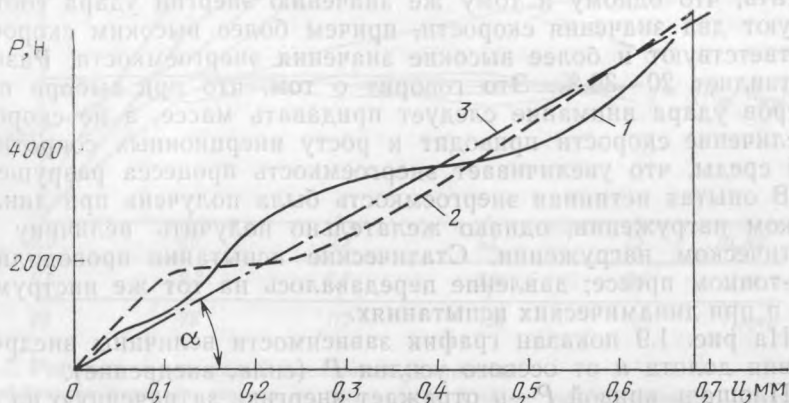


Рис. 1.8. Зависимость кажущейся энергоёмкости разрушения  $W$  от скорости удара:

1 — истинная энергоёмкость; 2 — энергоёмкость при статическом вдавливании

Рис. 1.9. Диаграмма «сила — внедрение» для мрамора:

1 — при статическом нагружении коронки ( $d=40$  мм); 2 — при внедрении коронки от удара ударником равного со штангой сечения; 3 — линейризованная кривая



случаях длинные поршни обеспечивали более высокую производительность бурения при меньших напряжениях в буровом инструменте [48].

### 1.6. Закон формы ударяющего тела

Выше было показано, что на современном уровне знаний уже недостаточно пользоваться для оценки процесса разрушения твердых сред только кинетической энергией ударяющего тела. Необходимо учитывать и его форму. В связи с этим можно сформулировать следующий закон формы ударяющего тела\*.

Эффективность разрушения твердой среды при заданной кинетической энергии ударяющего тела определяется формой этого

\* Сделана заявка в ГКНТ К. И. Ивановым, Е. В. Александровым, Г. Г. Манзюенко и др. ОТ—3267.

тела, которая, взаимодействуя с ударяемым телом, создает изменяющиеся во времени силы, причем наименьшая энергоемкость разрушения среды будет тогда, когда нагрузка по времени совпадает с формой начального импульса, т. е. тогда, когда отраженная энергия будет минимальной.

В связи с высказанным положением возникает необходимость доказать следующую теорему: «Величина внедрения твердого тела в среду под действием ударной нагрузки определяется не только кинетической энергией ударяющего тела, но и его формой».

Если масса, плотность тела и площадь сечения известны, то его форма определяется длиной.

Тогда надо доказать, что

$$\eta = f(l),$$

т. е. к. п. д. передачи энергии удара от ударяющего тела в разрушаемую среду является функцией длины ударяющего тела ( $l$  — длина ударяющего тела).

Для доказательства теоремы сравним к. п. д. энергии удара, переданной от ударяющего тела в среду, через промежуточное ударяемое тело

$$\rho S l = m = \text{const}; \quad \rho = E/a^2,$$

где  $\rho$  — плотность материала тел;  $S$  — площадь сечения ударяющего тела;  $l$  — длина ударяющего тела;  $E$  — модуль упругости;  $m$  — масса ударяющего тела;  $a$  — скорость звука в материале соударяемых тел.

Определим площадь сечения в функции длины ударяющего тела:

$$S = \frac{m}{\rho l} = \frac{ma^2}{El},$$

Введем соотношение

$$S/S_0 = x,$$

где  $S_0$  — площадь сечения ударяемого тела;

$$x = \frac{a^2 m}{ES_0 l}.$$

Введем следующие допущения:

1. Будем полагать, что ударяемое тело намного длиннее ударяющего тела.

2. Среда оказывает сопротивление при внедрении по линейному закону.

3. Рабочей является первая ступень импульса, а вторая и третья ступени внедрения не производят в силу своей малости.

Время действия основного импульса  $t = 2l/a$ .

Сила, действующая в ударяемом теле,

$$A = \frac{ES_0 Q}{2a},$$



где  $v_0$  — скорость движения ударяющего тела;  $Q$  — коэффициент прохождения силы от ударяющего в ударяемое тело.

$$Q = \frac{2}{1+x}; \quad A = \frac{ESv_0}{a(1+x)}.$$

Условие линейности нагрузки показывает, что

$$F = ku; \quad u = u_1 + u_2.$$

где  $u$  — величина внедрения тела в среду;  $k$  — коэффициент, характеризующий условия внедрения тела под действием силы;  $F$  — сила, необходимая для внедрения ударяемого тела в среду;  $u_1$  — величина внедрения от прямой волны;  $u_2$  — величина внедрения от отраженной волны.

— В точке  $x=0$

$$F_1(0, t) + F_2(0, t) = k[u_1(0, t) + u_2(0, t)], \quad (1.1)$$

где  $F_1$  и  $F_2$  — силы, создаваемые прямой и отраженной волнами.

Для волны, идущей вправо,

$$\begin{aligned} u_1\left(t - \frac{x}{a}\right) &= u_1(z); \\ z &= \left(t - \frac{x}{a}\right); \quad \frac{\partial z}{\partial t} = 1; \quad \frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{1}{a}; \\ \frac{du_1}{dx} &= \frac{du_1}{dz} \frac{\partial z}{\partial x} = u_1' \left(-\frac{1}{a}\right) = -\frac{u_1'}{a}, \end{aligned}$$

где  $z$  — время действия импульса;  $u'$  — скорость деформации.

Для волны, идущей влево,

$$\begin{aligned} u_2 &= (t + x/a) = u_2(z); \quad z = (t + x/a); \\ \frac{\partial z}{\partial t} &= 1; \quad \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{1}{a}; \quad \frac{du_2}{dx} = \frac{du_2}{dz} \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{u_2'}{a}; \\ \frac{du_2}{dt} &= \frac{du_2}{dz} \frac{\partial z}{\partial t} = u_2'. \end{aligned}$$

Пользуясь законом Гука, можно составить уравнение:

$$\begin{aligned} F_1 &= -ES_0 \frac{du_1}{dx} = \frac{ES_0}{a} u_1'; \\ u_1 &= \frac{a}{ES_0} \int F_1 dt + c; \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$F_2 = ES_0 \frac{du_2}{dx} = -\frac{FS_0}{a} u_2'; \quad u_2 = -\frac{a}{ES_0} \int F_2 dt + c.$$

Из уравнения (1.1), пользуясь выражением (1.2), получаем

$$F_1 + F_2 = \frac{ka}{ES_0} (\int F_1 dt - \int F_2 dt + c).$$

Дифференцируя по  $t$ , получаем

$$F'_1 + F'_2 = \frac{ka}{ES_0} (F_1 - F_2).$$

Прямой импульс в ударяемом теле будет

$$F_1 = A = \frac{ES_0 v_0}{a(1+x)}.$$

$F'_1 = 0$ , так как импульс прямоугольный, поэтому

$$F'_2 = \frac{ka}{ES_0} (A - F_2).$$

Решением этого уравнения будет выражение

$$F_2 = A \left( 1 - 2e^{-\frac{ka}{ES_0} t} \right),$$

где  $t = 2l/a$  — время прохождения импульса по ударяемому телу.

$$F_2 = A \left( 1 - 2e^{-\frac{2kl}{ES_0}} \right);$$

$$u = \frac{F_1 + F_2}{k} = \frac{A}{k} + \frac{A \left( 1 - 2e^{-\frac{2kl}{ES_0}} \right)}{k};$$

$$u = \frac{2A}{k} \left( 1 - e^{-\frac{2kl}{ES_0}} \right).$$

Полезная работа при внедрении

$$W_{\text{пол}} = \frac{1}{2} ku^2.$$

Затраченная работа (работа ударяющего тела)

$$W_{\text{затр}} = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{\rho x S_0 v_0^2}{2} = \frac{Ex S_0 l v_0^2}{2a^2}.$$

К. п. д. системы

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{W_{\text{пол}}}{W_{\text{затр}}} = \frac{4kE^2 S_0^2 v_0^2 x^2 \left( 1 - e^{-\frac{2kl}{ES_0}} \right)^2}{2a^2 (1+x)^2 Ex S_0 l v_0^2 k^2} = \\ &= \frac{4a^2 m \left( 1 - e^{-\frac{2kl}{ES_0}} \right)^2}{kl^2 \left( 1 + \frac{a^2 m}{ES_0 l} \right)^2}. \end{aligned}$$

Обозначим

$$\frac{4a^2m}{k} = \alpha; \quad \frac{2k}{ES_0} = \beta; \quad \frac{a^2m}{ES_0} = \gamma.$$

Тогда

$$\eta = \frac{\alpha(1 - e^{-\beta l})^2}{l^2 \left(1 + \frac{\gamma}{l}\right)^2},$$

т. е. можно написать

$$\eta = f(l),$$

т. е. теорема доказана.

Таким образом, можно сказать, что в природе существует закон, согласно которому форма ударяющего тела влияет на энергоемкость разрушаемой среды. Для получения наименьшей энергоемкости разрушения форма ударяющего тела должна быть такой, чтобы генерируемый импульс по форме наиболее близко соответствовал силам при вдавливании разрушающего тела.

Разница в энергоемкости разрушения объясняется тем, что при действии несогласованного с нагрузкой импульса имеет место отражение энергии, которая рационально не используется, что повышает общую энергоемкость процесса разрушения.

Таким образом, при ударном разрушении твердых тел необходимо учитывать не только массу ударяющего тела и скорость его движения, но и форму соударяемых тел.

Правильное применение закона позволяет повысить производительность машин ударного действия на 15—25 % без существенных затрат.

Установленный закон может быть назван законом формы ударяющего тела.

## 2. БУРИЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ

### 2.1. Классификация бурильных головок

Согласно ГОСТ 21906—76, бурильная головка, являющаяся частью бурильной машины, предназначена для передачи бурильному инструменту крутящего момента в сочетании с ударами или ударов с поворотами инструмента вхолостую. ГОСТ различает бурильные головки следующих типов: вращательного, вращательно-ударного, ударно-вращательного, ударно-поворотного действия. Есть еще и универсальные бурильные головки, которые служат для передачи бурильному инструменту крутящего момента или крутящего момента в сочетании с ударом.

Бурильные головки по роду подводимой энергии могут быть пневматическими, гидравлическими и электрическими.

Пневматические бурильные головки ударно-вращательного и ударно-поворотного действия представлены перфораторами. Пер-

фораторы с независимым вращением бура состоят из ударного механизма и отдельного механизма вращения бура, размещенных в общем корпусе. Машины этого типа имеют большую мощность, значительную массу и применяются на самоходных и колонковых установках. Ударно-поворотное бурение осуществляется пневматическими переносными и телескопными перфораторами с зависимым от хода поршня вращением. Поворот инструмента у этих машин происходит при обратном ходе поршня с помощью геликоидального механизма.

Вращательно-ударные пневматические головки имеют независимое вращение. Вращатели у них более мощные, чем ударные механизмы. Имеются машины, у которых вращатели и ударные механизмы разъединены. Если ударный механизм движется за инструментом в скважине, то он называется погружным пневмоударником. Сжатый воздух к нему подают по буровым штангам, они же передают и крутящий момент пневмоударнику от вращателя, находящегося в выработке. С целью повышения мощности бурильных машин вместо пневматической энергии стали применять гидроэнергию. Появились гидроперфораторы, которые начинают внедряться в горную промышленность. Ведутся также исследовательские работы по созданию электроперфораторов [50].

Электроэнергию широко применяют при вращательном бурении. Промышленность оснащена собственно электрическими бурильными головками вращательного действия и электросверлами, которые выпускаются во взрывобезопасном исполнении ручными и колонковыми. Электросверла являются основными средствами бурения шпуров и скважин в угольной промышленности.

Выпускают также пневматические сверла для шахт, особо опасных по газу и пыли.

Гидровращатели находят применение на установках, предназначенных для бурения по мягким породам (чаще по солям).

Наибольшее распространение в горной промышленности получили перфораторы и электросверла.

## 2.2. Развитие перфораторостроения

Впервые перфораторы были применены в 1839 г. [48] французом Тригером при проходке ствола шахты глубиной 20 м. Первый молоток для бурения сжатым воздухом был предложен в 1844 г. Брунтоном. Молоток производил 200 ударов в минуту.

В 1857 г. инженер Соммелье приспособил паровую машину для бурения под действием сжатого воздуха. В таком виде машина была применена для проходки тоннеля через Монт-Сени в Савойских Альпах. Перфоратор имел автоматическое золотниковое устройство и независимое вращение от отдельного двигателя. Воду в шпур подвели по отдельной трубке рядом с буром. Применение этой машины позволило сократить срок строительства тоннеля на 13 лет.



Высокая эффективность применения первых перфораторов в горном деле заставила промышленников интенсивно работать над совершенствованием этих машин: за 28 лет (с 1849 по 1877 г.) было запатентовано около 80 конструкций. Так, в 1851 г. появился поршневой перфоратор, у которого коронка была жестко соединена с поршнем. Геликоидальная пара в перфораторе была применена Давидсоном в 1874 г. Годом раньше англичанин Дарлингтон запатентовал устройство, в котором воздухораспределение осуществлялось золотником на поршне.

Храповой механизм с геликоидальным стержнем, вынесенный в заднюю головку, появился в 1876 г. (патент Тернера). С тех пор геликоидальная пара усиленно совершенствуется и получает широкое распространение для вращения поршня и бура перфоратора. Перфоратор со свободным поршнем был запатентован в 1884 г. Саргентом.

В 1871 г. Сайман Ингерсол запатентовал буровую машину, которая монтировалась на треноге и позволила бурить скважины в различных направлениях. Пустотелая сталь для бурения была применена Георгом Лейнером в 1896 г. Им же было предложено несколько конструкций клапанов и механизмов вращения, что позволило увеличить число ударов поршня с 300—400 до 1800 в минуту, чем была создана возможность конструирования буровых машин малой массы.

В России первые американские перфораторы заводов Рэнд стали применять в 1878 г. на Богословском медном руднике, а с 1907 г. перфораторы стали использоваться в Донбассе.

С 1910 г. перфораторостроение начинает развиваться во всех странах, имеющих тяжелую индустрию, и в настоящее время представляет крупную отрасль горного машиностроения.

### 2.3. Типы перфораторов

В СССР изготовление перфораторов регламентируют государственные стандарты. В зависимости от массы и условий применения их подразделяют на три группы: переносные, телескопные и колонковые.

Переносные перфораторы применяют для бурения горизонтальных и нисходящих шпуров глубиной до 5 м. Диаметр шпуров 36—46 мм. Наиболее распространенными являются диаметры 40 и 42 мм. Бурение ведут в породах с  $f=6\div 20$ . Для облегчения бурения переносные перфораторы, применяют с пневмоподдержками (ТУ 24.00.4906—84).

На рис. 2.1 показано устройство переносного перфоратора. Перфоратор состоит из цилиндра 8, головной части 3 с воздушным краном 2 и рукояткой управления 18, ствола 9 с буродержателем 14, скрепленных стяжными болтами 15. Внутри цилиндра размещены воздухораспределительное устройство 4, поршень 11, геликоидальный винт 7 и водяная трубка 12. На выхлопную горловину цилиндра крепится глушитель шума 6, на нижнем при-

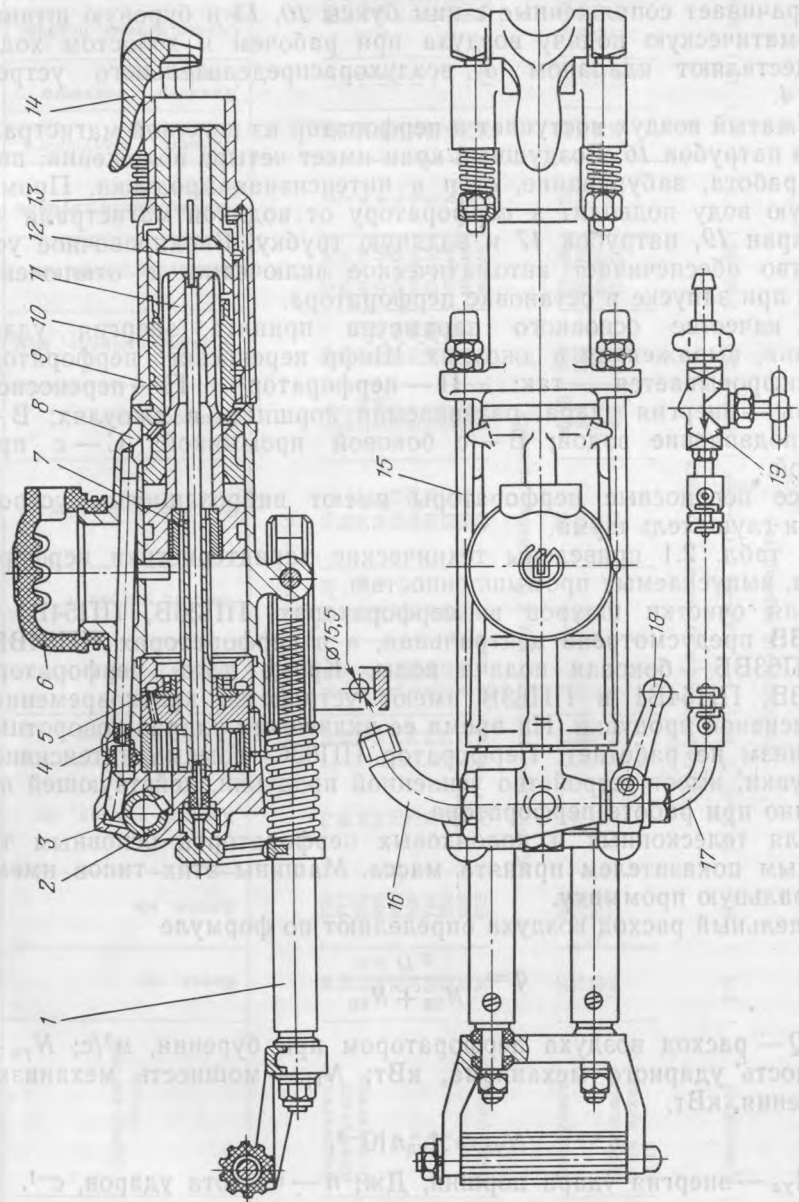


Рис. 2.1. Устройство переносного перфоратора

ливе цилиндра размещено виброгасящее устройство 1. В конце рабочего хода поршень наносит удар по хвостовику буровой штанги. При обратном ходе поршень с геликоидальным винтом поворачивает сопряженные с ним буксы 10, 13 и буровую штангу. Автоматическую подачу воздуха при рабочем и холостом ходах осуществляют клапаном 5 воздухораспределительного устройства 4.

Сжатый воздух поступает в перфоратор из шахтной магистрали через патрубок 16. Воздушный кран имеет четыре положения: полная работа, забуривание, стоп и интенсивная продувка. Промысловую воду подводят к перфоратору от водяной магистрали через кран 19, патрубок 17 и водяную трубку. Блокировочное устройство обеспечивает автоматическое включение и отключение воды при запуске и остановке перфоратора.

В качестве основного параметра принята энергия удара поршня, выраженная в джоулях. Шифр переносного перфоратора расшифровывается так: П — перфоратор; П — переносной; цифры — энергия удара, развиваемая поршнем, в джоулях; В — пылеподавление водой; Б — с боковой промывкой; С — с продувкой.

Все переносные перфораторы имеют виброзащитное устройство и глушитель шума.

В табл. 2.1 приведены технические характеристики перфораторов, выпускаемых промышленностью.

Для очистки шпуров в перфораторах ПП36В, ПП54В1 и ПП63В предусмотрена центральная, а в перфораторах ПП54ВБ1 и ПП63ВБ — боковая подача воды. Кроме того, перфораторы ПП63В, ПП54В1 и ПП63В имеют устройство кратковременной интенсивной продувки. На время ее включения ударно-поворотный механизм не работает. Перфоратор ПП63С, помимо интенсивной продувки, имеет устройство усиленной продувки, действующей постоянно при работе перфоратора.

Для телескопных и колонковых перфораторов основным типажным показателем принята масса. Машины этих типов имеют центральную промывку.

Удельный расход воздуха определяют по формуле

$$q = \frac{FQ}{N_{уд} + N_{вр}},$$

где  $Q$  — расход воздуха перфоратором при бурении,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $N_{уд}$  — мощность ударного механизма, кВт;  $N_{вр}$  — мощность механизма вращения, кВт.

$$N_{уд} = A_{уд}n10^{-3},$$

где  $A_{уд}$  — энергия удара поршня, Дж;  $n$  — частота ударов,  $\text{с}^{-1}$ .

$$N_{вр} = 2\pi Mn_{вр}10^{-3},$$

где  $M$  — крутящий момент,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ ;  $n_{вр}$  — частота вращения бурового инструмента,  $\text{с}^{-1}$ .

ТАБЛИЦА 2.1

Тип перфоратора	Завод-изготовитель	Масса, кг	Длина, мм	Диаметр поршня, мм	Ход поршня, мм	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин	Частота ударов, с <sup>-1</sup>	Энергия удара, Дж	Мощность, кВт	Крутящий момент, Н·м	Диаметр коронки, мм	Максимальная глубина бурения, м	Диаметр воздушного шланга, мм	Диаметр водяного шланга, мм	Н	Ход телескопа, мм
Переносные перфораторы																
ПП36В	Пневматика	24	705	72	46	2,8	38,33	36	1,6	20	32—40	2	25	12	830	—
ПП50В1	Коммунист	30	717	80	45	3,4	37	54	2,2	29,43	36—40	3	25	12	800	—
ПП54В1	Пневматика	31,5	820	85	45	4,1	39,16	55,5	2,36	29,43	40—16	4	25	12	190	—
ПП54ВБ1	»	31,5	895	85	45	4,1	39,16	55,5	2,36	29,43	40—46	4	25	12	190	—
ПП63В	»	33	860	75	71	3,85	30	63,74	2,2	26,93	40—46	5	25	12	910	—
ПП63ВБ	»	33	920	75	71	3,85	30	63,74	2,2	26,93	40—46	5	25	12	910	—
ПП63С	»	33	760	75	71	3,85	30	63,74	2,2	26,93	40—46	5	25	12	910	—
ПП63П	»	33	880	75	71	3,85	30	63,74	2,2	26,93	40—46	5	25	12	910	—
ПП63СВП	»	33	880	75	71	3,85	30	63,74	2,2	26,93	40—46	5	25	12	910	—
ПР30К	Кытымский	36	650	76	70	4	37	60	3,2	18	38—46	4	25	12	800	—
Колонковые перфораторы и бурильные головки																
ПК60А	Коммунист	60	600	110	40	9,1	45	95	5,25	160	40—65	25	32	18	8 000	—
ПК75А	»	75	700	125	55	13	37	176	8,1	255	45—85	50	38	18	10 000	—
БГП	»	135	725	140	40	14	46	83	10,1	225	40—87	5	38	18	11 000	—
БГА	Староскольский механический	140	1070	100	45	10	43	50	3,5	216	42—52	5	38	18	6 000	—
Гидравлическая бурильная головка																
ГБГ 180—250	Коммунист	118	870	35,5—40	60	—	40—60	125—189	15,35	250	40—60	5	—	12	8000	—
Телескопный перфоратор																
ПТ48А	Коммунист	48	1470	100	35	5,8	43,3	86,3	3,9	32,3	52—85	15	25	12	1 700	650

Для районов вечной мерзлоты, высокогорной и пустынной местности, где подача воды в рудник невозможна или затруднена, выпускают перфораторы ПП63П с центральным пылеотсосом. Их эксплуатируют вместе с пылесборником ВНИИ-1М64РД Магаданского машиностроительного завода. Для вечномерзлых россыпей Северо-Востока выпускают перфораторы ПП63СВП, у которых шпурь очищают горячим воздухом, расплавляющим включения льда с последующим выносом коагулированной пыли в виде гранул. Для нагрева продувочного воздуха разработана специальная приставка, монтируемая на перфораторе. Для защиты организма операторов от вибрации и шума все бурильные головки снабжают виброгасящими устройствами и глушителями шума.

Телескопные перфораторы предназначены для бурения шпуров, направленных вверх, диаметром 40—85 мм, глубиной до 15 м в породах средней крепости и крепких.

Колонковые перфораторы позволяют бурить шпурь и скважины любого направления диаметром 40—85 мм, глубиной до 50 м.

Основными перфораторостроительными заводами в СССР являются завод «Коммунист» (Кривой Рог) и завод «Пневматика» (Ленинград). В небольшом количестве перфораторы выпускает Кыштымский машиностроительный завод им. Калинина.

Выпускаемые перфораторы унифицированы с перфораторами, выпускаемыми в странах — членах СЭВ.

Производство пневматических перфораторов в ЧССР сосредоточено на заводе «Тос-Роковник» и «Пермон», а производство бурового инструмента — на заводе «Польди».

В ВНР перфораторы выпускает завод «Маваг» в Будапеште.

В ПНР и СРР в последние годы освоено производство переносных перфораторов.

В капиталистических странах перфораторостроение представлено большим разнообразием образцов (более 300 типов перфораторов и более 70 типов гидроперфораторов). Ведущими странами по изготовлению бурового оборудования являются США, Швеция, Великобритания, Франция, ФРГ, Япония, Финляндия.

В США буровое оборудование выпускают преимущественно фирмы «Ингерсол Рэнд», «Гарднер Денвер», «Чикаго-Пневматик», «Кливленд», «Тор», «Джой», «Бьюсайрус», «Марион». Эти фирмы изготавливают пневматические, гидравлические перфораторы, шахтные бурильные установки и станки. Последние две фирмы выпускают буровые станки для открытых горных разработок.

В Швеции буровое оборудование (пневматические перфораторы, гидроперфораторы, шахтные бурильные установки, станки для подземных и открытых разработок) выпускает фирма «Атлас Копко» и «Линден Алимак». Буровой инструмент изготавливают заводы фирмы «Сандвик Коромант», которая работает в тесном контакте с фирмой «Атлас Копко».

В Великобритании перфораторы выпускают фирмы «Холмен» и «Консолидейтед Пневматик», а весь комплекс бурового оборудования (шахтные бурильные установки, станки, отбойные мо-



лотки, пневматические сверла, пневматические перфораторы, гидроперфораторы, буровой инструмент, передвижные и стационарные компрессоры) — фирма «Холмен».

Во Франции буровые работы на рудниках выполняют преимущественно с применением самоходных бурильных установок. На выпуске последних специализируется фирма «Секома», а также фирма «Монтабер». Фирма «Медон» специализируется преимущественно на выпуске переносных перфораторов.

В Финляндии шахтные бурильные установки и станки, а также перфораторы и гидроперфораторы к ним изготавливает фирма «Тамрок», которая с 1964 г. является дочерней фирмой акционерного общества «Тампелла», основанного в 1842 г.

Буровой инструмент к оборудованию выпускает завод «Комета» фирмы «Айрам».

В Японии буровое оборудование для горной промышленности выпускает фирма «Фурукава» концерна «Мицубиси».

В последние годы на международном рынке появились самоходные шахтные бурильные установки с гидроперфораторами швейцарской фирмы «ЗИГ». Они отличаются оригинальностью конструктивных решений и высокой надежностью. В ФРГ фирмы «Зальциттер» и «Хаузгер» наряду с другим оборудованием выпускают и буровое.

В Австрии перфораторостроение сосредоточено на заводах фирмы «Болер».

#### 2.4. Конструктивные особенности современных перфораторов

При ударе о хвостовик бурового става поршень перфоратора генерирует силовой импульс, который затем передается через штанги буровой коронке. Форма силового импульса определяется амплитудой напряжения во времени и зависит от длины, площади сечения и скорости приложения силовой нагрузки. В современном перфораторостроении форме поршня не всегда уделяется должное внимание, что приводит к ряду нежелательных явлений.

Два поршня — короткий и длинный — с одной и той же массой создают разные по форме силовые импульсы. Длинный поршень равной со штангой площадью сечения создает силовой импульс почти прямоугольной формы с относительно небольшой амплитудой напряжения. Короткий поршень диаметром, превосходящим диаметр штанги, имеет импульс с амплитудой, увеличенной в начале и пониженной в конце (рис. 2.2).

Длинные поршни с сечением, близким к сечению штанги, хорошо вписываются в гидроударники. В пневматических перфораторах длинные поршни трудно применять по конструктивным соображениям: увеличивается длина перфоратора, возрастает его масса, нет места для размещения поворотной гайки, недостаточна контактная прочность, малая масса поршня.

В свою очередь, короткие и толстые поршни создают высокие импульсы напряжений в штангах. Это приводит к частым полом-

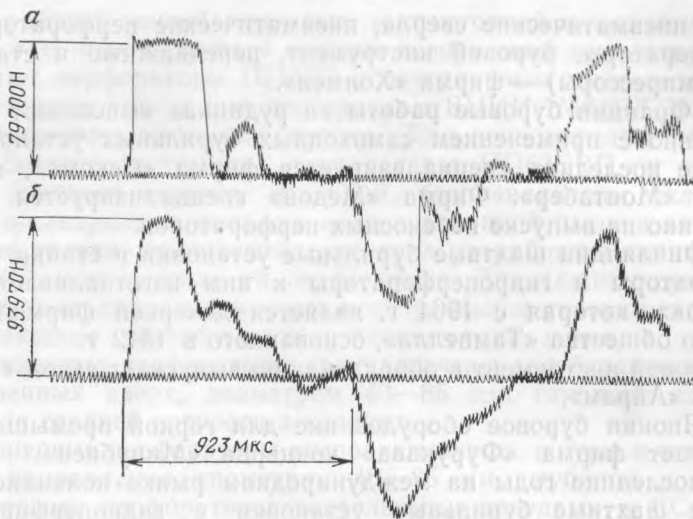


Рис. 2.2. Форма импульса при ударе о штангу ударниками:  
*a* — равной площади сечения со штангой; *б* — площадью, намного большей площади сечения штанги (масса ударника 4,25 кг)

кам инструмента и уменьшению количества энергии, передаваемой породе, т. е. снижению коэффициента полезного действия удара.

Наиболее длинный пробег силового импульса при короткой геометрической длине поршня имеет место у поршня, представляющего собой сочетание штока и цилиндра (рис. 2.3), которые соединены диафрагмой.

Конструктивные размеры поршней промышленных перфораторов приведены в табл. 2.2.

Из таблицы видно, что форма поршня и соотношение его конструктивных элементов носят случайный характер. И только у новых перфораторов поршни имеют более совершенные геометрические соотношения. Поршень перфоратора ПК75, например, имеет

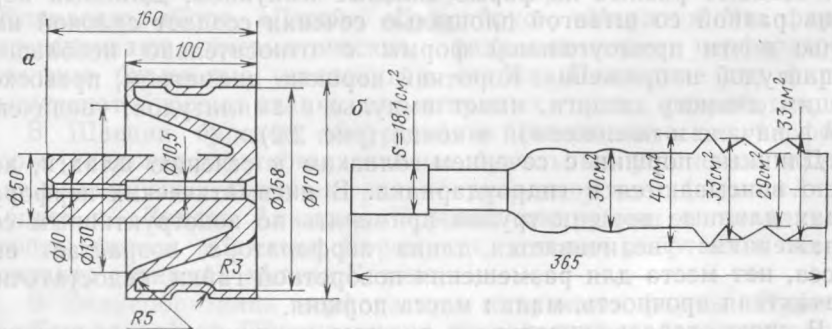


Рис. 2.3. Фигурный поршень (*a*) и его приведенное сечение (*б*)

ТАБЛИЦА 2.2

Тип перфоратора	Диаметр поршня <i>D</i> , мм	Диаметр штока поршня <i>d</i> , мм	Длина поршня <i>L</i> , мм	Расположение геликоидальной нарезки		Отношение	
				на от- дельном винте	на поршне	<i>L/D</i>	<i>L/d</i>
ПП36В	72	38	160	+	—	2,22	4,21
ПП54В	85	48	195	+	—	2,29	4,06
ПП50В1	80	42	210	+	—	2,6	5
ПТ48А	100	50	163	+	—	1,63	3,3
ПК60А	110	50	253	—	—	2,3	5,06
ПК75А	125	55	285	—	—	2,3	5,2
ПП63В	75	42	208	+	—	2,77	4,95
ГБГ 180-250	40	38	457	—	—	11,42	12,02
ПР-25В	72	36	240	—	+	3,3	6,7
БГП	130	55	260	—	—	2	4,7
SPIS (Медон)	76	42	245	—	+	3,23	5,8
Фалькон (Атлас Копко)	75	72	270	—	+	3,6	6,4
VBD (Атлас Копко)	90	35	250	—	+	2,78	7,1

длину 255 мм, а диаметр штока 50 мм. Он удлинен по сравнению с другими поршнями, у него нет резких изменений в сечениях, переход от штока к цилиндрической части выполнен в виде конуса, что уменьшает число отражений при проходе силового импульса. Масса поршня 5,225 кг. Серия новых переносных перфораторов, таких как ПР25В (рис. 2.4), имеет наиболее высокое отношение длины поршня к диаметру штока. Геликоидальные скосы расположены на штоке поршня. Расположение механизма вращения в передней части поршня позволяет придать поршню рациональное сечение.

Связь между энергоемкостью разрушения горной породы и формой силового импульса была установлена как при единичных ударах, так и в серии опытных перфораторов [21, 48]. Это дало возможность рекомендовать промышленности рациональные формы поршней.

При внедрении долота в породу происходит рост сил, пропорциональный величине внедрения. Можно записать, что  $P=f(u)$  есть линейная функция. Линейность нагрузки означает, что

$$P = Ku,$$

где  $P$  — сила;  $u$  — величина внедрения инструмента в породу;  $K$  — коэффициент внедрения инструмента в породу. Замечено, что при ударе поршнями сложной формы и при высоких скоростях действия нагрузки отклонения от линейного закона становятся существенными.

Будем полагать, что процесс внедрения долотчатой коронки в породу зависит от крепости породы, т. е. от коэффициента внедрения инструмента в породу  $K$ , длины поршня  $l$ , модуля упругости

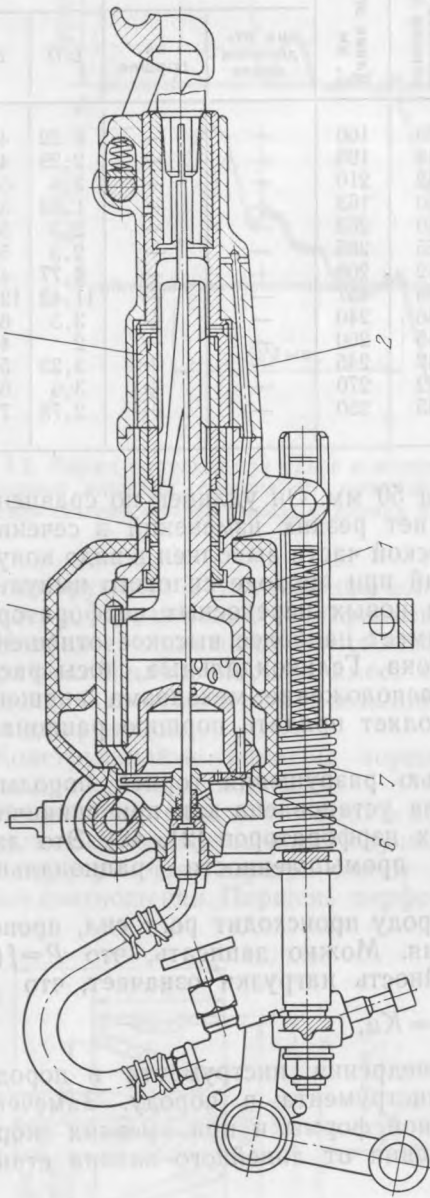


Рис. 2.4. Устройство перфоратора ПР25В:

1 — цилиндр; 2 — патрон; 3 — поворотная буска; 4 — поршень; 5 — глушитель шума; 6 — клапан; 7 — виброгасящая пружина.

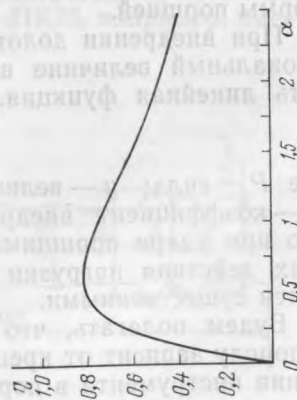


Рис. 2.5. Зависимость коэффициента передачи энергии в породе для ударника площадью сечения, равной площади сечения штани от различных значений  $\alpha$

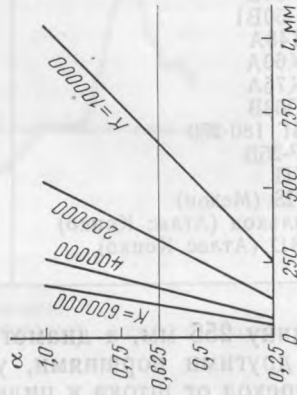


Рис. 2.6. Зависимость длины ударника  $l$  при различных коэффициентах всреднения в породе инструмента в породе  $K$  (диаметр коронки 40 мм) от коэффициента  $\alpha$

материала штанги  $E$  и площади сечения штанги  $S_{ш}$ . Можно записать, что

$$\frac{Kl}{ES_{ш}} = \alpha.$$

Тогда коэффициент передачи энергии в породе для поршня и штанги равных площадей сечения выразится уравнением

$$\eta = \frac{1 + e^{-4\alpha} - 2e^{-2\alpha}}{\alpha}.$$

Максимум величины  $\alpha$  наступает при  $\frac{d\eta}{d\alpha} = 0$ , т. е.  $\alpha = 0,626$ .

Максимальное значение коэффициента передачи энергии в породе будет при  $l = 0,626 ES_{ш}/K$ . Это означает, что длина поршня зависит от материала соударяющихся элементов, их площади сечения и коэффициента внедрения инструмента в породу. При увеличении площади сечения штанги длина поршня для слабых пород должна быть увеличена, а для крепких — уменьшена.

На рис. 2.5 показано значение  $\eta$  для различных  $\alpha$ , а на рис. 2.6 — значения  $l$  для разных  $K$ . Ошибка в сторону удлинения поршней на результаты бурения сказывается несущественно. Поэтому лучше делать более длинный поршень, чем короткий.

Форме импульса, при которой нет отражений, т. е. будет иметь место коэффициент полезного действия, близкий к единице, соответствует уравнение

$$P = \frac{ESv_0}{2a} e^{\frac{Ka}{ES} t},$$

где  $S$  — площадь сечения ударника;  $v_0$  — скорость движения ударника;  $t$  — время действия импульса;  $a$  — скорость распространения звука в стали.

Силовой импульс должен возрастать по экспоненциальной кривой. Последнее уравнение совпадает с уравнением С. Ферхарста.

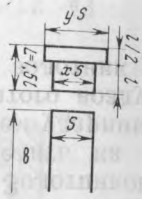
В табл. 2.3 помещены сводные результаты расчета коэффициента передачи энергии от ударника в породу для различных поршней-ударников. Можно сделать следующие выводы:

1. Для любой формы поршня можно найти соотношения, при которых коэффициент передачи энергии от бура в породу  $\eta$  будет наибольшим.

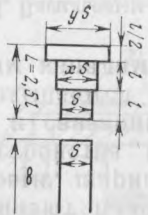
2. Поршень равного со штангой сечения имеет  $\eta = 81\%$ , создает в штанге наименьшие напряжения и имеет наименьшую массу.

3. Трехступенчатый поршень создает  $\eta = 84\%$ , у него длины первой и второй ступени равны, а длина третьей ступени равна половине длины первой ступени, сечения ступеней относятся как 1 : 1, 2 : 1,6.





$$\eta = \frac{(1 - e^{-\alpha})^2 4x^2}{\alpha(1+x)^2 \left(\frac{y}{2} + x\right)} \times [e^{-\alpha} + e^{-2\alpha} \frac{3y + xy + x^2 - x}{(x+y)(x+1)}]^2$$



$$\eta = \frac{(1 - e^{-\alpha})^2}{\alpha \left(1 - x + \frac{y}{2}\right)} \times \left[ \frac{2x(3y + xy - x - x)^2}{(1+x)^2(x+y)} + (e^{-\alpha} - e^{-2\alpha}) \right] \times \left( \frac{-2x}{1+x} + e^{-2\alpha} \right)^2$$

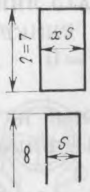
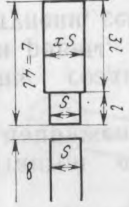
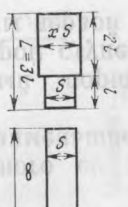
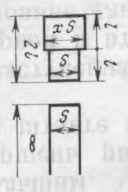



$$\eta = \frac{1 + e^{-4\alpha} - 2e^{-2\alpha}}{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{kl}{ES}$$

0,835	0,4	1	1,5	$L = 0,6 \frac{ES}{k}$	1,2	1,17
0,836	0,3	1,2	1,6	$L = 0,75 \frac{ES}{k}$	1,23	1,2
0,814	0,626	—	—	$L = 0,626 \frac{ES}{k}$	1	1

ТАБЛИЦА 2.3

Схема ударной системы	Расчетная формула	$\eta_{max}$	Значения, при которых наступает $\eta_{max}$			Длина ударника	Соотношение напряжений	Соотношение масс
			$\alpha$	$x$	$y$			
	$\eta = \frac{(1 - e^{-2\alpha})^2}{\alpha} \frac{4x}{(1+x)^2}$	0,814	0,626	1	—	$L = 0,626 \frac{ES}{k}$	1	1
	$\eta = \frac{e^{-6\alpha}(1 - e^{-2\alpha}) + \frac{2x}{1+x}(1 - e^{-6\alpha})}{\alpha(3x+1)}^2$	0,8	0,2	1,5	—	$L = 0,8 \frac{ES}{k}$	1,2	1,76
	$\eta = \frac{e^{-4\alpha}(1 - e^{-2\alpha}) + \frac{2x}{1+x}(1 - e^{-4\alpha})}{\alpha(2x+1)}^2$	0,818	0,2	1,5	—	$L = 0,6 \frac{ES}{k}$	1,2	1,28
	$\eta = \frac{(1 - e^{-2\alpha})^2 \left( \frac{2x}{1+x} + e^{-2\alpha} \right)^2}{\alpha(x+1)}$	0,835	0,4	1,4	—	$L = 0,8 \frac{ES}{k}$	1,2	1,54
	$\eta = \frac{(1 - e^{-\alpha})^2 \left( \frac{2x}{1+x} + e^{-\alpha} + \alpha^{-2\alpha} \right)^2}{\alpha(1+x/2)^2}$	0,835	0,4	1,4	—	$L = 0,6 \frac{ES}{k}$	1,16	1,14

4. Увеличение площади сечения штанг вызывает удлинение поршня.

5. Чрезмерная длина поршня вызывает понижение передачи энергии в породу.

6. Для бурения крепких пород поршень нужен короткий, для слабых — длинный.

При создании бурильных машин следует иметь в виду, что к перфораторам с самостоятельным геликоидальным винтом (заднее вращение) трудно создать поршень рациональной формы для генерации эффективного импульса напряжений. В этом отношении в более благоприятных условиях находятся перфораторы с геликоидальными скосами на самом поршне (переднее вращение) и перфораторы с независимым вращением бора.

Переносные перфораторы имеют далеко не лучшую форму поршней, что отрицательно сказывается на производительности машин, прочности бурового инструмента, прочности тела поршня и контактной прочности соударяющейся с буром плоскости.

*Воздухораспределительные устройства\**. Под воздухораспределительным устройством принято понимать систему деталей (подвижных и неподвижных), которая в сочетании с системой воздухопроводящих каналов обеспечивает автоматическое движение сжатого воздуха в нужном направлении и, как следствие, возвратно-поступательное движение поршня-ударника.

Воздухораспределительное устройство перфоратора должно обеспечивать высокое индикаторное давление в полостях рабочего цилиндра как при прямом, так и при обратном ходе поршня-ударника. Оно является одним из основных элементов системы воздухораспределения, определяющим надежность и экономичность работы перфоратора. Им обеспечивают запуск при любом положении перфоратора, оптимальные параметры с минимальной вибрацией и отдачей, оно имеет простую и технологичную конструкцию.

Воздухораспределительные устройства современных перфораторов можно разделить на две большие группы: клапанные и золотниковые.

К клапанным относят такие устройства, у которых исполнительный орган (клапан) перемещается нормально основным отсекающим поверхностям — седлам, причем размер щели для пропуска воздуха является ходом клапана. В золотниковом устройстве запорный орган перемещается параллельно уплотняющей поверхности, причем размеры щелей, открываемых для впуска сжатого воздуха, всегда меньше хода золотника.

По форме клапаны различают пластинчатые, кольцевые, дисковые, фланцевые, мотыльковые, шариковые и др. Золотниковые воздухораспределительные устройства можно разделить на две большие группы: свободные и связанные с поршнем-ударником. Свободные золотники перекидываются за счет сжатого воздуха, поступающего по специальным каналам, а жесткий золотник ме-

\*Написан канд. техн. наук В. М. Васильевым.

ханически связан с поршнем-ударником или даже располагается на самом поршне-ударнике.

Пневматические переносные перфораторы имеют, как правило, плоский кольцевой или фланцевый клапан, т. е. легкие клапаны, на перекидку которых затрачивается мало энергии и времени (0,001—0,015 с). Для перфораторов средней массы с повышенной частотой предпочтение отдается мотыльковому клапану. Воздухораспределительные устройства со свободным золотником используют в тяжелых переносных перфораторах с небольшим числом ударов. Золотник на поршне-ударнике применяется у высокочастотных перфораторов.

Устойчивая работа воздухораспределительных устройств с фланцевыми клапанами обусловлена дросселированием сжатого воздуха для питания камеры обратного хода.

По конструктивному исполнению эти устройства можно разделить на два варианта:

- 1) дросселирование через отверстия;
- 2) дросселирование через радиальную щель между клапаном и корпусом клапанной коробки.

По первому варианту выполнены бурильная машина БУ-1 Кузнецкого машиностроительного завода и перфоратор ВМ-21 фирмы «Демаг» (ФРГ).

Наибольшее распространение получили воздухораспределительные устройства с дросселированием через радиальную щель. Подобная система с фланцевым клапаном принята в перфораторах, изготовляемых в СССР и ряде зарубежных фирм.

Она состоит из клапана 5 (рис. 2.7), помещенного в клапанной коробке 4 с отверстием 3, и седла 6. Сжатый воздух через отверстия 3 проходит в кольцевое пространство 13 и одновременно по зазорам 2 между геликоидальным стержнем 1 и клапанной коробкой поступает в камеру рабочего хода 7. Давление в камере рабочего хода повышается, и клапан прижимается к клапанной коробке. Сжатый воздух из кольцевой полости через щель между клапаном и седлом проходит в камеру рабочего хода, и поршень-

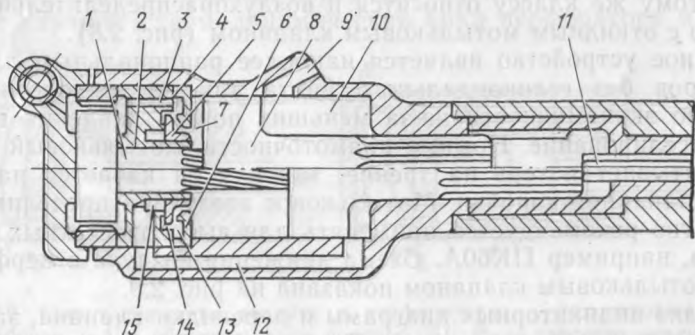


Рис. 2.7. Схема воздухораспределения с фланцевым клапаном

ударник 8 начинает двигаться вниз, совершая рабочий ход. При дальнейшем движении он перекрывает выхлопное окно 9 и сжимает воздух, находящийся в камере обратного хода 10, который по каналу 12 проходит в кольцевую полость 15 и давит на взаимодействующую с этой полостью площадку клапана, стремясь его перекинуть. Двигаясь дальше, поршень-ударник открывает выхлопное окно, давление в камере рабочего хода падает и вследствие разности усилий клапан перекидывается в положение на выпуск воздуха в камеру обратного хода. Теперь сжатый воздух поступает в камеру обратного хода через дросселирующий кольцевой зазор 14, однако поршень-ударник по инерции движется вниз и наносит удар по буровой штанге 11. Совершив удар, поршень-ударник отскакивает от бура и, подхватываемый сжатым воздухом, начинает совершать обратный ход, поворачивая при этом буровую штангу. Ход клапана составляет 0,6—1 мм. Продолжительность перекидки клапана 0,03—0,004 с.

Данная система воздухораспределения может быть рекомендована для перфораторов с частотой ударов  $30\text{ с}^{-1}$ . Она имеет распространение в перфораторах с геликоидальным винтом.

По конструктивным признакам воздухораспределительные устройства с фланцевым клапаном могут быть подразделены на следующие подклассы:

фланцевый клапан сопрягается с клапанной коробкой по внутреннему диаметру (по данной схеме выполнены перфораторы завода «Пневматика» типоразмеров ПП36, ПП54 и ПП63);

фланцевый клапан имеет посадку в корпусе клапанной коробки по наружному диаметру (подобное конструктивное выполнение применяется в перфораторах фирмы «Болер» (Австрия), «Пермон» (ЧССР).

Ряд предприятий выпускает перфораторы, у которых клапан выполняется плоским. Так, клапан перфоратора ПП50В1 (завод «Коммунист») представляет собой плоскую шайбу. К недостаткам этих вариантов воздухораспределительных устройств следует отнести низкий коэффициент полезного действия из-за больших потерь давления воздуха вследствие дросселирования.

К этому же классу относится и воздухораспределительное устройство с откидным мотыльковым клапаном (рис. 2.8).

Данное устройство является наиболее рациональным для перфораторов без геликоидального винта как по технологичности, так и по экономичности из-за меньших потерь давления воздуха на дросселирование. Помимо прямооточности, мотыльковый клапан не испытывает потерь на трение, так как он качается на ребре седла клапанной коробки. Мотыльковое воздухораспределительное устройство рекомендуется применять для высокочастотных перфораторов, например ПК60А. Схема движения воздуха в перфораторах с мотыльковым клапаном показана на рис. 2.9.

Анализ индикаторных диаграмм и перекидки клапана, записанных одновременно, показывает, что перемещение клапана начинается при равенстве давлений в рабочих камерах пневматического



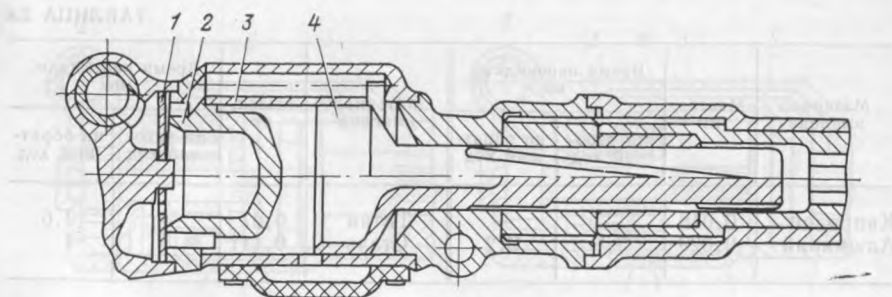


Рис. 2.8. Схема воздухораспределения с откидным мотыльковым клапаном: 1 — клапан; 2 — корпус клапанной коробки; 3 — цилиндр; 4 — поршень

цилиндра. Так как усилия, действующие на клапан, изменяются сравнительно медленно, перекидка клапана происходит нечетко и с запаздыванием. На перекидку клапана влияют его масса и сила трения. Таким образом, для обеспечения стабильной перекидки к клапану необходимо приложить дополнительный импульс. В воздухораспределительных устройствах этого класса импульс создается в камере управления, питание которой осуществляется через дросселирующее отверстие.

Этот класс воздухораспределительного устройства, когда клапан представляет собой плоскую шайбу, выполненную из титановых сплавов, применяется в перфораторах фирмы «Медон» (Франция).

К этому классу можно отнести воздухораспределительное устройство перфораторов фирмы «Хольман» (Великобритания). В данном воздухораспределении плоский кольцевой клапан выполнен из пластмассы, свойства которой соответствуют капролону ВМРТУ6-05-988—66. В отличие от вышеописанного подкласса, обе камеры управления перекидкой пластмассового клапана сообщены дросселирующими отверстиями с воздухоприемной камерой [48].

В табл. 2.4 приведены данные о продолжительности перекидки клапана, изготовленного из различных материалов.

Как видно из табл. 2.4, время перекидки алюминиевого клапана в 1,5 раза меньше времени перекидки стального клапана, что позволяет улучшить термодинамический цикл перфоратора и снизить

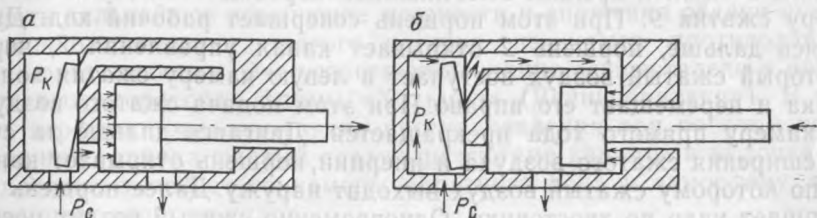


Рис. 2.9. Схема движения воздуха в перфораторах с мотыльковым клапаном при рабочем (а) и обратном ходе поршня (б):  $P_c$  — давление воздуха в сети;  $P_k$  — давление воздуха в клапанной коробке

ТАБЛИЦА 2.4

Материал клапана	Масса, кг	Время перекидки, мс		Материал клапана	Масса, кг	Время перекидки, мс	
		на рабочий ход	на обратный ход			на рабочий ход	на обратный ход
Капролон	0,018	—	—	Титан	0,07	4	3,6
Алюминий	0,029	3,6	2,2	Сталь	0,111	5	4

расход воздуха. Очевидно, что время перекидки капролонового клапана еще меньше, так как его масса в 6 раз меньше массы стального клапана.

К третьему классу клапанных воздухораспределительных устройств можно отнести трубчатые клапаны с фланцем, перекидка которых осуществляется давлением сжатого воздуха на фланец рабочих камер и давлением сжатого воздуха на фланец клапана. Этот класс воздухораспределительных устройств является переходным между клапанными и золотниковыми.

К *золотниковым схемам воздухораспределения* относят устройства с принудительным управлением перекидкой регулирующего органа.

Наибольшее распространение получил трубчатый золотник. Он снабжен фланцем, площадь которого значительно превышает площадь опорных торцов. Перекидка золотника происходит путем воздействия на фланец сжатого воздуха, поступающего по системе каналов из рабочих камер цилиндра. Удержание золотника в крайних положениях осуществляется давлением сжатого воздуха рабочих камер цилиндра на его свободный опорный торец. Данный класс воздухораспределительных устройств применяется в перфораторах ПП63СВП завода «Пневматика», в перфораторе JR300 фирмы «Ингерсол Рэнд» (США) и в перфораторе D88L-N фирмы «Фурукава» (Япония).

Воздухораспределение осуществляется с помощью золотника 1 (рис. 2.10). Когда золотник находится в крайнем левом положении, сжатый воздух по внутренним каналам золотника и отверстиям в нижней крышке золотниковой коробки 11 поступает в камеру сжатия 9. При этом поршень совершает рабочий ход. Двигаясь дальше, поршень 2 открывает канал управления 7, через который сжатый воздух поступает в левую камеру сжатия золотника и перемещает его вправо. При этом подача сжатого воздуха в камеру прямого хода прекращается. Двигаясь дальше за счет расширения сжатого воздуха и инерции, поршень открывает канал 6, по которому сжатый воздух выходит наружу. Далее поршень совершает удар по хвостовику. Одновременно сжатый воздух поступает в камеру сжатия обратного хода через канал 3. Давление в камере 4 поднимается и поршень совершает обратный ход. Двигаясь влево, поршень открывает канал управления 5, и сжатый

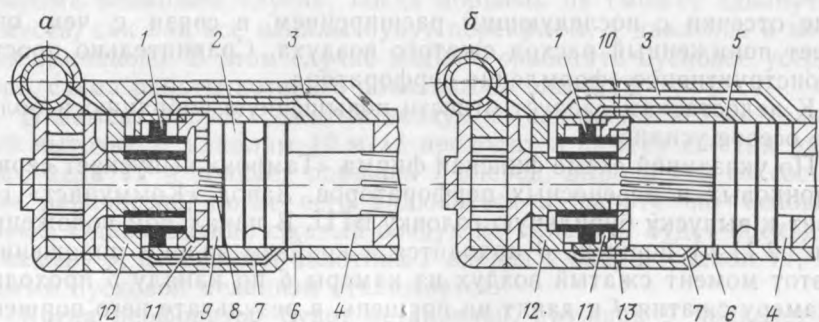


Рис. 2.10. Схема золотникового воздухораспределения при рабочем (а) и обратном ходе поршня (б)

воздух начинает давить на фланец золотника, перекидывая золотник влево. При этом сжатый воздух начнет снова поступать в камеру прямого хода и поршень начнет совершать рабочий ход. Воздух, находящийся в камере сжатия обратного хода, будет выходить наружу. Для уменьшения противодействия движению золотника каналы управления имеют дренажные отверстия 10 и 13. Золотниковая коробка сверху имеет крышку 12. При движении поршня назад происходит вращение его за счет геликоидальных скосов на поворотном винте 8.

Рассмотренная схема золотникового воздухораспределения может быть отнесена к наиболее совершенной. Ее осуществление на заводе «Пневматика» позволило повысить скорость бурения перфораторами ПП63СВП на 15%. Недостатком данной схемы является сложность изготовления. Если клапан обычно имеет только подвижную посадку, то золотник имеет три подвижные посадки по наружному и две по внутреннему диаметрам, причем посадки должны быть выполнены по второму классу точности. Наиболее жесткой является посадка фланца золотника в корпусе коробки. Она должна быть выполнена по посадке движения второго класса. Расширение этой посадки приводит к нарушению запуска перфоратора. Следует отметить, что золотниковая схема воздухораспределения при условии качественного изготовления имеет идеальный запуск.

Золотниковая схема воздухораспределения позволяет осуществить дальнейшее повышение мощности и снижения отдачи путем частичного выпуска сжатого воздуха из камер противодействия через золотник. Это усовершенствование осуществлено в некоторых перфораторах фирмы «Хольман» (Великобритания). В таких перфораторах для снятия противодействия при рабочем ходе поршня-ударника сжатый воздух по системе каналов и выточке на золотнике вытекает из камеры обратного хода в атмосферу, что повышает энергию удара.

Воздухораспределительные устройства с золотником на поршне (бесклапанное воздухораспределение) применяются у перфораторов с большим числом ударов. Это устройство работает на прин-

ципе отсечки с последующим расширением, в связи с чем оно имеет пониженный расход сжатого воздуха. Сравнительно просто и конструктивное оформление перфоратора.

К недостаткам следует отнести повышенную вибрацию и большое осевое усилие.

По указанной схеме финская фирма «Тамрок» выпускает серию колонковых и переносных перфораторов. Завод «Коммунист» готовит к выпуску бурильную головку БГП. В начальном положении (рис. 2.11, а) поршень 8 находится в крайнем заднем положении. В этот момент сжатый воздух из камеры 6 по каналу 5 проходит в камеру сжатия 4 и давит на поршень, в результате чего поршень начинает совершать рабочий ход. Камера сжатия холостого хода 2 в это время сообщается с атмосферой через выхлопной канал 3. При дальнейшем движении хвостовик поршня перекрывает каналы 5 и 3, далее поршень начинает сжимать воздух в передней камере сжатия. В это время поршень движется за счет расширения воздуха в камере сжатия рабочего хода 4. Как только поршень пройдет выхлопной канал 3 и откроет его, откроется канал 7 холостого хода. Поршень движется по инерции и совершает удар по хвостовику бура 1. Сжатый воздух, проходя по каналу 7 в камеру холостого хода, будет давить на поршень, последний будет совершать обратный ход (рис. 2.11, б). Двигаясь далее, поршень закроет выхлопной канал 3, а также канал 7, после чего он будет двигаться за счет расширения воздуха в камере обратного хода 2, снижая скорость, так как воздух, находящийся в камере 4, будет сжиматься. Затем поршень откроет выхлопной канал 3 и канал 5. Воздух из камеры обратного хода выйдет в атмосферу, а сжатый воздух будет поступать в камеру рабочего хода. Поршень остановится и начнет совершать рабочий ход. В момент запуска ударного ме-

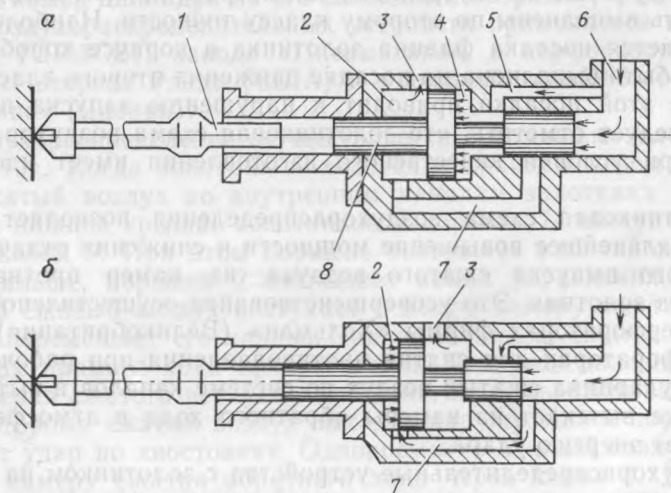


Рис. 2.11. Схема воздухораспределительного устройства с золотником на поршне

ханизма возможен случай, когда поршень не сможет сдвинуться с места, так как все каналы будут перекрыты, а давление в камерах одинаково. В этом случае должно сработать пусковое устройство, схема работы которого показана на рис. 2.12.

В момент запуска сжатый воздух из каналов 4 и 3 по кольцевой выточке 2, каналам 10 и 11 проходит в камеру сжатия рабочего хода 12 и толкает поршень 1 вперед, выводя его из состояния равновесия, после чего включается в работу по основной схеме. Одновременно сжатый воздух по каналу 5 будет проходить в камеру 6, передвинет золотник 7 вперед и закроет канал 11, тем самым пусковой механизм отключается.

Когда перфоратор будет остановлен, пружина 9 приведет золотник 7 в исходное положение. Золотниковая камера имеет дренажное отверстие 8.

Дальнейшим развитием указанной системы воздухораспределения является схема с двумя золотниковыми расточками. Схема осуществлена на бурильной головке БГА-1М (конструктор А. А. Моржаретто). Конструктивной особенностью устройства является поршень, который имеет две расточки на штоке. Передняя расточка подает сжатый воздух в камеру обратного хода, а задняя — в камеру прямого хода. Такое устройство системы воздухораспределения выполнено впервые. Оно дает возможность получить индикаторные диаграммы, близкие к прямоугольным в обеих камерах сжатия. Диаграммы обеспечивают высокий коэффициент полезного действия ударной системы и минимальный расход сжа-

Рис. 2.12. Схема пускового устройства пневмоударника с золотниковым воздухораспределением

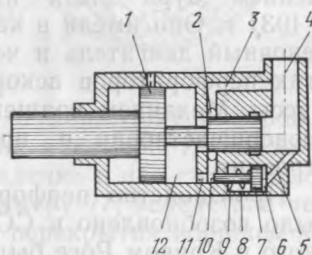
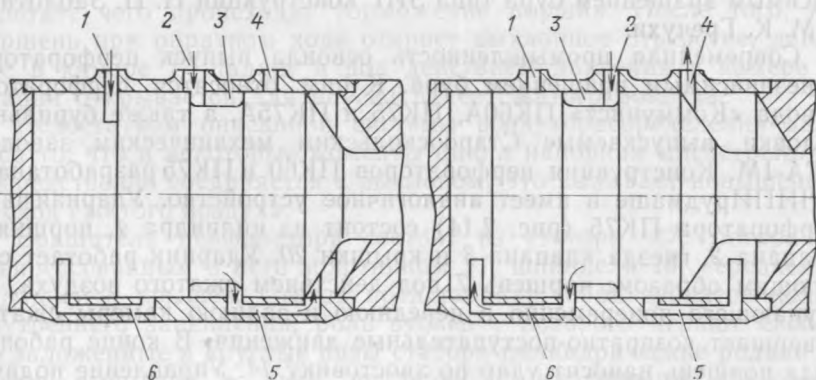


Рис. 2.13. Схема воздухораспределения с помощью золотниковых выточек на поршне





того воздуха. Шестереночный двигатель привода вращения потребляет минимальное количество сжатого воздуха.

На рис. 2.13 показано воздухораспределение, осуществляемое с помощью золотниковых выточек на поршне. Сжатый воздух поступает через канал 2 в кольцевую выточку 3 и далее по каналу 5 в камеру обратного хода. Поршень совершает обратный ход. Через некоторое время поршень перекрывает поступление сжатого воздуха в канал 5 — и дальнейшее движение его происходит за счет расширения сжатого воздуха. Двигаясь дальше, поршень открывает канал 4, через который правая полость цилиндра соединяется с атмосферой. Одновременно воздух через кольцевую выточку 3 по каналу 6 поступает в камеру сжатия прямого хода и начинается рабочий ход поршня. При дальнейшем движении поршень перекрывает доступ сжатого воздуха в канал 6, опять поршень движется за счет расширения сжатого воздуха. Затем открывается канал 1 и камера прямого хода сообщается с атмосферой. Одновременно выточка 3 соединяется с каналом 5 и сжатый воздух начинает поступать в левую полость цилиндра. Цикл повторяется. Для первоначального запуска бурильной головки на пусковом кране имеется отверстие, через которое сжатый воздух попадает непосредственно в левую полость цилиндра и перемещает поршень в крайнее положение.

## 2.5. Перфораторы с независимым вращением бура

Первые промышленные партии перфораторов с независимым вращением бура были изготовлены фирмой «Гарднер Денвер» в 1931 г. Они имели в качестве вращателя пневматический шестереночный двигатель и червячный редуктор. Однако производство этих перфораторов вскоре было прекращено из-за их большой массы. Механизм вращения с геликоидальной парой был быстро усовершенствован и прочно вошел в практику перфораторостроения.

Производство перфораторов с независимым вращением бура было возобновлено в СССР. В 1947 г. на руднике им. Дзержинского в Кривом Роге были начаты испытания перфоратора с независимым вращением бура типа ЗИГ конструкции Н. П. Заблотного и М. К. Гречухи.

Современная промышленность освоила выпуск перфораторов с независимым вращением бура. К ним относятся перфораторы завода «Коммунист» ПК60А, ПК75 и ПК75А, а также бурильные головки, выпускаемые Старооскольским механическим заводом, БГА-1М. Конструкция перфораторов ПК60 и ПК75 разработана во ВНИПИрудмаше и имеет аналогичное устройство. Ударная часть перфоратора ПК75 (рис. 2.14) состоит из цилиндра 4, поршня 7, клапана 2, гнезда клапана 3 и крышки 20. Ударник работает следующим образом: поршень 7 под действием сжатого воздуха, поступающего попеременно в переднюю и заднюю камеры сжатия, совершает возвратно-поступательные движения. В конце рабочего хода поршень наносит удар по хвостовику 14. Управление подачей

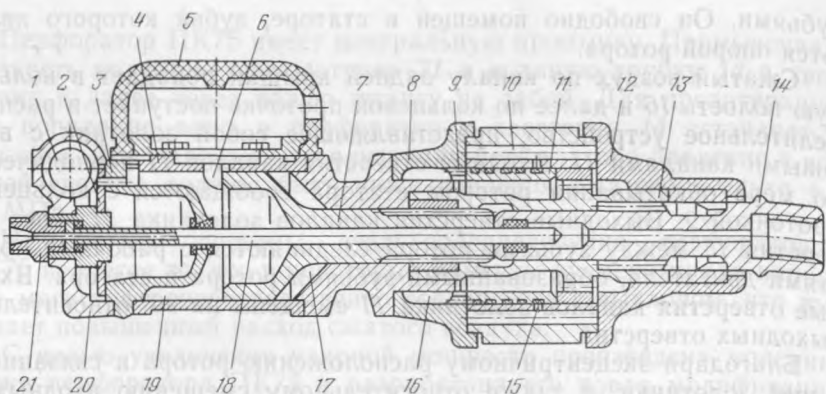
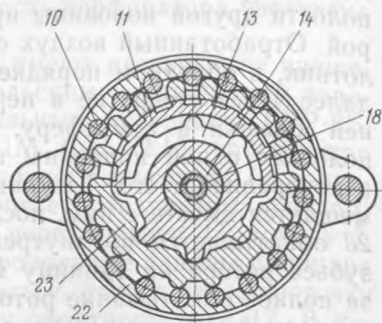


Рис. 2.14. Схема перфоратора ПК75

воздуха в рабочие камеры сжатия производится клапаном мотылькового типа. Сжатый воздух из подводящего штуцера через мотыльковый клапан поступает в рабочую камеру прямого хода 19, вызывая рабочий ход поршня. Воздух из камеры обратного хода 17 при этом сначала выходит через выхлопное отверстие 6, а после его перекрытия поршнем сжимается в камере. Когда движущийся поршень открывает выхлопное отверстие, давление в камере 19 падает и клапан 2 перекрывает дальнейшее поступление в нее сжатого воздуха, открывая поступление воздуха в камеру 17, вследствие чего начинается обратный ход поршня. После перекрытия поршнем выхлопного отверстия давление в камере 19 начинает расти, в результате чего происходит торможение поршня. После того, как поршень при обратном ходе откроет выхлопное отверстие, давление в камере 17 падает и под действием давления в камере 19 клапан открывается для впуска в нее сжатого воздуха.

Недостатком описанной системы воздухораспределения является то, что в некоторые моменты цикла напорная магистраль непосредственно соединяется с выхлопом, что вызывает повышенный расход сжатого воздуха.

Вращатель перфоратора состоит из статора 22, ротора 23 с впрессованным в него золотником 11, шпинделя 13, передней 12 и задней 8 крышек. Статор представляет собой зубчатое колесо внутреннего зацепления, роль зубьев у которого играют свободно заложённые в круглые пазы статора цилиндрические ролики 10. Ротор выполнен в виде шестерни с наружными круговыми



зубьями. Он свободно помещен в статоре, зубья которого являются опорой ротора.

Сжатый воздух по каналу задней крышки попадает в кольцевую полость 16 и далее по кольцевой проточке поступает в распределительное устройство, представляющее собой золотник с винтовыми каналами 11. Входные отверстия каналов 11 периодически по мере обкатывания ротором статора сообщаются с кольцевой проточкой 9. Выходные отверстия каналов золотника 11 через отверстия 15 между зубьями ротора соединяются с рабочими полостями двигателя, образованными зубьями ротора и статора. Входные отверстия каналов золотника 11 смещены на  $90^\circ$  относительно выходных отверстий.

Благодаря эксцентричному расположению ротора и связанного с ним золотника, а также относительному смещению входных и выходных отверстий каналов золотника, рабочие полости одной половины вращателя будут наполнены сжатым воздухом, а рабочие полости другой половины вращателя будут соединены с атмосферой. Отработанный воздух сбрасывается через те же каналы в золотник, в обратном порядке во внутреннюю полость вращателя и далее через отверстие в передней крышке 12 по трубку передней крышки в атмосферу. Сжатый воздух, находясь в рабочих полостях одной половины вращателя, воздействует на ротор 23 и поворачивает его. Так как золотник впрессован в ротор и перемещается вместе с ним, последующие циклы повторяются и ротор 23 обкатывается по внутренней поверхности статора 22. Число зубьев ротора на единицу меньше числа зубьев статора, поэтому за полное обкатывание ротора по внутренней поверхности статора последний сместится вокруг своей оси только на расстояние между соседними зубьями. В этом проявляются редукционные свойства вращателя, т. е. за полное обкатывание ротора происходит его небольшое угловое смещение.

С тем чтобы планетарное перемещение ротора преобразовать во вращательное движение шпинделя 13 относительно оси перфоратора, последний имеет круглые зубья, свободно входящие в круговые впадины на внутренней поверхности ротора, так что ротор и шпиндель имеют возможность взаимного радиального перемещения при обкатывании ротора по статору. Чтобы уменьшить трение в момент проскальзывания зубьев ротора относительно зубьев статора, последние имеют полукруглую форму.

Для облегчения развинчивания бурового става вращатель выполнен реверсивным. Направление вращения зависит от подачи воздуха к передней или задней полости. Регулирование частоты вращения производят путем дросселирования сжатого воздуха. На перфораторе установлен глушитель 5, позволяющий снизить общий уровень шума до 113—115 дБ. Подача сжатого воздуха в ударную часть производится через штуцер 1. Хвостовик 14 выполняется с внутренней или наружной резьбой. Соответственно буровая штанга непосредственно ввинчивается в хвостовик или соединяется с ним посредством муфты.

Перфоратор ПК75 имеет центральную промывку. Промывочная жидкость подается через штуцер 21 и водяную трубку 18 в хвостовик и далее через полую штангу на забой. Для предотвращения попадания воды в перфоратор в хвостовик 14 вставляется манжета. Для надежной эксплуатации перфоратора давление в водяной системе должно быть ниже давления сжатого воздуха на 0,1 МПа.

Недостатком системы воздухораспределения перфораторов ПК75 является то, что в некоторые моменты времени цикла напорная магистраль непосредственно соединяется с выхлопом, что вызывает повышенный расход сжатого воздуха.

С целью увеличения ударной мощности произведена модернизация перфоратора ПК75 и разработана его новая модификация ПК75А. Здесь диаметр цилиндра увеличен до 125 мм, применена бесклапанная система воздухораспределения по схеме «золотник на поршне» (рис. 2.15). Ударная мощность перфоратора увеличена на 1,6 кВт и составляет 10,1 кВт.

Бурильные головки БГА-1М также имеют независимое вращение бора. Они выпускаются Старооскольским механическим заводом. Этой головкой оснащают бурильные установки БУР-2Б, 1СБУ-2К и СБУ-2МН. Головка БГА-1М (рис. 2.16, конструктор А. А. Моржаретто) состоит из шестереночного двигателя 1 с редуктором и ударного узла. Ударник работает следующим образом: сжатый воздух от пульта управления через штуцер 17, трубку 2, полость 15, каналы задней буксы 4 и продольные каналы цилиндра 6 поступает в расточку 11 передней буксы 7, откуда через проточку на штоке ударника подается в камеру обратного хода 12. В камеру прямого хода 14 воздух проходит через каналы задней буксы и проточку 5 на хвостовике ударника. Торец хвостовика постоянно находится под давлением сжатого воздуха. Выхлоп сжатого воздуха производится через выхлопное окно 13. При увеличении усилия подачи амортизатор 3 сжимается и выпускной клапан 16 открывается полностью. Ударный механизм закрыт кожухом, который снижает уровень шума. Вращатель состоит из пневматического шестереночного двигателя и трех пар зубчатых колес, передающих крутящий момент хвостовику 10 через шпindel 8. Общее передаточное число редуктора равно 34,4. Мощность шестереночного двигателя 1,2 кВт. Вода в штуцер подается через муфту боковой промывки 9. Схема БГА-1М оказалась настолько эффективно, что фирма «Гарднер-Денвер» (США) использует ее для своих перфораторов PR1000 и PR2000. Финская фирма «Тамрок» выпускает серию перфораторов для шахтных установок. Они имеют воздухораспределение по схеме «золотник на поршне».

Перфоратор L400 (рис. 2.17) имеет независимое вращение от шестереночного пневмодвигателя. Одна шестерня двигателя совмещена с осью перфоратора, а вторая вынесена в отдельный прилив.

Крутящий момент через трехступенчатый редуктор передается шпинделю и через него бурильному инструменту. Шестерни редук-



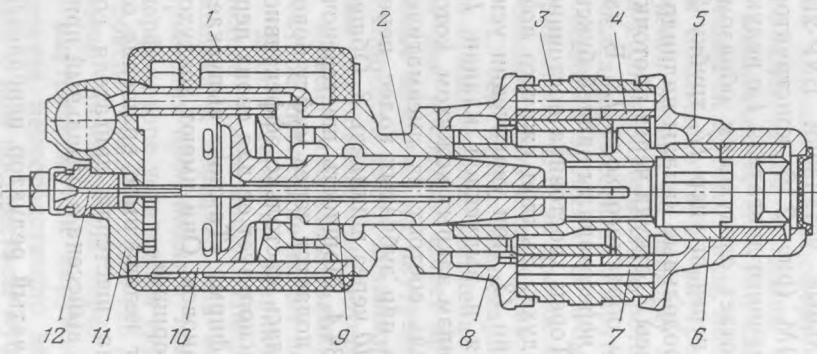


Рис. 2.15. Схема перфоратора ПК75А:  
 1 — насадок; 2 — соединительная муфта; 3 — статор; 4 — ротор; 5 — передняя крышка; 6 — шпиндель; 7 — ролик; 8 — задняя крышка; 9 — поршень; 10 — цилиндр; 11 — головка; 12 — водопромывная трубка

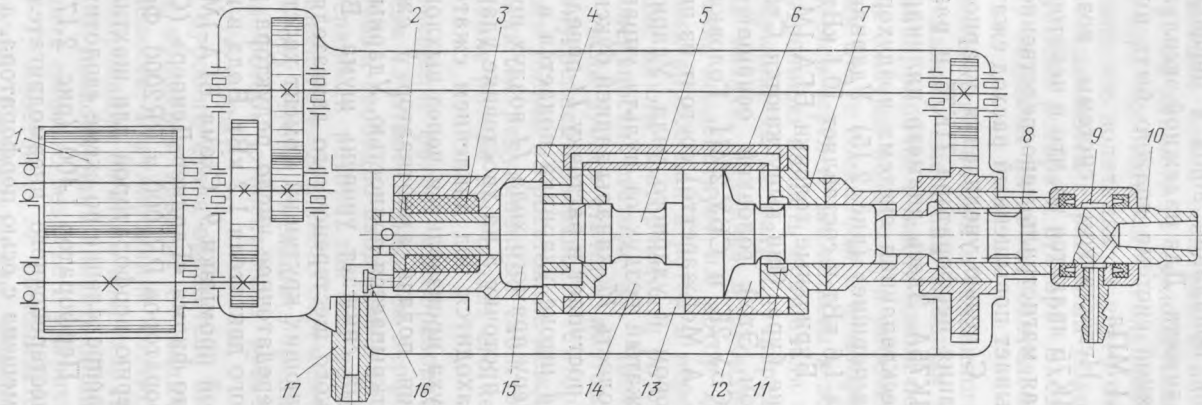


Рис. 2.16. Схема бурильной головки БГА-1М

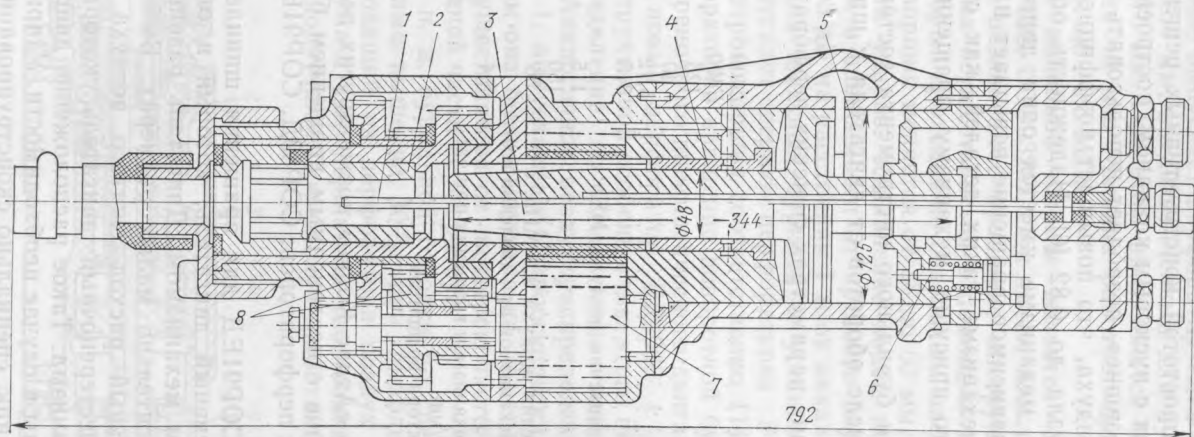


Рис. 2.17. Схема перфоратора L400:  
 1 — водопромывная трубка; 2 — поворотная буска; 3 — поршень; 4 — направляющая втулка; 5 — цилиндр; 6 — пускатель; 7 — пневмодвигатель; 8 — редуктор



тора цилиндрические. Поршень имеет удлиненную конструкцию. Золотник расположен на заднем штоке поршня. Промывка центральная.

Достоинством перфоратора является его высокая надежность, что обеспечивается простотой конструктивных решений. Система воздухораспределения с пусковым клапаном, построенная по принципу «золотник на поршне», позволяет использовать энергию расширения сжатого воздуха, что повышает коэффициент полезного действия ударного узла до 0,82 [6]. Надежность обеспечивается тем, что в ударном механизме имеется одна двигающаяся деталь — поршень. Независимое вращение повышает надежность за счет отсутствия в механизме таких деталей, как стопоры, пружины, храповики, что присуще механизму вращения с геликоидальным стержнем.

Частота вращения бурильного инструмента составляет  $3,3 \text{ с}^{-1}$ , при передаточном числе оборотов от двигателя к шпинделю, равном 10.

Сведения о рабочих параметрах финских перфораторов [7] приведены ниже.

Тип перфоратора	L400	L500	L750
	E400		
Диаметр поршня, мм	125	125	130
Ход поршня, мм	40	50	75
Масса поршня, кг	5,12	6,04	8,79
Длина поршня, мм	345	372	495
Энергия удара, Дж, при давлении воздуха, МПа:			
0,6	115	195	340
0,7	150	228	410
Частота ударов при давлении воздуха 0,6 МПа, $\text{с}^{-1}$	56	43	30
Расход воздуха ударным механизмом при давлении воздуха 0,7 МПа, $\text{м}^3/\text{мин}$	5,4	7	8
Расход сжатого воздуха механизмом вращения при частоте вращения 3,3 Гц, $\text{м}^3/\text{мин}$		3,6	
Передаточное число редуктора вращателя		10	
Усилие подачи, кН		3—7	

Шведская фирма «Атлас Копко» позже других перешла к применению перфораторов с независимым вращением бура. Она выпускает серию таких перфораторов: СОР89Д, СОР91ЕД, СОР125Д и СОР126ЕД.

В перфораторе СОР91ЕД для вращения шпинделя применен ротационный реверсивный двигатель, который в одном корпусе совмещен с ударным механизмом. Двигатель развивает высокую мощность при относительно малых размерах. Вместе с тем он имеет низкий удельный расход сжатого воздуха. Перфоратор СОР126ЕД имеет шестереночный двигатель, который размещен сзади ударного механизма. Такое расположение двигателя удобно для ремонта и замены в случае необходимости. Ударный механизм имеет длинный ударник, специально сконструированный для бурения глубоких взрывных скважин. Шум глушится в две стадии: путем соответствующих конструктивных устройств внутри перфоратора и с помощью внешнего глушителя. Вместе с тем перфоратор

имеет малые внешние размеры, что позволяет бурить шпуров почти параллельно стенкам выработки. Наклон оси шпура составляет  $3^\circ$ . Перфоратор имеет муфту боковой промывки, что позволяет применять воду под высоким давлением.

Фирма также выпускает перфоратор типа СОР150ЕВ с диаметром поршня 150 мм, предназначенный для бурения скважин диаметром 64—115 мм. При этом применяются буровые штанги диаметром 38 или 45 мм. Машина работает при давлении сжатого воздуха в сети 0,6—0,8 МПа.

Последней новинкой фирмы является серия перфораторов СОР925, СОР928, СОР932М. Они имеют бесклапанное воздухораспределение и независимое вращение инструмента. Смазка ударного механизма осуществляется с помощью воздуха, смешанного с маслом, который проходит по отдельным масляным магистралям. Длина хода поршня меняется от 38 до 60 мм, в связи с чем меняется и частота ударов. Управление ходом поршня производится автоматически в зависимости от крепости породы. Уровень шума составляет 103 дБ на расстоянии 1 м от механизма.

В США для шахтных бурильных установок фирма «Гарднер Денвер» выпускает серию перфораторов PR123, PR55, PR66, PR80 с диаметром поршня соответственно 114, 139, 168 и 203 мм. У этих перфораторов вращение поворотной буксы осуществляется за счет шестереночного пневматического двигателя.

Выпущен новый перфоратор PR2000 с диаметром поршня 137 мм. Конструктивной особенностью этого перфоратора является воздухораспределение по схеме «два золотника на поршне» (рис. 2.18). Аналогичное воздухораспределение имеет бурильная головка БГА-1, выпускаемая Старооскольским механическим заводом. Причем она была выпущена на 10 лет раньше зарубежных. Вращение осуществляется от шестереночного двигателя, расположенного в задней части перфоратора.

Общий к. п. д. бурильной головки по сравнению с аналогичными машинами выше на 30 % при выходной мощности 10—15 кВт. Выходящий из перфоратора воздух направляется через глушитель шума в узор держателя хвостовика и далее на поверхность трения податчика. Поскольку отработанный воздух содержит

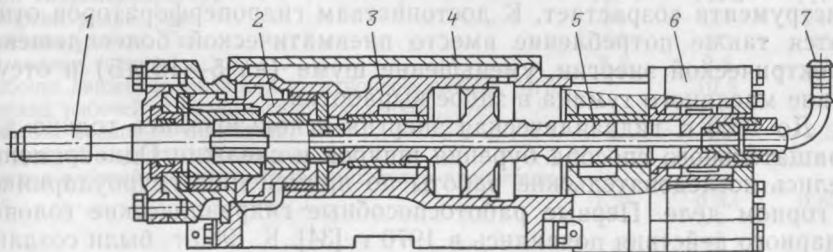


Рис. 2.18. Схема перфоратора PR2000:

1 — хвостовик; 2 — поворотная втулка; 3 — корпус; 4 — глушитель шума; 5 — поршень; 6 — двигатель вращателя; 7 — водяной патрубков

масло, происходят обильная смазка наиболее нагруженных поверхностей трения и очистка их от грязи.

Перфоратор PR2000 имеет следующие параметры:

Масса, кг . . . . .	140	Частота ударов, с <sup>-1</sup> . . . . .	39
Длина, мм . . . . .	863	Частота вращения, с <sup>-1</sup> . . . . .	0—3,3
Диаметр поршня, мм . . . . .	137	Энергия ударов, Дж . . . . .	333
Крутящий момент, Н·м . . . . .	258	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин . . . . .	20

Мощные перфораторы выпускают заводы фирмы «Ингерсол Рэнд». Перфоратор Д-525 предназначен для бурения скважин диаметром до 125 мм. Перфоратор URD475 этой фирмы имеет механизм вращения бура шестереночного типа. Особенностью конструкции является импульсное вращение. При бурении в крепких породах шестереночный двигатель питается сжатым воздухом от клапанной коробки, поступающим в двигатель в виде импульсов давления, которые затем преобразуются на буре в импульсы моментов. Опыт показывает, что при импульсном вращении увеличивается скорость бурения на 20—30 % и уменьшаются износ коронок и расход воздуха на вращение. При бурении в мягких породах осуществляется непрерывное вращение. Перфоратор имеет длинный поршень (305 мм) с тонким штоком и полый расширенной частью.

## 2.6. Гидравлические перфораторы

Последнее десятилетие в области бурения характеризуется широкими исследованиями и внедрением гидравлических перфораторов взамен пневматических. Это вызвано невозможностью дальнейшего повышения мощности пневматических перфораторов. При этом быстро возрастают размеры и масса перфораторов, увеличиваются диаметры пневматических цилиндров, резко снижается стойкость бурового инструмента.

Гидравлический перфоратор при равных размерах и массе с пневматическим позволяет подвести к буровому инструменту в 2—3 раза бóльшую мощность и повысить производительность бурения в 1,5—2 раза. Благодаря формированию гидроударником более эффективных импульсов напряжения, стойкость бурового инструмента возрастает. К достоинствам гидроперфораторов относятся также потребление вместо пневматической более дешевой электрической энергии, уменьшение шума (на 5—15 дБ) и отсутствие масляного тумана в забое выработки.

До 1960 г. гидравлическая энергия использовалась только для вращательного способа бурения шпуров и скважин. Одновременно велись исследовательские работы по применению гидроударников в горном деле. Первые работоспособные гидравлические головки ударного действия появились в 1970 г. [34]. К 1980 г. были созданы надежные конструкции гидроударников с плавным регулированием частоты ударов. Одновременно совершенствовались вращатели к ним, податчики и манипуляторы.

Гидравлические бурильные головки сейчас изготавливают более 20 фирм [34, 6]. Известно более 50 моделей головок. Большинство бурильных головок снабжено газовыми аккумуляторами, которые периодически заполняют инертным газом (азотом). Головки позволяют бурить шпурь и скважины диаметром 32—102 мм. Энергия удара 180—500 Дж, частота ударов 30—150 Гц, частота вращения бурового инструмента 0—5 с<sup>-1</sup>, крутящий момент 200—500 Н·м, давление воды для промывки 0,5—1 МПа, расход воды 30—60 л/мин.

Ударный механизм гидроперфораторов работает обычно на давлении 14—16 МПа, механизмы вращения — на давлении 5—10 МПа, податчик — на давлении 4—8 МПа. Расход жидкости ударным механизмом 60—100 л/мин, механизмом вращения 20—60 и податчиком — 5—20 л/мин.

Для снабжения гидроперфораторов энергоносителем выпускают электрогидравлические силовые блоки. Такие блоки состоят из двигателя и трех насосов, каждый из которых снабжает энергоносителем ударник, вращатель и приводит в движение податчик. В настоящее время появилась тенденция к установке одного насоса, питающего три потребителя. Мощность электродвигателя насосов 30—60 кВт. Известны два основных типа гидравлических перфораторов — золотниковые и беззолотниковые. У золотниковых перфораторов переключение потоков энергоносителя осуществляется золотником, движение которого гидравлически связано с движением поршня-ударника. Известны также перфораторы с вращающимся золотником, который приводится в движение двигателем вращателя. У беззолотниковых перфораторов переключение потока энергоносителя осуществляется непосредственно поршнем-ударником.

Кузнецким машиностроительным заводом совместно с Карагандинским политехническим институтом разработаны гидравлические перфораторы ГП-1, ГП-2, ГП-3. Первые два типоразмера предназначены для бурения шпуров, третий — для бурения скважин.

Сведения о гидроперфораторах типа ГП приведены ниже.

Тип гидроперфоратора	ГП-1	ГП-2	ГП-3
Энергия удара, Дж	98	157	245
Частота ударов, Гц	90	60	45
Выходная мощность, кВт	8,8	9,4	11
Рабочее движение жидкости в гидроперфораторе, МПа		10,8	
Расход рабочей жидкости гидроударником, л/с		1,17	
Частота вращения шпинделя, с <sup>-1</sup>	5	3,3	2,5
Крутящий момент на шпинделе, Н·м		294	
Расход рабочей жидкости гидродвигателем вращателя, л/с	1,25	0,83	0,62

Прошли производственные испытания гидроперфораторы ГБГ-180-250, ГБГ-230-300, ГП-2-01; проектируется гидроперфоратор ГБГ300-500.

Сведения о гидроперфораторах ГБГ-180-250 и ГБГ-230-300 приведены ниже.

Тип гидроперфоратора	ГБГ-180-250	ГБГ-230-300
Регулируемая энергия удара, Дж	180	230
Регулируемая частота ударов, Гц	40—60	57
Частота вращения шпинделя, с <sup>-1</sup>	1—6	1—6
Крутящий момент, Н·м	250	300
Своео усилие, кН	14	12
Длина гидроударной головки с хвостовиком, мм	870	1050
Масса, кг	118	140

Эти гидроперфораторы имеют золотниковое гидрораспределение рабочей жидкости, аккумуляторы высокого и низкого давления и встроенный гидравлический вращатель. Они имеют поршни длиной 408 и 425 мм при общей длине бурильной головки 900 мм.

Финская фирма «Тамрок» выпускает гидроперфораторы HE425, HL432, HL438. Гидроперфоратор HL850 позволяет бурить скважины диаметром до 152 мм, а гидроперфораторы HL4000 — до 200 мм. Его ударная мощность достигает 70 кВт.

На рис. 2.19 показана схема устройства ударного узла бурильной головки гидроперфоратора HL438.

Поршень 2 после нанесения удара по хвостовику 1 движется под действием напорного давления в камере 4 слева направо, совершая обратный ход. В этот момент камеры 4 и 6 через канал 11 соединены с напорной магистралью, а камера 8 через отверстие 14 в золотнике 7, отверстие 15 и канал 12 в корпусе 3 — со сливной магистралью. Золотник находится в крайнем правом положении. Одновременно происходит заполнение рабочей жидкостью напорного аккумулятора 10. Из камеры 8 жидкость вытесняется в сливную магистраль и частично в сливную аккумулятор 13. Когда бурт 18 поршня перекроет отверстие 14 в золотнике, камера 8 окажется отсеченной от сливной магистрали и через канал 9 будет соединена с напорной магистралью, в результате чего давление в камере 8 возрастет. Поршень будет продолжать двигаться направо под действием силы инерции, пока не остановится. Бурт 18 закроет канал 14 в золотнике, откроет каналы 17, 16 и 12, соединится со сливной магистралью. В то же время камера 6 отсекается от напорной магистрали буртом 19, находящимся на поршне. При этом левый торец золотника высвобождается от сил напорного давления жидкости, а правый торец находится под давлением, что заставит золотник переместиться влево. Перемещаясь, золотник закроет каналы 14 и 17, в камерах 4 и 8 установится давление, близкое к давлению в напорной магистрали.

Под действием разности сил, возникающих из-за неодинаковой площади сечения камер 4 и 8, поршень будет двигаться налево, совершая рабочий ход. В этот момент жидкость в камеру 8 будет поступать как из напорной магистрали, так и из аккумулятора 10, а аккумулятор 13 разрядится в сливную магистраль. При рабочем ходе поршня бурт 19 соединяет камеру 6 с напорной магистралью через каналы 5 и 11. Давление жидкости становится оди-



Рис. 2.19. Схема ударного узла гидроперфоратора НЛ438

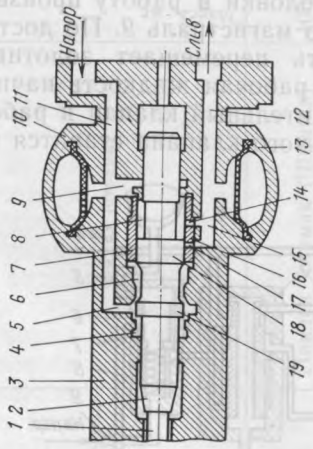
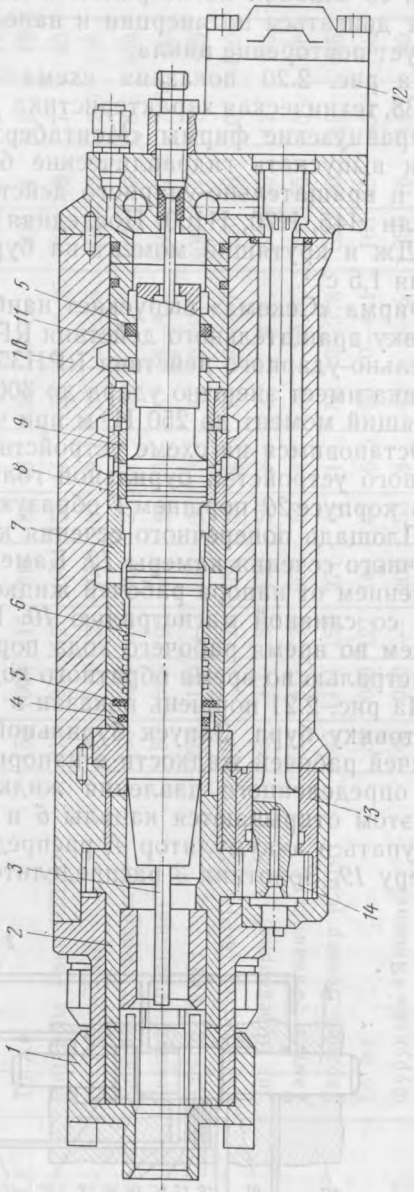


Рис. 2.20. Схема гидроперфоратора НЛ438:

1 — буролержатель; 2 — шпиндель; 3 — промывочная трубка; 4 — грязеуловитель; 5 — уплотнения; 6 — поршень; 7 — цилиндр; 8 — корпус распределительного устройства; 9 — золотник; 10 — корпус ударного механизма; 11 — цилиндр; 12 — гидродвигатель; 13 — подшипник скольжения; 14 — вал-шестерня



наковым в камерах 6 и 8. Под действием разности сил, возникающих из-за неодинаковой площади золотника, последний переместится вправо, после чего камера 8 через каналы 14 и 15 соединится со сливной магистралью и давление в ней упадет. Поршень будет двигаться по инерции и нанесет удар по хвостовику. Далее следует повторение цикла.

На рис. 2.20 показана схема устройства гидроперфоратора НЛ438, техническая характеристика которого приведена в табл. 2.5.

Французские фирмы «Монтаберт» и «Секома» раньше других стали выпускать гидравлические бурильные головки вращательного и вращательно-ударного действия. Первая фирма выпускает модели Н45, Н70, Н100. Последняя модель создает энергию удара 500 Дж и крутящий момент на буре 1200 Н·м при частоте вращения 1,5 с<sup>-1</sup>.

Фирма «Секома» выпускает наиболее отработанную бурильную головку вращательного действия РРН40 и бурильные головки вращательно-ударного действия РРН35, РРН200, РРН400. Последняя головка имеет энергию удара до 300 Дж, частоту ударов до 83 Гц, крутящий момент до 250 Н·м при частоте вращения от 0 до 5 с<sup>-1</sup>.

Остановимся на схеме устройства ударного узла и распределительного устройства бурильной головки РРН400 (рис. 2.21) [34].

В корпусе 20 поршнем 1 образуются три рабочие камеры 19, 13, 12. Площадь поперечного сечения камеры 19 меньше площади поперечного сечения камеры 12. Камера 19 постоянно находится под давлением от напора рабочей жидкости. Камера 13 постоянно связана со сливной магистралью 10. Камера 12 находится под давлением во время рабочего хода поршня и соединяется со сливной магистралью во время обратного хода поршня.

На рис. 2.21 поршень показан в положении нанесения удара по хвостовику бура. Запуск бурильной головки в работу производят подачей рабочей жидкости в напорную магистраль 9. По достижении определенного давления жидкость перемещает золотник 7, при этом открываются каналы 6 и 5, рабочая жидкость начинает поступать в аккумулятор 4, распределительный клапан и рабочую камеру 19. Золотник 3 распределительного клапана ставится в та-

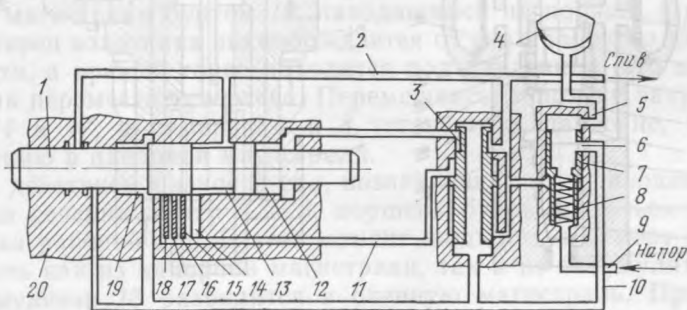


Рис. 2.21. Схема ударного узла и распределительного устройства бурильной головки РРН400



кое положение, при котором камера 12 оказывается соединенной со сливной магистралью 2. Под действием напорного давления в камере 19 поршень начинает перемещаться слева направо, совершая обратный ход. Одновременно продолжает заполняться жидкостью аккумулятор 4. Когда бурт поршня пройдет канал 18, рабочая жидкость из камеры 19 под давлением начинает поступать к распределительному клапану и перемещает золотник 3 в положение, при котором камера 12 соединяется с напорной магистралью 10.

Давление в камере 12 возрастает, но поршень продолжает движение слева направо под действием сил инерции и достигает крайнего правого положения. Когда поршень займет крайнее правое положение, давление жидкости в камерах 19 и 12 будет равно давлению напорной магистрали. Так как активная площадь камеры 12 больше активной площади камеры 19, поршень начнет двигаться влево, совершая рабочий ход, аккумулятор 4 при этом отдает накопленную жидкость. Жидкость из камеры 19 вытесняется и переливается в камеру 12. Когда бурт поршня пройдет канал 14 и канал 11, он через канал 14 и камеру 13 соединяется со сливной магистралью. Золотник 3 распределительного клапана возвращается в исходное положение, при котором камера 12 соединяется со сливной магистралью 2, в результате чего давление в камере 12 падает. Однако поршень, продолжая двигаться по инерции, наносит удар по хвостовику. Если оператор прекращает подачу жидкости в систему, то золотник 7 под действием пружины 8 закрывает каналы 6 и 5. Регулировку частоты и энергии ударов поршня осуществляют с помощью каналов 18, 17, 16, 15, 14, в которые ввертывают специальные винты различной длины.

Шведская фирма «Атлас Копко» выпускает гидроперфораторы СОР-1022, СОР-1032, СОР-1238.

Устройство гидравлического перфоратора среднего типа СОР-1032 показано на рис. 2.22. Поршень-ударник 11 совершает возвратно-поступательные движения, нанося при прямом ходе удары по хвостовику 1, имеющему внутреннюю резьбу для соединения с буровой штангой. Уплотнения 8 предохраняют от утечек масла из ударного механизма. Переключение потока рабочей жидкости на прямой или обратный ход поршня-ударника осуществляется золотником 12. Ход поршня-ударника, энергию и частоту ударов регулируют пробкой 9, при повороте которой открывают один из трех каналов 10, подводящих масло из рабочего цилиндра к камере переключения золотника 12. Сглаживание пульсации давления рабочей жидкости производится на напорной магистрали диафрагмовым аккумулятором 13, одна из полостей которого заполнена азотом под давлением 11 МПа. Вращение на хвостовик передается от гидродвигателя 14 через муфту 15 и зубчатые колеса 16 и 4 на патрон 3, внутри которого размещен хвостовик. Перфоратор оснащен гидравлическим амортизатором, предназначенным для защиты механизмов бурильной установки от вибрации, вызываемой отскоком бурового снаряда. Отраженные удары через

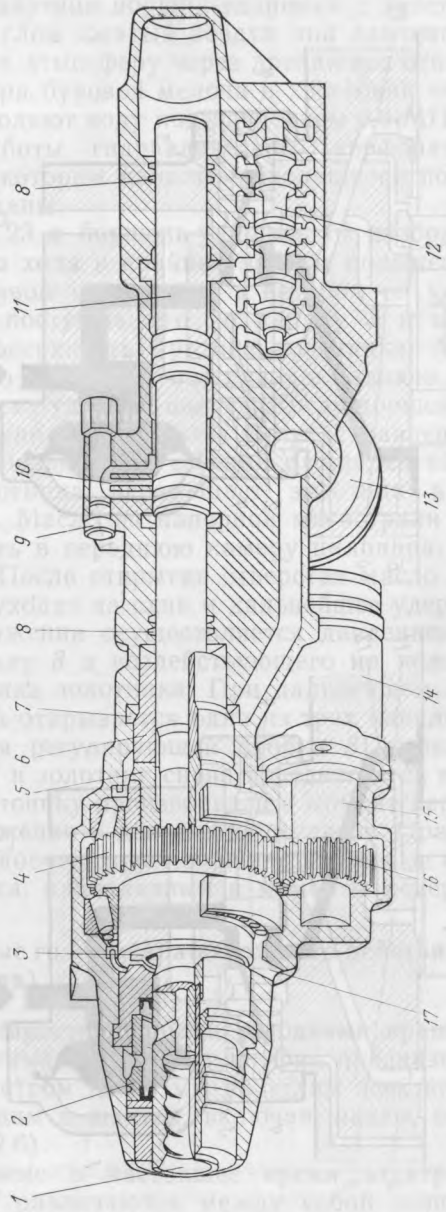


Рис. 2.22. Схема гидравлического перфоратора СОР 1032 фирмы «Атлас Копко» (Швеция)



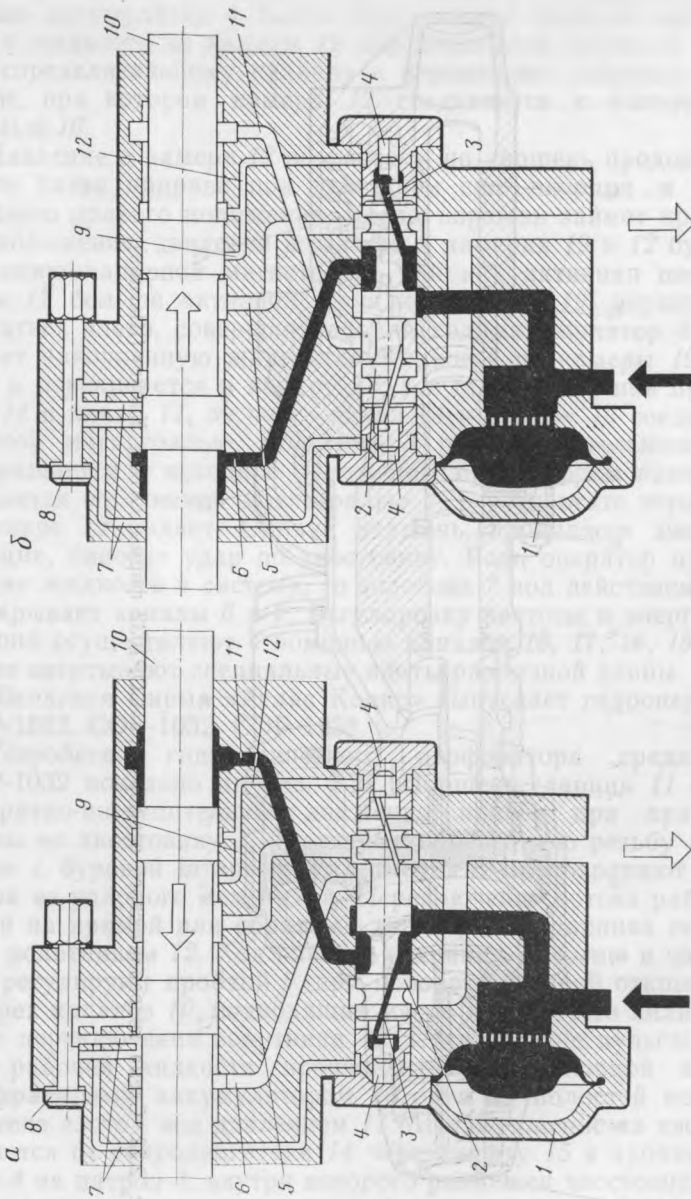


Рис. 2.23. Схема работы гидравлического перфоратора СОР-1032

упорную втулку 5 передаются на поршень амортизатора 6, сжимающий масло в полости 7, соединенной с аккумулятором 13. Для защиты ударного механизма от загрязнения и для его охлаждения в камеру соударения поршня-ударника с хвостовиком подают насыщенный маслом сжатый воздух под давлением 0,2 МПа, который выходит в атмосферу через дренажное отверстие 17. Для удаления из шпура буровой мелочи в хвостовик через муфту боковой промывки 2 подают воду под давлением 0,6 МПа.

Схема работы гидравлического перфоратора показана на рис. 2.23, на котором каналы, находящиеся под напорным давлением, затушеваны.

На рис. 2.23, а поршень-ударник 10 изображен в момент начала рабочего хода в крайнем заднем положении. Золотник 2 находится в правом положении, в котором он удерживается давлением масла, поступающего по каналу 3 и воздействующего на кольцевую поверхность буртика золотника. Масло из напорной магистрали по каналу 11 поступает в заднюю камеру цилиндра и двигает поршень-ударник вперед. Когда поршень откроет канал 12, по нему поступит мгновенный импульс давления в камеру 4, который ввиду неравенства сечений площадей камеры и кольцевого буртика золотника перемещает золотник в левое положение (рис. 2.23, б). Масло из напорной магистрали по каналу 6 начинает поступать в переднюю камеру цилиндра, вызывая обратный ход поршня. После открытия отверстия масло из камеры 4 по каналам 9 и 5 уходит на слив и дальнейшее удерживание золотника в левом положении осуществляется давлением масла, поступающего по каналу 3 и воздействующего на кольцевую поверхность правого буртика золотника. При дальнейшем обратном ходе поршня-ударника открывается один из трех каналов 7 (в зависимости от положения регулирующей пробки 8), масло поступает в левую камеру 4 и золотник снова передвигается в правое положение. Удар по хвостовику производится в момент перевода золотника из правого положения в левое. Аккумулятор 1 работает на напорной линии. При рабочем ходе поршня-ударника он отдает в магистраль избыток масла, накопленный в моменты реверсирования поршня.

## 2.7. Бурильные головки вращательного действия (горные сверла)

Наиболее распространенными головками вращательного действия являются ручные электросверла. Они предназначены для бурения шпуров диаметром до 50 мм по углям всех категорий крепости и мягким породам в шахтах, включая шахты, опасные по газу или пыли (табл. 2.6).

Применяемые в настоящее время электросверла ЭР14Д-2М и ЭР18Д-2М различаются между собой мощностью электродвигателя и частотой вращения шпинделя. Электросверло ЭРП18-2М отличается от них наличием канатного податчика для принудительной подачи сверла на забой. Редуктор у элек-

ТАБЛИЦА 2.6

Тип сверла	Номинальная мощность на шпинделе, кВт	Номинальная частота вращения, с <sup>-1</sup>	Номинальная скорость подачи сверла, см/мин	Максимальное усилие подачи, Н	Масса сверла без инструмента, кг
ЭР	1	16; 12,5	—	—	15
	1,2	16; 12,5	—	—	16,5
ЭМ	1,6	10; 16	—	—	19
	1,2	5; 10	70; 110	2500	22
	1,6	10	70; 110	—	24,5

тросверл ЭР14Д-2М и ЭР18Д-2М одноступенчатый, а у электро-сверла ЭРП18-Д-2М двухступенчатый. Основные параметры сверл приведены ниже

Тип электросверла	ЭР14Д-2М	ЭР18Д-2М	ЭРП18Д-2М	СЭР-19М
Диаметр шпуров, мм	43	43	43	50
Глубина бурения шпуров, м	3	3	4	3
Частота вращения шпинделя, с <sup>-1</sup>	14,3	10,7	5	10; 12,5; 16
Номинальный вращающий момент шпинделя, Н·м	10,6	19,9	40	90
Скорость подачи шпинделя, мм/мин	—	—	600	—
Усилие подачи, кН	—	—	3	—
Номинальная мощность на шпинделе, кВт	1	1,4	1,4	1,2
Номинальное напряжение, В	—	—	127	—
Частота, Гц	—	—	50	—
Исполнение	Взрывобезопасное			
Управление сверлами	Дистанционное по искробезопасной схеме			
Основные размеры, мм:				
длина	380	395	460	350
ширина	316	316	316	318
высота	248	248	248	300
Масса, кг	16	17	24	16,5
Завод-изготовитель	Томский электромеханический им. В. В. Вахрушева		Конотопский электромеханический «Красный металлист»	

Электросверло СЭР-19М предназначено для бурения шпуров по углю и мягкой породе в очистных и подготовительных выработках угольных шахт на пластах пологого и наклонного падения. Оно состоит из электродвигателя, редуктора и кабельного ввода. Статор электродвигателя запрессован в изолированный ребристый корпус. Ротор вращателя размещается на двух радиальных шарикоподшипниках. На конце вала ротора закреплен осевой вентилятор, который закрыт специальным колпачком. Выключатель смонтирован в камере корпуса. Редуктор электро-сверла одноступенчатый. Электросверло получает питание от пускового агрегата АП-3,5М, который соединяется со сверлом через реверсивную муфту МР-5М. Управление электросверлом ди-

станционное. Оно осуществляется по искробезопасной схеме пяти-жильным кабелем ШРБ 5×4. Пусковой агрегат АД-3,5М имеет промежуточное реле, настроенное на ток диода Д226Г, который помещают в камере выключателя электросверла. В случае замыкания жил цепи управления реле агрегата не сработает и предохранит от самовключения двигатель электросверла.

Для бурения более крепких углей и пород применяют электросверло ЭРП18Д-2М с принудительной подачей посредством стального каната (рис. 2.24). Конец каната крепят крюком к легкой распорной колонке, устанавливаемой у забоя. Отбор мощности на подачу в электросверле производят зубчатой парой с последующей передачей на барабан посредством червячной пары. На валу червяка помещается многодисковая муфта с гайкой, которой регулируют усилие нажатия пружины на диски. На валу барабана располагается с одной стороны червячное колесо, с другой — зубчатая муфта, предназначенная для включения и выключения барабана.

Ручные пневмосверла применяют в шахтах, опасных по газу или пыли, для бурения шпуров в углях и породах с  $f \leq 4$ . С применением пневмоподдержки сверло СРЗБ может быть использовано для бурения шпуров в породах с  $f \leq 6$ .

Сведения о ручных пневматических сверлах помещены ниже.

Тип сверла	СРЗ	СРЗМ	СРЗБ
Диаметр шпура, мм		36—50	
Глубина бурения шпура		<3	
Номинальное давление сжатого воздуха, МПа		0,5	
Крутящий момент на шпинделе, Н·м	68,6	68,8	35,8
Эффективная мощность, кВт		2,57	
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин		3,5	
Частота вращения шпинделя под нагрузкой, с <sup>-1</sup>	6,1	6,1	11,7
Диаметр воздухоподающего рукава, мм		18	
Основные размеры, мм:			
длина	345	345	325
ширина	445	445	445
высота	280	280	280
Масса промывочного устройства, кг	—	2,3	2,3
Масса сверла, кг	13,5	13,5	12,5

Пневмосверла могут быть также использованы и для бурения дегазационных скважин.

Редукторы сверл СРЗ и СРЗМ имеют двухступенчатую планетарную передачу с передаточным числом 10,2, а редуктор сверла

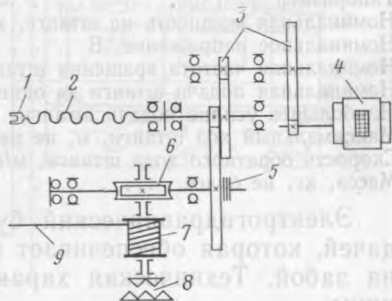


Рис. 2.24. Устройство электросверла ЭРП18Д-2М с принудительной подачей:

1 — резец; 2 — витая штанга; 3 — шестерни редуктора; 4 — электродвигатель; 5 — многодисковая муфта; 6 — червячная передача; 7 — барабан; 8 — зубчатая муфта; 9 — канат

СРЗБ — одноступенчатую передачу с передаточным числом 5,4. В крышке корпуса расположена масляная камера. Сверла СРЗМ и СРЗБ имеют промывочное устройство, состоящее из муфты боковой промывки и специального переходника.

Колонковые электробуры применяют для бурения шпуров и скважин в углях и породах с  $f \leq 12$ . При бурении их устанавливают на колонках или манипуляторах.

Типоразмеры горных колонковых электробуров приведены ниже.

Типоразмер	I	II
Номинальная мощность на штанге, кВт, не менее	2,5	4
Номинальное напряжение, В	380/660	380/660
Номинальная частота вращения штанги, $c^{-1}$	1,7—6,7	2,5—8,3
Номинальная подача штанги за один оборот, мм	0,5—5	
Наибольшее усилие подачи штанги, кН	15	20
Максимальный ход штанги, м, не менее	2,2	2,2
Скорость обратного хода штанги, м/мин, не менее	5	
Масса, кг, не более	132	160

Электрогидравлический бур выпускают с гидравлической подачей, которая обеспечивает плавное регулируемое осевое усилие на забой. Техническая характеристика бура ЭБГП-1 приведены ниже.

Часовая мощность двигателя, кВт	3,5
Напряжение, В	660/380
Частота вращения шпинделя, $c^{-1}$	2,83; 5,75
Способ подачи шпинделя	Гидравлический
Скорость подачи шпинделя, м/с:	
вперед	0,02
при обратном ходе	0,08
Максимальное усилие подачи, кН	15
Ход шпинделя, м	0,9
Максимальная подача штанги с перехватом, м	2,2
Управление двигателем	Дистанционное
Диаметр реза, мм	36—43
Основные размеры, мм:	
длина	1680
ширина	400
высота	400
Масса сверла, кг	130
Завод-изготовитель	Конотопский электромеханиче- ский «Красный металлист»

Электрогидравлический бур ЭБГП-1 (рис. 2.25) состоит из электродвигателя, двухскоростного редуктора, гидропривода, траверсы со шпинделем и двух цилиндров подачи. Электродвигатель трехфазный, асинхронный, с короткозамкнутым ротором. Гидропривод обеспечивает поступательное движение шпинделя и создание осевого усилия на буровой штанге. Траверса позволяет осуществлять перехват штанги, благодаря чему можно бурить шпуры на их полную глубину одной штангой. Электробур присоединяют к источнику электроэнергии посредством шестижильного кабеля марки ГРШНС.



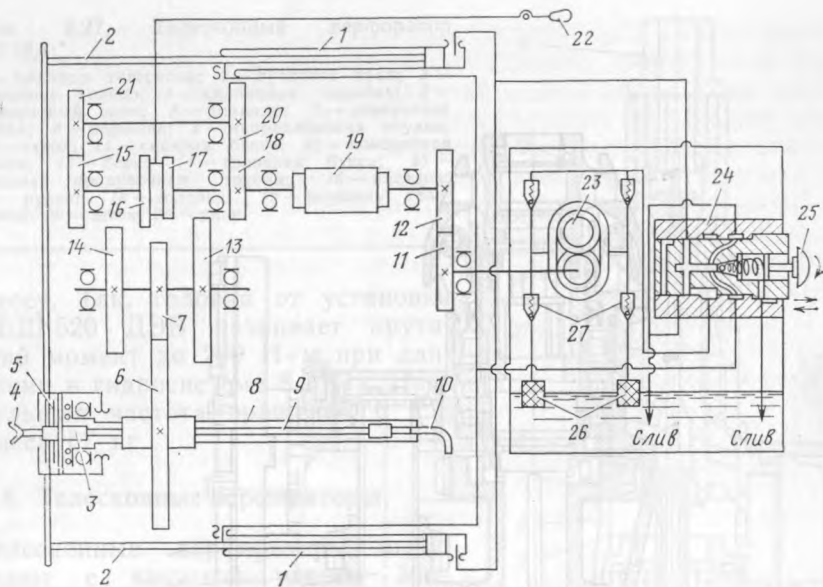


Рис. 2.25. Устройство электрогидравлического бура:

1 — гидроцилиндры; 2 — штоки гидроцилиндров; 3 — зажимной патрон; 4 — резец; 5 — траверса; 6, 7, 13—21 — шестерни коробки скоростей; 8 — шпindelь; 9 — буровая штанга; 10 — вертлюг; 11, 12 — шестерни; 22 — рукоятка переключения скоростей; 23 — гидронасос; 24 — золотник управления; 25 — рукоятки регулятора давления в гидросистеме; 26 — фильтры; 27 — обратные клапаны

Для бурильных установок БУЭ-1М выпускают головки вращательного действия с электроприводом (рис. 2.26). Крутящий момент от электродвигателя 3 передается буровой штанге через трехступенчатый редуктор. Переключение скоростей осуществляется перемещением вдоль шлицевого вала 2 блока шестерен 1 и установкой его в одно из трех положений. В первом положении блок шестерен сцепляется своими кулаками со свободно сидящим на валу 2 зубчатым колесом 4. Во втором положении вращение вала 2 на вал 5 передается через левую шестерню блока шестерен 1 и левую шестерню блока шестерен 6, закрепленного на штоке на валу 5. При установке блока шестерен 1 в правое (третье) положение вращение с вала 2 на вал 5 передается через правые шестерни блоков 1 и 6. Крутящий момент на буровую штангу передается через кулаки втулки 8. Осевое усилие при бурении воспринимается упорным подшипником 7. Штангу фиксируют в шпинделе буродержателем 9. Головка имеет мощность привода 7,5 кВт. Частота вращения 10,5; 5,3; 2 с<sup>-1</sup>. Масса головки 245 кг.

В отличие от электрических гидравлические бурильные головки имеют простое устройство. Они компактны, легко регулируются по частоте вращения без коробки передач, имеют малую

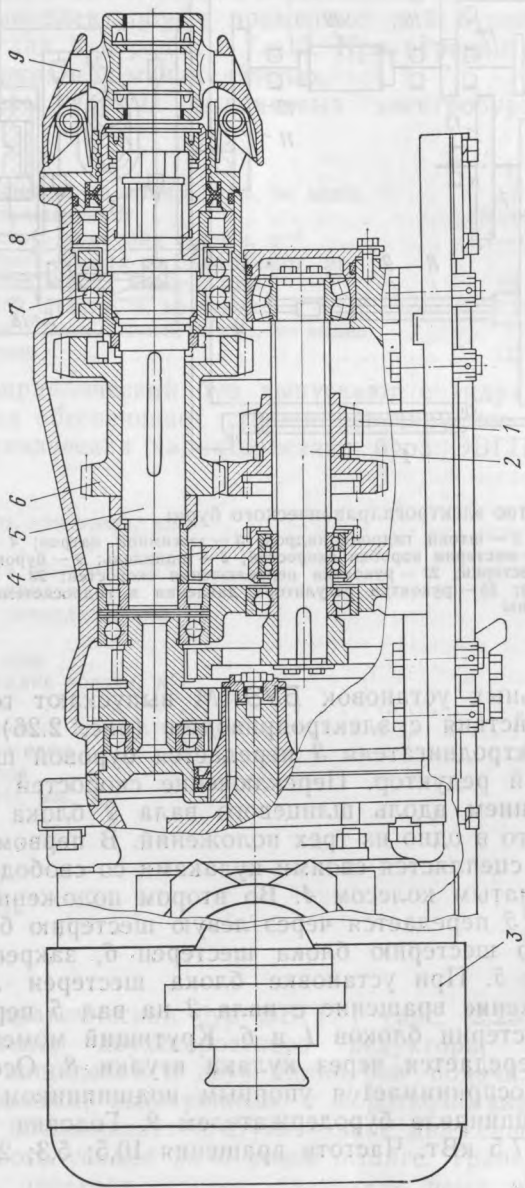
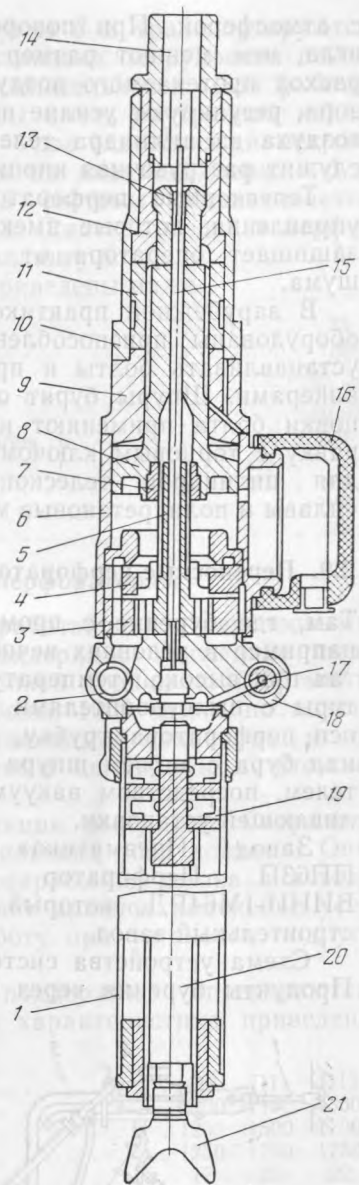


Рис. 2.26. Буринная головка установки БУЭ-1М

Рис. 2.27. Телескопный перфоратор ПТ48А:

1 — цилиндр телескопа; 2 — пусковой кран; 3 — храповое кольцо; 4 — клапанная коробка; 5 — поворотный винт; 6 — цилиндр; 7 — поворотная гайка; 8 — поршень; 9 — направляющая втулка; 10 — ствол; 11 — сцепная буска; 12 — поворотная буска; 13 — боек; 14 — граненая буска; 15 — водяная продувочная трубка; 16 — насадок; 17 — ручка; 18 — головка; 19 — поршень теле-скопа; 20 — шток; 21 — упор



массу. Так, головка от установки УБШ-520 ДЭВ развивает крутящий момент до 280 Н·м при давлении в гидросистеме 8 МПа. Наибольшая частота вращения  $6 \text{ с}^{-1}$ , масса 67 кг.

## 2.8. Телескопные перфораторы

Телескопные перфораторы выпускают с частотой ударов  $36\text{—}50 \text{ с}^{-1}$ . Они имеют специальные приспособления для предотвращения попадания бурового шлама и воды внутрь машины. Трубки для промывки увеличенного диаметра, а водяная система снабжается клапаном. Поворотную буску обдувает сжатый воздух, который подают при выключенном перфораторе.

Телескопный перфоратор ПТ48А (рис. 2.27) состоит из двух частей: бурильной головки и телескопного устройства. Перфоратор ПТ48А имеет постоянную продувку. Сжатый воздух для продувки подают к буру через трубку, которая проходит по оси перфоратора concentrically с водяной трубкой. Подающее устройство перфоратора состоит из цилиндра телескопа и штока, на верхнем конце которого укреплены манжеты. Нижний конец штока упирается в почву выработки с помощью упора. Цилиндр телескопического устройства крепят к перфоратору с помощью стяжных болтов. Сжатый воздух подают как в бурильную часть перфоратора, как и в телескопный податчик посредством пускового крана. Усилие подачи регулируют рукояткой управления телескопом, которая соединяет через специальный канал верхнюю полость цилиндра

с атмосферой. При повороте рукоятки перемещается запорная игла, чем меняют размер кольцевой щели, а следовательно, и расход протекаемого воздуха. Изменяя величину кольцевого зазора, регулируют усилие подачи. Для быстрого выпуска сжатого воздуха из цилиндра телескопа и опускания перфоратора вниз служит разгрузочная кнопка, помещенная на рукоятке.

Телескопные перфораторы снабжают съемными рукоятками управления, которые имеют гибкую связь с перфоратором, что защищает оператора от вибрации. Имеется также глушитель шума.

В зарубежной практике некоторые телескопные перфораторы оборудованы приспособлениями, позволяющими бурить шпур, устанавливать болты и производить их затяжку при креплении анкерами. Шпур бурят обычным комплектом буров. Для установки болта применяют круглую оправку, а для затяжки — оправку с торцовым ключом. Для уменьшения массы перфоратора для цилиндров телескопа иногда используют алюминиевые сплавы и полиуретановые манжеты.

## 2.9. Переносные перфораторы с пылеуловителями

Там, где бурение с промывкой нежелательно или невозможно, например в условиях вечной мерзлоты или на глубоких горизонтах при высокой температуре горных пород, применяют перфораторы с пылеуловителями. Пыль удаляют через проходящую по оси перфоратора трубку, которая связана через внутренний канал бура с забоем шпура и через систему рукавов с пылеуловителем, посредством вакуума, создаваемого эжектором пылеулавляющей установки.

Завод «Пневматика» выпускает переносный перфоратор ПП63П. Перфоратор эксплуатируется с пылесборником ВНИИ-1М64РД, который изготавливает Магаданский машиностроительный завод.

Схема устройства системы пылеотсоса показана на рис. 2.28. Продукты бурения через бур 1 и центральную трубку перфора-

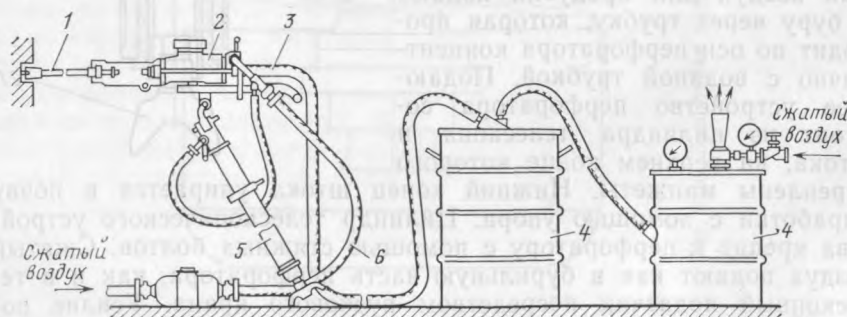


Рис. 2.28. Устройство системы пылеотсоса

тора 2 попадают в резинотканевый рукав 3 и транспортируются в пылеулавливающую установку 4. Установка оборудована пылеуловителем и эжектором повышенной длительности. Для работы с пылеотсосом буровые штанги должны иметь внутренний канал диаметром не менее 10 мм, а коронка — два отверстия диаметром 7—8 мм. Перфоратор устанавливается на пневмоподдержке 5 и имеет виброгасящую каретку. Смазка системы обеспечивается масляной с регулятором подачи масла. Сжатый воздух к перфоратору и пневмоподдержке подают по шлангу 6.

Основные данные о пылесборнике приведены ниже.

Вместимость бункера, м шпура	38
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	1,23
Разрежение на входе в эжектор, кПа:	
при бурении	29,26
максимальное	69,82
Наибольшее расстояние от пылеуловителя до забоя, м	60
Основные размеры, мм:	
высота	900
диаметр	500
Масса, кг	35

## 2.10. Пневмоподдержки к переносным перфораторам

Для облегчения труда бурильщиков, работающих с переносными перфораторами, применяют пневмоподдержки. Последние подразделяют на короткоходовые с величиной подачи до 1000 мм и длинноходовые с величиной подачи более 1000 мм, а по конструкции — с опорным штоком и выдвигающимся цилиндром, к которому крепят перфоратор, и с опорным цилиндром и штоком, соединенным с перфоратором.

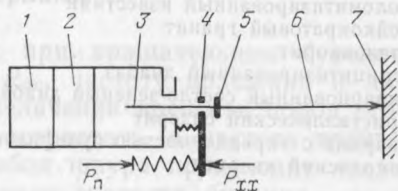
Пневмоподдержки первой конструкции выпускает Свердловский механический завод горноспасательного оборудования. Они имеют реверсивное устройство для возвращения штока в исходное положение. Устройство обеспечивает плавное изменение усилия от 0 до 1750 Н и надежную работу при установке под углом к оси перфоратора от 0 до 65°.

Типоразмеры пневматических поддержек определяются ТУ 24.00.4904—84, а их техническая характеристика приведена ниже.

Тип пневмоподдержки	П8	П11	П13
Ход поршня, мм	800	1100	1300
Длина в сжатом состоянии, мм	1200	1500	1700
Раздвижное усилие при давлении 0,5 МПа, Н	1750	1750	1750
Масса, кг	17	20	22

Рис. 2.29. Схема подачи перфоратора:

1 — корпус; 2 — поршень; 3 — хвостовик; 4 — лонет; 5 — бурт штанги; 6 — буровая штанга; 7 — забой шпура ( $P_n$  — усилие подачи,  $P_{х х}$  — усилие холостого хода)





Сейчас предложена новая система подачи (предложение инж. Б. В. Фомина), при которой подается бур, а не перфоратор (рис. 2.29). Такое решение позволяет повысить производительность машин более чем в 1,3 раза.

## 2.11. Производительность переносных перфораторов

Производительность бурильных машин определяется механической скоростью бурения, которая является функцией многих переменных, таких, как выходная мощность бурильной головки, крепость бурильных пород, диаметр шпура, износ инструмента, тип буровой коронки, глубина шпура, интенсивность очистки забоя, режим бурения.

Средняя механическая скорость бурения переносными перфораторами (мм/с) может быть определена по эмпирическим формулам Ю. Г. Коняшина [29]

$$v = \frac{56An}{d^2\sigma^{0.59}}; \quad v = \frac{125An}{d^2P_k^{0.484}},$$

где  $A$  — энергия удара поршня, Дж;  $n$  — частота ударов, Гц;  $d$  — диаметр шпура, мм;  $\sigma$  — временное сопротивление пород раздавливанию, МПа;  $P_k$  — контактная прочность горных пород, МПа.

Для облегчения расчетов на рис. 2.30 и 2.31 показаны значения  $\sigma^{0.59}$  и  $P_k^{0.484}$ . Сведения о свойствах пород приведены в табл. 2.7.

При определении сменной производительности переносных перфораторов коэффициент использования во времени при работе с пневмоподдержкой равен 0,55—0,7.

Переносные перфораторы очень чувствительны к осевому усилию подачи. Усилие с помощью пневмоподдержки поддерживают в пределах 600—1200 Н.

ТАБЛИЦА 2.7

Порода	Временное сопротивление раздавливанию $\sigma$ , МПа	Контактная прочность $P_k$ , МПа
Среднезернистый песчаник	12	266
Мелкозернистый песчаник	20,8	192
Белый мрамор	29,6	985
Доломитизированный известняк	72	1920
Лейкократовый гранит	89,6	2450
Гранодиорит	95,3	2260
Серицитизированный диабаз	107	1226
Окварцованный светло-зеленый диабаз	135	1300
Кристаллический сидерит	139	1610
Кварцит с вкрапленностью сульфидов	177	3000
Бакальский кварцит	190	3930

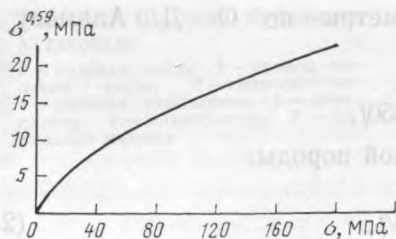


Рис. 2.30. График для определения величины  $\sigma^{0,59}$

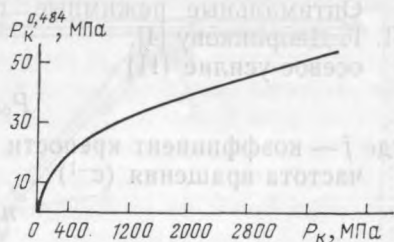


Рис. 2.31. График для определения величины  $P_k^{0,484}$

## 2.12. Расходные показатели при бурении шпуров переносными перфораторами

На расход бурового инструмента влияют крепость буримых пород, их абразивность, диаметр шпура, давление сжатого воздуха в системе, что требует специальных исследований. Ниже приведен расход буровых штанг, коронок (табл. 2.8) и сжатого воздуха.

Коэффициент крепости пород . . . . .	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16	16—18	18—20
Расход буровых штанг, кг на 1000 м шпуров . . . . .	30	45	65	90	135	165	330
Коэффициент крепости пород . . . . .	8—10	12—14	14—16	16—18			
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин . . . . .	32/37	37/45	45/53	53/67			

В числителе приведены расход сжатого воздуха при диаметре коронок 40 мм, в знаменателе — при диаметре 46 мм.

ТАБЛИЦА 2.8

Диаметр коронок, мм	Расход коронок, шт. на 1000 м шпуров, при коэффициенте крепости пород						
	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16	16—18	18—20
36	16	19	24	30	41	61	101
40	17	21	26	33	45	66	111
43	19	24	30	38	52	76	130
46	22	27	34	43	59	86	144

## 2.13. Параметры бурения шпуров сверлами

В качестве режимных параметров при вращательном бурении шпуров принимают осевое усилие  $P_{ос}$ , частоту вращения и интенсивность очистки шпура. При увеличении крепости пород осевое усилие на инструмент должно возрастать, а частота вращения падать, при плохой очистке забоя шпура происходит повышенный расход инструмента и падение скорости бурения.

Оптимальные режимные параметры по О. Д. Алимову и Л. Т. Дворникову [4]:  
осевое усилие (Н)

$$P_{oc} \geq 350f,$$

где  $f$  — коэффициент крепости горной породы;  
частота вращения ( $c^{-1}$ )

$$n = 36/f; \quad (2.1)$$

$$n = 12 - 0,8f. \quad (2.2)$$

Формулу (2.1) применяют при выборе режимов для слабых углей и пород с  $f \leq 4$ . При бурении более крепких пород справедлива формула (2.2). Формулы справедливы для шпуров диаметром 40—45 мм.

Величина подачи инструмента на один оборот под действием осевого усилия (м)

$$h = (9 - 0,5f) P 10^{-7},$$

где  $P$  — осевое усилие, Н;  $f$  — коэффициент крепости пород.

Механическая скорость бурения (м/с)

$$v = hn,$$

где  $n$  — частота вращения,  $c^{-1}$

Мощность на резце (Вт)

$$W = 0,7 \cdot 10^8 S v f,$$

где  $S$  — площадь сечения шпура,  $m^2$ ;  $v$  — скорость бурения шпуров, м/с.

Пример. Определить механическую скорость бурения и мощность на резце при  $P=800$  Н;  $S=0,0012$   $m^2$ ;  $n=13$   $c^{-1}$ ;  $f=2$ .

Величина подачи инструмента

$$h = (9 - 0,5 \cdot 2) \cdot 800 \cdot 10^{-7} = 0,00064 \text{ м.}$$

Механическая скорость бурения шпуров

$$v = 0,00064 \cdot 13 = 0,0083 \text{ м/с.}$$

Мощность на резце

$$W = 0,7 \cdot 10^8 \cdot 0,0012 \cdot 0,0083 \cdot 2 = 1370 \text{ Вт} = 1,3 \text{ кВт.}$$

Расход резцов, буровых витых и круглых штанг при вращательном бурении сверлами приведен ниже.

Коэффициент крепости пород	1—2	2—4	4—6	6—8	8—10
Резцы, шт.	7	11	20	55	120
Витые штанги, кг	4	10	21	—	—
Круглые штанги, кг	—	—	—	15	30

В среднем по угольной промышленности расход буровой стали составляет 10 кг на 1000 м шпуров.

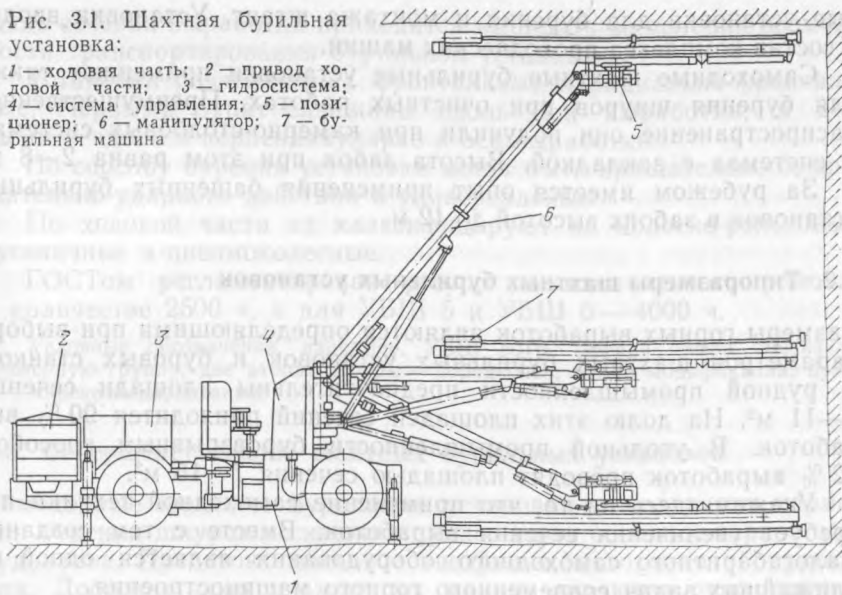
### 3. ШАХТНЫЕ БУРИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

#### 3.1. Назначение шахтных бурильных установок

Шахтные бурильные установки (рис. 3.1) предназначены для бурения шпуров (ГОСТ 21906—76). Шпуры бурят вдоль оси выработки, в кровлю, бока или почву.

Рис. 3.1. Шахтная бурильная установка:

1 — ходовая часть; 2 — привод ходовой части; 3 — гидросистема; 4 — система управления; 5 — позиционер; 6 — манипулятор; 7 — бурильная машина



Основными критериями выбора бурильных установок являются вид горных работ, площадь сечения выработок и крепость буримых пород. В проходческих забоях шпур бурят по оси выработок (фронтальные установки). При этом должна сохраняться параллельность податчика при установке на следующий шпур. Следующим требованием выдвигается возможность забуривания при минимальном расстоянии от стенок выработок. Это особенно необходимо при производстве «гладкого взрывания». Бурильная машина (бурильная головка и податчик) должна быть устроена таким образом, чтобы имелась возможность бурить шпур параллельно стенкам выработок на расстоянии 120 мм. Фирма «Атлас Копко», рекламируя перфоратор COP 90ЕД, указывает, что при бурении им достигается расстояние от оси буровой штанги до верхнего края корпуса 79 мм.

Не менее важно бурить подошвенные шпур с малым углом к почве выработки. Шпур под большим углом к почве создают неровную поверхность, что отрицательно сказывается на эксплуатации самоходного оборудования, вызывая повышенный износ шин.

Бурение шпуров для анкерной крепи и в стенки выработок производят бурильными установками радиально-фронтального типа. Шпур при этом бурят перпендикулярно к оси выработки, для чего автоподатчик с помощью гидроцилиндра поворачивают на 90°. Иногда податчик не размещается по высоте выработки. В этом случае применяют телескопные податчики. Бурение под штанги производят коротким буром. Имеются также специаль-

ные установки для бурения и монтажа штанг. Установки вводят в состав комплекса проходческих машин.

Самоходные шахтные бурильные установки применяют также для бурения шпуров при очистных работах. Преимущественное распространение они получили при камерно-столбовых системах и системах с закладкой. Высота забоя при этом равна 2—8 м.

За рубежом имеется опыт применения башенных бурильных установок в забоях высотой до 12 м.

### 3.2. Типоразмеры шахтных бурильных установок

Размеры горных выработок являются определяющими при выборе параметров шахтных бурильных установок и буровых станков. В рудной промышленности предпочтительны площади сечений 6—11 м<sup>2</sup>. На долю этих площадей сечений приходится 90 % выработок. В угольной промышленности буровзрывным способом 72 % выработок проводят площадью сечения 7—15 м<sup>2</sup>.

Укажем здесь на то, что применение самоходной техники потребует увеличения сечения выработок. Вместе с тем создание малогабаритного самоходного оборудования является одной из ближайших задач современного горного машиностроения.

Типоразмеры бурильных установок приведены в табл. 3.1.

Основные размеры установки должны обеспечивать возможность обуривания выработок, имеющих арочную, сводчатую и круглую формы.

При выборе площадей сечений горных выработок следует учитывать также и тип погрузочно-транспортных машин, применяемых на горном предприятии. Вероятен такой случай, когда пло-

ТАБЛИЦА 3.1

Типоразмер бурильной установки	Зона бурения, м не менее		Основные размеры установки в транспортном положении, м, не более			
			С колесно-рельсовой ходовой частью		С нерельсовой ходовой частью	
	высота от опорной плоскости	ширина	ширина	высота от опорной плоскости	ширина	высота от опорной плоскости
УБШ 1	2	2,2	1,1	1,25	1,25	1,6
УБШ 2	2,5	3,3	1,3	1,5	1,5	1,8
УБШ 3	3,6	4,5	1,4	1,6	2/2,2*	2,4
УБШ 4	5	6	1,4	2	2,5	2,5/3,3***
УБШ 5	7	8,4	—	—	2,6	2,8/3,4***
УБШ 6	10	9,4	—	—	3,3/3,8**	4,5

\* В числителе приведены размеры для установки с двумя бурильными машинами, в знаменателе — с тремя.

\*\* В числителе приведены размеры для установки с четырьмя бурильными машинами, в знаменателе — с шестью.

\*\*\* В числителе приведены размеры для пневмоколесной установки, в знаменателе — для гусеничной установки.



щадь сечения выработки приходится выбирать из условия возможности транспортирования бурильной установки.

Установки разделяют на фронтальные и радиально-фронтальные. Первыми бурят скважины вдоль оси выработки, а вторыми — вдоль и перпендикулярно к оси выработки.

По способу бурения установки могут быть вращательного, вращательно-ударного действия и универсальные.

По ходовой части их классифицируют на колесно-рельсовые, гусеничные и пневмоколесные.

ГОСТом регламентирован ресурс до капитального ремонта в количестве 2500 ч, а для УБШ 5 и УБШ 6 — 4000 ч.

Условные обозначения, например, УБШ 501Б. Первая цифра обозначает размерную группу, две вторые цифры — порядковый номер модификации, буква Б — индекс модернизации.

### 3.3. Совершенствование шахтных бурильных установок

Самоходные шахтные бурильные установки и подземные станки для бурения шпуров и скважин приняты как основное горное оборудование. Предстоит массовое внедрение этого типа оборудования. Достоинствами упомянутых машин являются существенное повышение производительности бурения, высокая маневренность, возможность автоматизации процессов бурения, снижение затрат физического труда, снижение вибрации, возможность защиты от шума. К недостаткам следует отнести высокие капитальные затраты.

До 1910 г. бурение производилось в основном вручную [48]. Затем стали внедрять переносные пневматические перфораторы, создание которых относится к 1839 г. Единичные перфораторы применяли в России с 1878 г. на Богословском медном руднике, а с 1907 г. — и в Донбассе. К 1930 г. бурение шпуров повсеместно производили переносными перфораторами. В 1940 г. стали широко применять пневмоподдержки к переносным перфораторам. Этот вид оборудования преобладает до настоящего времени. Мощность переносных перфораторов возросла с 0,5 до 2 кВт. Производительность переносных перфораторов по гранитам составляет до 66 шпурометров в смену. Производительность бурения перфораторами по сравнению с ручным бурением возросла в 66 раз.

В 30-х годах появились шахтные самоходные установки на колесно-рельсовом ходу. На них ставились перфораторы с геликоидальной парой, манипуляторы действовали от систем с ручным приводом. Такие установки не могли конкурировать с переносными перфораторами на пневмоподдержках; они имели низкий коэффициент использования во времени. Кроме того, перфораторы с геликоидальной парой имели низкий крутящий момент, что приводило к заклиниванию инструмента при малейшем отклонении рамы подающего устройства.

Появление гидравлических манипуляторов позволило резко сократить время на установку автоподатчиков в рабочее положение.

Применение независимого вращения взамен геликоидальной пары дало возможность стабилизировать работу перфораторов. Перечисленные технические решения позволили повысить коэффициент использования механизмов во времени и сделать целесообразным применение бурильных установок. Производительность первых установок составляла 60—70 шпурометров в смену.

Для придания подвижности бурильным установкам последние стали выпускать на колесно-шинном ходу с дизельным приводом, что в сочетании с самоходным погрузочно-доставочным оборудованием привело к многозабойному обслуживанию в течение смены.

Бурильные установки в основном выпускают с числом манипуляторов от одного до трех. Подающий механизм и манипуляторы у них гидрофицированы, управление процессом бурения — дистанционное. Применение шахтных бурильных установок второго поколения позволило увеличить производительность бурения до 210 м/смену.

Дальнейшее развитие техники бурения идет в направлении применения гидроперфораторов на самоходных установках с последующей более глубокой автоматизацией процессов бурения [35, 3].

Производительность установок с гидроперфораторами составляет 280—300 м/смену, т. е. возросла за последние 40 лет в 4,5 раза. Сейчас идет интенсивный процесс внедрения шахтных бурильных установок в практику добычи руд.

#### 3.4. Бурильные машины шахтных установок

Бурильная машина является основным рабочим органом бурильной установки. Согласно ГОСТ 21906—76, она представляет собой совокупность бурильной головки и податчика, объединенных конструктивно. Податчики предназначены для перемещения бурильной головки и бурового инструмента вслед за перемещающимся забоем шпура или скважины и обеспечения заданного осевого усилия инструмента на забой. Кроме того, податчики обеспечивают отвод бурильной головки в исходное положение после окончания бурения.

Различают податчики постоянной длины и телескопические. Податчики постоянной длины применяют на бурильных установках фронтального типа, а также на радиально-фронтальных установках в выработках большой площади сечения, когда линейные размеры выработки больше длины податчика. В остальных случаях применяют телескопические податчики, которыми обуривают забой выработки глубокими шпурами, а кровлю и стенки выработок — укороченными шпурами сложенным податчиком.

Конструктивно податчики подразделяют на винтовые, цепные, канатные, канатно-поршневые и шагающие. По типу привода различают податчики с приводом от двигателя и от цилиндра, а по типу энергоносителя — пневматические и гидравлические.

Скорость подачи бурильной головки при бурении составляет от 0 до 0,3 м/с, а при обратном ходе — от 0,3 до 0,4 м/с. Длина подачи изменяется от 2 до 4,5 м. Основное усилие создается равным 1,5—20 кН. Масса податчиков варьирует в пределах 30—850 кг и обычно составляет 300—400 кг.

Схема бурильной машины с винтовым податчиком постоянной длины показана на рис. 3.2. Податчик состоит из рамы 13, верхняя часть которой служит направляющей салазок 6 бурильной головки 5. Внутри рамы в подшипниковых опорах размещен винт 12, получающий вращение непосредственно от двигателя 1 или через редуктор. В постоянном зацеплении с винтом находится гайка 11, соединенная с салазками, что обеспечивает поступательное движение бурильной головки при вращении винта. В передней части рамы устанавливается упор 10, обеспечивающий фиксацию бурильной машины на забое выработки. Упор выполняется в виде жесткой пики или в виде резинового буфера. Для фиксации буровой штанги 8 в передней части рамы размещается неподвижный люнет 9. При длине штанги более 3 м ставится подвижный люнет 7, предотвращающий изгиб буровой штанги. Подвижный люнет перемещается по направляющей балке рамы с помощью бурильной головки и возвращается в исходное положение при обратном ходе головки с помощью ползуна 2 тягами 3. Для гашения вибраций в салазку встраивается амортизатор 4.

Люнет является важным элементом бурильной машины. Он должен надежно фиксировать штангу, а при ее замене легко раскрываться. Винт податчика выполняется с трапециевидной многозаходной несамотормозящейся резьбой. В последнее время стала прививаться шариковая резьба. Последняя обеспечивает большую долговечность пары «винт — гайка» и меньшее сопротивление движению.

Рама податчиков выполняют сварными из стального проката. Имеется опыт применения податчиков из прессованных алюминиевых сплавов (фирмы «Атлас Копко» и «Гарднер Денвер»). Салазки в этих конструкциях выполняют на опорах скольжения. Между салазками и корпусом податчика помещают прокладку из нейлона (нейлон, пропитанный двухсернистым молибденом), последний имеет большое сопротивление износу.

Бурильная машина с податчиком постоянной длины, имеющая канатный или цепной орган с приводом от гидравлического ци-

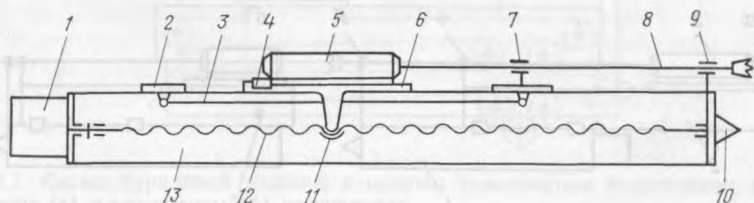


Рис. 3.2. Схема бурильной машины с винтовым податчиком постоянной длины

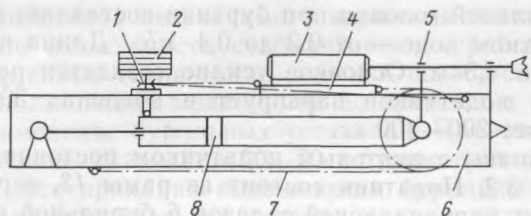


Рис. 3.3. Схема буровой машины с податчиком постоянной длины с приводом от гидравлического цилиндра

линдра, схематически изображена на рис. 3.3. Внутри рамы 6 податчика этого типа размещен гидравлический цилиндр 8, шток которого непосредственно закреплен на раме. На переднем конце корпуса цилиндра закреплена звездочка (или блок), огибаемая цепью (или канатом) 7, один конец которой закреплен на салазках 4 буровой головки 3, а другой — на нижнем заднем конце податчика. При подаче масла в поршневую полость корпус цилиндра начинает двигаться вперед, подавая буровую головку вперед с удвоенной скоростью. Вместе с корпусом цилиндра движутся промежуточный люнет 5 и натяжной барабан 2. При обратном ходе рабочая жидкость податчика поступает в штоковую полость гидроцилиндра 8. При обратном ходе корпус цилиндра с помощью цепи, огибающей звездочку 1, возвращает подвижные части в исходное положение.

Схема телескопного податчика показана на рис. 3.4.

Податчик состоит из двух направляющих балок: нижней 1 и верхней 2. На рис. 3.4, а податчик изображен в раздвинутом положении. В процессе бурения буровая головка 3 перемещается по верхней балке. Суммарный ход подачи складывается из хода подачи головки по верхней балке и хода верхней балки по нижней. На рис. 3.4, б податчик изображен в сложенном положении. При бурении укороченных шпуров верхнюю балку соединяют с нижней фиксатором 6 и длинную буровую штангу заменяют укороченной. Оба люнета 4 и 5 жестко соединены каждый со своей балкой.

Рис. 3.5 иллюстрирует устройство буровой машины с винтовым телескопным податчиком. Податчик состоит из нижней направляющей балки 3 с винтом 1 и верхней направляющей балки 6 с винтом 5. Винт 1 приводится в движение двигателем 4, а винт 5 — через зубчатые шестерни 2 и 8 от винта 1. Шестерня 8 насажена на винт 5 штанги, а шестерня 2 — на винт 1 и соединена

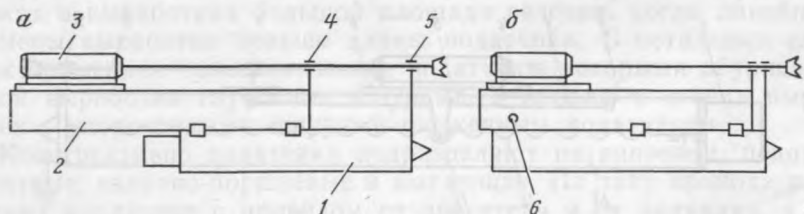


Рис. 3.4. Схема телескопного податчика

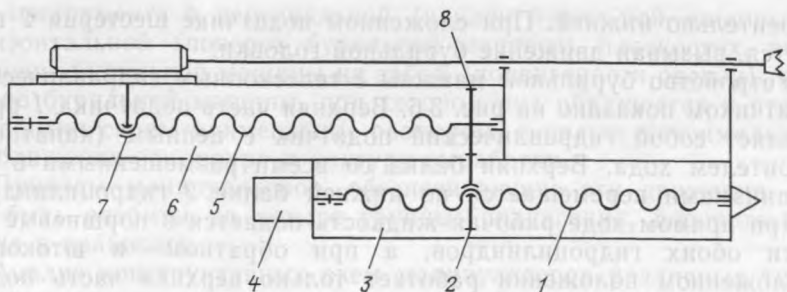


Рис. 3.5. Схема бурильной машины с винтовым телескопным податчиком

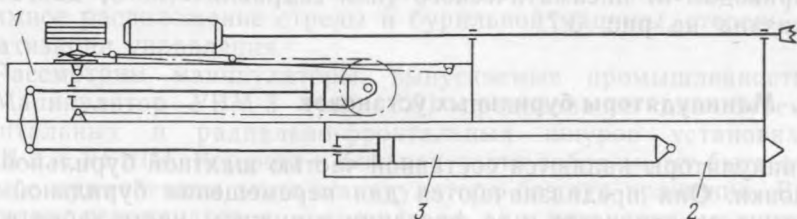


Рис. 3.6. Схема бурильной машины с телескопным гидравлическим податчиком

с гайкой, находящейся в зацеплении с винтом 1. При вращении винта 1 возможны два варианта работы шестерни 2: или она вращается и через шестерню 8, винт 5 и гайку 7 вызывает движение бурильной головки по верхней балке, или она не вращается, а перемещается вдоль винта, вызывая перемещение верхней балки

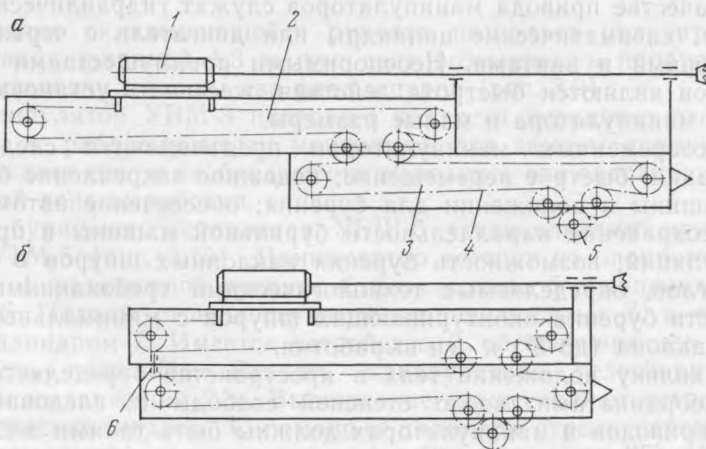


Рис. 3.7. Схема бурильной машины с цепным телескопным податчиком: в раздвинутом (а) и сложенном (б) положениях

1 — бурильная головка; 2 — верхняя балка; 3 — нижняя балка; 4 — цепь; 5 — приводная звездочка; 6 — стопор



относительно нижней. При сложенном податчике шестерня 2 вращается, вызывая движение бурильной головки.

Устройство бурильной машины с телескопным гидравлическим податчиком показано на рис. 3.6. Верхняя часть податчика 1 представляет собой гидравлический податчик с цепным (канатным) удвоителем хода. Верхняя балка со всеми размещенными в ней механизмами перемещается по нижней балке 2 гидроцилиндром 3. При прямом ходе рабочая жидкость подается в поршневые полости обоих гидроцилиндров, а при обратном — в штоковые. В сложенном положении работает только верхняя часть податчика.

Схема бурильной машины с цепным телескопным податчиком и приводом от пневматического (или гидравлического) двигателя показана на рис. 3.7.

### 3.5. Манипуляторы бурильных установок

Манипуляторы являются составной частью шахтной бурильной установки. Они предназначаются для перемещения бурильной машины в пространстве и ее фиксации в нужном месте забоя в положении для бурения шпуров.

Основными элементами современных манипуляторов являются: основание, стрела и позиционер. Основание служит для крепления манипулятора к раме установки. Стрела позволяет устанавливать бурильную машину в различные части забоя выработки. Позиционер служит для крепления бурильной машины на манипуляторе, придания ей нужного направления при бурении, а также для закрепления ее в забое.

В качестве привода манипуляторов служат гидравлические цилиндры, пневматические цилиндры или двигатели с червячными редукторами и винтами. Неоспоримыми преимуществами гидроприводов являются быстрота действия, жесткость установки элементов манипулятора и малые размеры.

К современным манипуляторам предъявляются следующие требования: быстрое перемещение; надежное закрепление бурильной машины в положении для бурения; обеспечение автоматического сохранения параллельности бурильной машины в процессе манипуляций; возможность бурения наклонных шпуров в диапазоне углов, определяемых технологическими требованиями; возможность бурения оконтуривающих шпуров с минимальными углами наклона (до  $5^\circ$ ) к оси выработки.

Поскольку положение тела в пространстве определяется жестко координатами, число степеней свободы и, следовательно, число приводов в манипуляторах должны быть такими же. В некоторых манипуляторах число приводов может быть меньше, но технологические возможности таких приводов ограничены.

Манипулятор должен обеспечивать перемещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях, изменение угловой координаты

оси инструмента в вертикальной (наклон бурильной машины) и горизонтальной (поворот бурильной машины) плоскостях, перемещение бурильной машины на забой (подвигание и распор); вращение бурильной машины, при котором она обращается к стенке выработки своим наименьшим размером, с целью максимального приближения оси шпура к контуру выработки.

Приводы манипуляторов, обеспечивающие эти движения, могут быть разбиты на четыре группы: подвигания, поворота, наклона и вращения.

Анализ конструктивных схем манипуляторов различных типов показал, что на их технологические свойства влияют следующие конструктивные признаки: расположение в кинематической цепи манипулятора приводов, осуществляющих их основные движения; взаимное расположение стрелы и бурильной машины, степень автоматизации управления.

Рассмотрим манипуляторы, выпускаемые промышленностью.

Манипулятор УВМ-3 (рис. 3.8) предназначен для бурения фронтальных и радиально-фронтальных шпуров установками УБШ-3 и УБШ-4. Верхняя и боковая части забоя могут быть обурены с применением этого манипулятора без его вращения. Вращателем рекомендуется пользоваться для установки манипулятора при обурировании шпуров в почве, а также в центральной части забоя. Имеется возможность использования манипулятора в качестве вращающейся стрелы, что удобно при обурировании оконтуривающих шпуров свода выработки.

При движении рукояти сохраняется параллельность податчика исходному положению. Манипулятор обеспечивает установку податчика в положение, перпендикулярное к оси выработки, для обурирования кровли, почвы и боков веерными и параллельными шпурами.

Наличие складывающейся рукояти позволяет получить зону обурирования шириной 1,3 м, что дает возможность пробурить за одну установку машины два ряда шпуров (рис. 3.9).

Манипулятор УВМ-3 позволяет подвести переднюю часть податчика к рабочему месту машиниста для замены коронки, что освобождает его от необходимости выполнять эту операцию в призабойной зоне выработки.

На бурильных установках УБШ-5 устанавливают манипуляторы УТМ-5 (рис. 3.10). Манипулятор состоит из опорного кронштейна 1, раздвижной рукояти 4, позиционера 5 и направляющей рамы 6. Подъем стрелы осуществляют цилиндром 3, а поворот ее — цилиндром 7. Имеется устройство 2, обеспечивающее параллельность движения. Рукоять манипулятора телескопическая, с ходом выдвижения 2 м. Выдвижение осуществляют встроенным в нее гидроцилиндром. С помощью цилиндра стрелу перемещают в вертикальной плоскости вверх на  $50^\circ$  и вниз на  $25^\circ$ . Поворот влево осуществляют цилиндром поворота на  $30^\circ$  и вправо на  $45^\circ$ . Такое передвижение позволяет обуривать забой высотой 7,2 м и шириной до 7,3 м.

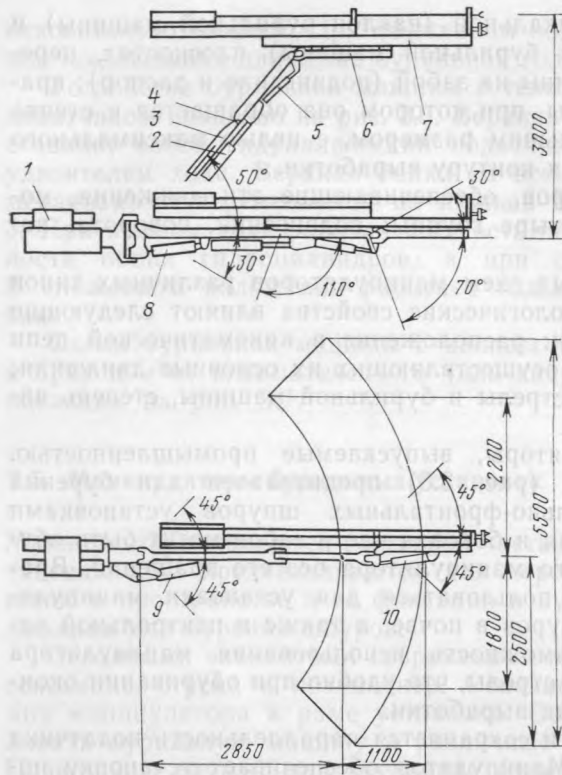
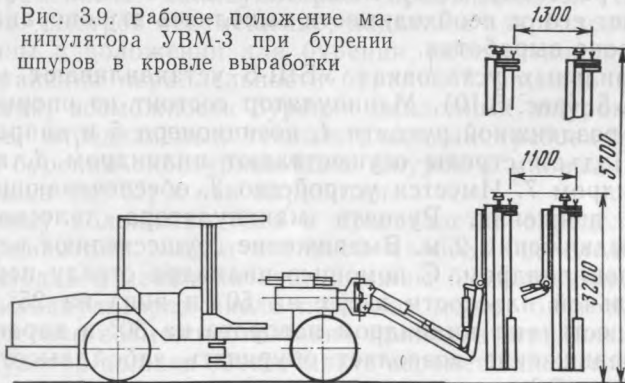


Рис. 3.8. Манипулятор УВМ-3:

1 — вращатель; 2 — цилиндр складывания рукояти; 3 — рукоять; 4 — шарнир; 5 — цилиндр наклона податчика; 6 — направляющая рама; 7 — цилиндр надвигания податчика; 8 — цилиндр подъема стрелы; 9 — цилиндр поворота стрелы; 10 — цилиндр поворота податчика

На конце выдвижной части рукояти крепится позиционер, соединяющий рукоять с направляющей рамой. Позиционер снабжен цилиндрами наклона направляющей рамы как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Кроме того, позиционер имеет механизм вращения для поворота буровой машины на  $180^\circ$  относительно оси, что обеспечивает бурение шпуров около почвы с минимальным наклоном к горизонтальной плоскости.

Рис. 3.9. Рабочее положение манипулятора УВМ-3 при бурении шпуров в кровле выработки



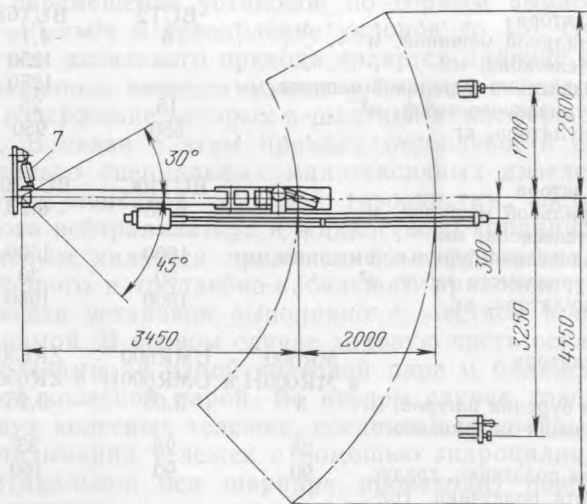
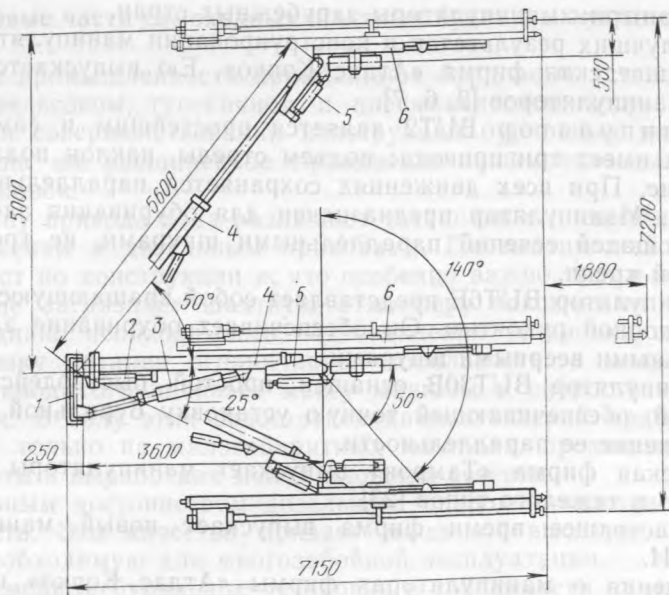


Рис. 3.10. Манипулятор УТМ-5

Манипулятор снабжен пилот-цилиндрами, обеспечивающими автоматическое выполнение параллельности бурения шпуров, которая сохраняется и при повороте стрелы. При бурении шпуров в кровлю и стенки выработки бурильную машину устанавливают в необходимое положение от пульта управления.

Рассмотрим манипуляторы зарубежных стран.

Наилучших результатов в конструировании манипуляторов достигла шведская фирма «Атлас Копко». Ею выпускается шесть типов манипуляторов [2, 6, 7].

Манипулятор BUT2 является простейшим и самым легким. Он имеет три привода: подъем стрелы, наклон податчика и вращение. При всех движениях сохраняется параллельность податчика. Манипулятор предназначен для обурирования забоев малых площадей сечений параллельными шпурами, не требующих анкерной крепи.

Манипулятор BUT6E представляет собой вращающуюся стрелу с телескопной рукоятью. Он обеспечивает обурирование забоя параллельными веерными шпурами.

Манипулятор BUT30B оснащен простой быстродействующей системой, обеспечивающей точную установку бурильной машины и сохранение ее параллельности.

Финская фирма «Тамрок» выпускает манипуляторы легкого, среднего и тяжелого типов [23].

В настоящее время фирма выпускает новый манипулятор ZRS100H.

Сведения о манипуляторах фирмы «Атлас Копко» и фирмы «Тамрок» приведены ниже.

Тип манипулятора	BUT2	BUT6E	R315	
Длина с бурильной машиной, м	5	4,19	6	
Ход штока телескопа, мм	—	1250	—	
Величина надвигания бурильной машины, мм	—	1250	1000	
Площадь обуриваемого забоя, м <sup>2</sup>	15	25	31	
Масса манипулятора, кг	550	950	1290	
Тип манипулятора	BUT10C	BUT30B	BUT15E	
Длина с бурильной машиной, м	6,05	6,25	7,45	
Ход штока телескопа, мм	—	—	1600	
Величина надвигания бурильной машины, мм	1600	1600	1600	
Площадь обуриваемого забоя, м <sup>2</sup>	30	30	50	
Масса манипулятора, кг	1800	1950	2295	
Тип манипулятора	MR600	UMR600	ZR650	ZR990
	и MR600H	и UMR600H	и ZR650H	и ZR990H
Радиус зоны бурения шпуров, м	3	3,05	3,25	4,95
Площадь сечения обуриваемого забоя, м <sup>2</sup>	28	28	33	77
Угол наклона податчика, градус	90	90	160	165
Угол поворота податчика, градус	—	±37	+23/—26	+23/—26
Угол наклона рукояти, градус	80	80	58	57
Угол поворота рукояти, градус	—	±18	±26	+26/—23
Ход телескопа, мм	—	—	1200	1500
Масса без податчика, кг	1080	1440	2025	2350
Расстояние между двумя манипуляторами, мм	800	1000	1100	1100

Манипуляторы с индексом H предназначены для гидравлических бурильных установок.



### 3.6. Ходовые части самоходных шахтных бурильных установок

В горной промышленности применяются бурильные установки на колесно-рельсовом, гусеничном и пневмоколесном ходу. Общая тенденция совершенствования конструкций бурильных установок направлена на расширенное применение пневмоколесных ходовых установок.

По типу привода хода различают установки с пневматическим, электрическим и дизельным приводами. Пневматический привод хода прост по конструкции и, что особенно важно, как и электрический, не загрязняет шахтную атмосферу токсичными веществами. Однако необходимость подсоединения установки шлангом к источнику питания ограничивает мобильность, а малая мощность привода ограничивает массу машины и скорость ее передвижения. В силу этих недостатков пневматический привод применяется только на малогабаритных машинах, предназначенных для работы в выработках малой площади сечения.

Основным достоинством дизельного привода является его автономность. Это качество придает машинам высокую подвижность, необходимую для многозабойной эксплуатации.

Современные бурильные установки в зависимости от их массы оснащаются дизельными двигателями мощностью 30—100 кВт, что обеспечивает перемещение установок по горным выработкам со скоростью 5—10 км/ч и преодоление уклонов до 15°. Существенным недостатком дизельного привода является наличие в выхлопных газах токсичных веществ (окиси углерода, окислов азота и альдегидов), содержание которых в шахтной атмосфере строго ограничивается. В связи с этим правила безопасности допускают применение только специальных малотоксичных дизелей, оборудованных двухступенчатой системой газоочистки, состоящей из каталитического нейтрализатора и жидкостного кондиционера.

Перспективным является применение электрических троллейно-аккумуляторного и троллейно-кабельного приводов.

Ходовые части установок выполняют с жесткой и шарнирно-сочлененной рамой. В первом случае ходовую часть оснащают поворотными колесами на одной колесной паре и балансирно подвижной второй колесной парой. Во втором случае ходовая часть состоит из двух колесных тележек, соединенных двойным шарниром. При складывании тележек с помощью гидроцилиндра относительно вертикальной оси шарнира происходит поворот установки, а горизонтальная ось шарнира обеспечивает контакт с почвой всех четырех колес.

Установки с шарнирно-сочлененной рамой хорошо вписываются в выработки с малым радиусом закруглений, что определяет их широкое распространение в горной промышленности.

Разновидностью ходовых частей с жесткой рамой являются ходовые части с бортовыми приводами, у которых правая и левая пары колес действуют от самостоятельных приводов. Поворот этих машин осуществляют включением бортовых приводов в разные

стороны. Этим машинам присущи большие затраты мощности на поворот и повышенный износ шин, что ограничивает их применение. Такая система может быть рекомендована только для машин небольшой массы (до 8 т). Преимуществом указанных систем является простота устройства.

В целях надежного преодоления сопротивления подземных шахтных дорог и уклонов все колеса установок, как правило, выполняются ведущими. В современных ходовых устройствах применяют в основном три типа трансмиссий: механическую, гидромеханическую и гидростатическую (гидрообъемную).

Механическая трансмиссия включает в себя муфту сцепления, коробку передач, карданные валы, два дифференциальных редуктора и планетарные колесные редукторы. В этой трансмиссии изменение скоростей движения с соответствующим изменением тягового усилия осуществляют ступенчато посредством переключения передач.

Гидромеханическая трансмиссия имеет к механической трансмиссии еще и гидротрансформатор, который обеспечивает автоматическое плавное регулирование скорости движения и тягового усилия в зависимости от дорожных условий.

В последнее время в горном машиностроении все большее применение находят гидростатические трансмиссии. В этой трансмиссии первичный двигатель (дизель или электродвигатель) приводит в действие насосную станцию, от которой питается один или несколько гидромоторов, приводящих в движение ведущие колеса. Гидродвигатели могут быть встроенными в колеса.

Установки типа УБШ имеют колесно-шинный ход и шарнирно-сочлененную раму, дизельный привод и гидромеханическую трансмиссию. Ходовая часть содержит приводную и буровую тележки, рамы которых соединены между собой двойным шарниром. Шарнир позволяет складываться тележкам относительно вертикальной оси на  $40^\circ$  и относительно продольной оси на  $10^\circ$ .

Преимуществом принятой системы является возможность собрать ходовую часть различных основных размеров из унифицированных узлов. При этом унифицированными остаются только рамы, имеющие наименьшую трудоемкость изготовления. В качестве силовой установки принят дизельный двигатель с водяным охлаждением, оснащенный двухступенчатой системой очистки выхлопных газов.

На рис. 3.11 показана кинематическая схема трансмиссии установок УБШ, имеющих шарнирно-сочлененную раму. Все колеса установки ведущие. Они снабжены колодочными рабочими тормозами с пневматическим управлением. Имеется также стояночный тормоз с пружинно-гидравлическим приводом. Управление установкой осуществляют рулевым колесом с помощью распределителя и двух гидроцилиндров, которые смещают тягач и полуприцеп относительно друг друга.

Трансмиссия ходовой части состоит из раздаточного редуктора, гидромеханической коробки передач с коробками отбора

стан. кантовочный редуктор передает вращение от вала на ось... вал габаритной коробки редуктора и приводит в дей-... редук-... редуктор

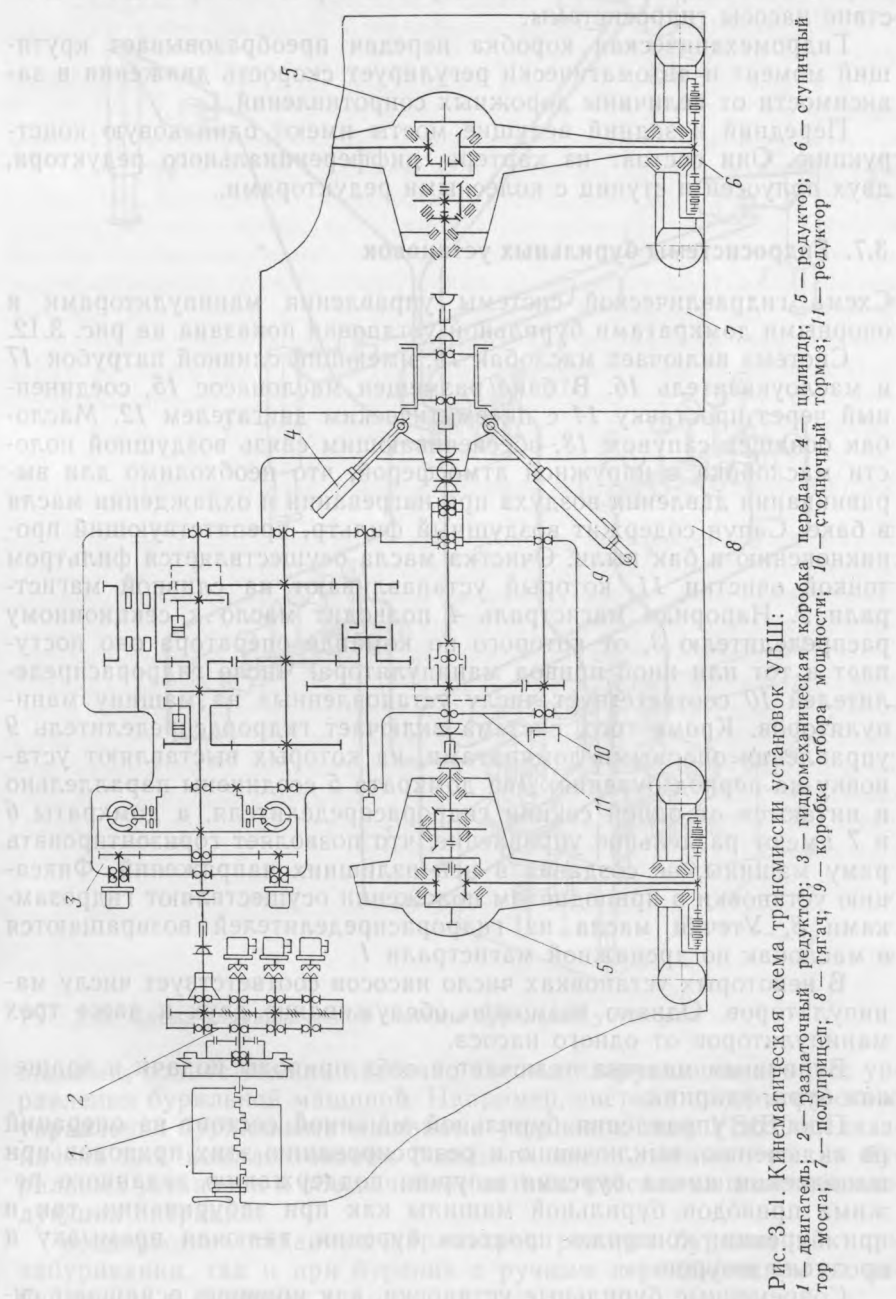


Рис. 3.11. Кинематическая схема трансмиссии установок УБШ:

- 1 — двигатель; 2 — раздаточный редуктор; 3 — гидромеханическая коробка передач; 4 — цилиндр; 5 — редуктор; 6 — ступичный редуктор
- 7 — мост; 8 — полушлицы; 9 — гнаты; 10 — коробка отбора мощности; 11 — редуктор

мощности, карданных передач переднего и заднего ведущих мостов. Раздаточный редуктор передает вращение от дизеля на первичный вал гидромеханической коробки передач и приводит в действие насосы гидросистемы.

Гидромеханическая коробка передач преобразовывает крутящий момент и автоматически регулирует скорость движения в зависимости от величины дорожных сопротивлений.

Передний и задний ведущие мосты имеют одинаковую конструкцию. Они состоят из картера, дифференциального редуктора, двух полуосей и ступиц с колесными редукторами.

### 3.7. Гидросистемы бурильных установок

Схема гидравлической системы управления манипуляторами и опорными домкратами бурильной установки показана на рис. 3.12.

Система включает маслобак 18, имеющий сливной патрубок 17 и маслоуказатель 16. В баке размещен маслонасос 15, соединенный через проставку 14 с пневматическим двигателем 12. Маслобак оснащен сапуном 13, обеспечивающим связь воздушной полости маслобака с наружной атмосферой, что необходимо для выравнивания давления воздуха при нагревании и охлаждении масла в баке. Сапун содержит воздушный фильтр, препятствующий проникновению в бак пыли. Очистка масла осуществляется фильтром тонкой очистки 11, который устанавливают на сливной магистрали 2. Напорная магистраль 4 подводит масло к секционному распределителю 3, от которого по команде оператора оно поступает в тот или иной привод манипулятора. Число гидрораспределителей 10 соответствует числу установленных на машину манипуляторов. Кроме того, система включает гидрораспределитель 9 управления опорными домкратами, на которых выставляют установку на период бурения. Два домкрата 5 соединены параллельно и питаются от одной секции гидрораспределителя, а домкраты 6 и 7 имеют раздельное управление, что позволяет горизонтировать раму машины, не создавая в ней излишних напряжений. Фиксацию установки в приподнятом положении осуществляют гидрозамками 8. Утечки масла из гидрораспределителей возвращаются в маслобак по дренажной магистрали 1.

В некоторых установках число насосов соответствует числу манипуляторов. Однако возможно обслуживание двух и даже трех манипуляторов от одного насоса.

Бурильная машина включает в себя приводы подачи и вращения бура, ударник.

Процесс управления бурильной машиной состоит из операций по включению, выключению и реверсированию этих приводов при выполнении цикла бурения шпуров; поддержанию заданного режима приводов бурильной машины как при забуривании, так и при бурении; контролю процесса бурения, включая промывку и продувку шпуров.

Современные бурильные установки, как правило, оснащают си-

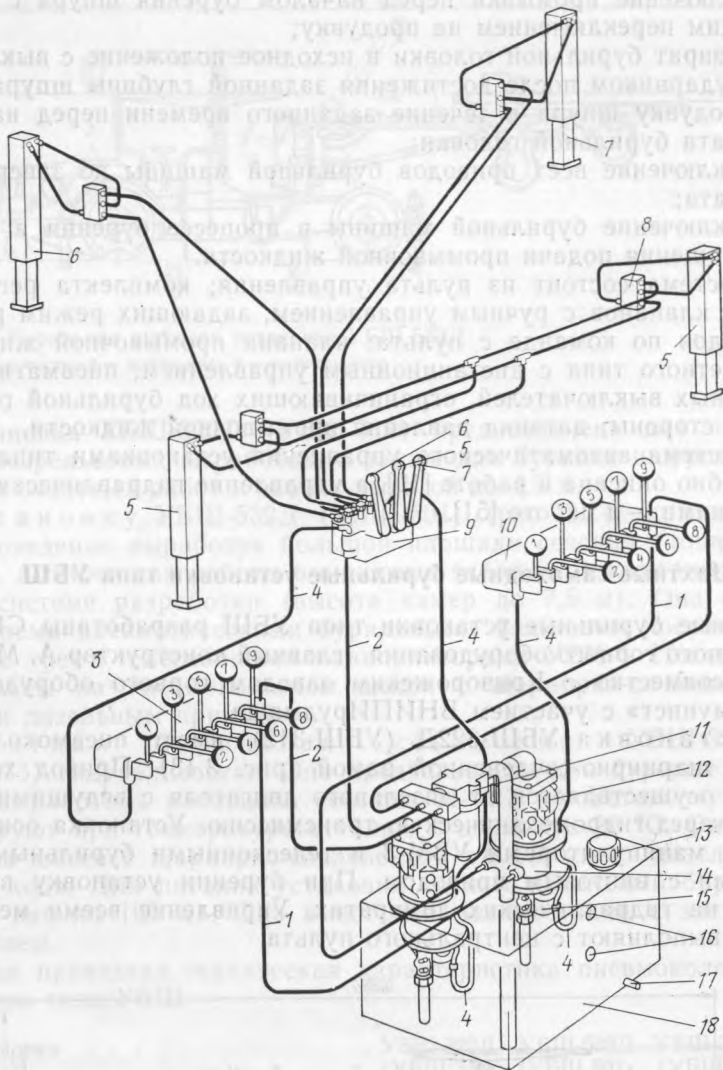


Рис. 3.12. Схема гидравлической системы бурильной установки

стемами, полностью или частично автоматизирующими процесс управления бурильной машиной. Например, система автоматического управления бурильными машинами установок типа УБШ предназначена для комплектования большого числа пневматических бурильных установок и обеспечивает автоматическое выполнение следующих операций:

поддержание заданных параметров режима бурения как при забуривании, так и при бурении с ручным переключением от забуривания к бурению;



включение промывки перед началом бурения шпура с последующим переключением на продувку;

возврат бурильной головки в исходное положение с выключенным ударником после достижения заданной глубины шпура;

продувку шпура в течение заданного времени перед началом возврата бурильной головки;

отключение всех приводов бурильной машины по завершении возврата;

отключение бурильной машины в процессе бурения в случае прекращения подачи промывочной жидкости.

Система состоит из пульта управления; комплекта регулирующих клапанов с ручным управлением, задающих режим работы приводов по команде с пульта; клапана промывочной жидкости дискретного типа с дистанционным управлением; пневматических конечных выключателей, ограничивающих ход бурильной головки в обе стороны; датчика давления промывочной жидкости.

Система автоматического управления установками типа УБШ подробно описана в работе [19], а управление гидравлическими установками — в работе [51].

### 3.8. Шахтные самоходные бурильные установки типа УБШ

Шахтные бурильные установки типа УБШ разработаны СКБ самоходного горного оборудования (главный конструктор А. М. Ципикс) совместно с Криворожским заводом горного оборудования «Коммунист» с участием ВНИПИрудмаша.

Установка УБШ-322Д (УБШ-312) имеет пневмоколесный ход с шарнирно-сочлененной рамой (рис. 3.13). Привод ходовой части осуществляется от дизельного двигателя с ведущими колесами через гидромеханическую трансмиссию. Установка оснащена двумя манипуляторами УВМ-3 и телескопными бурильными машинами с винтовым приводом. При бурении установку выставляют на гидравлических домкратах. Управление всеми механизмами выполняют с центрального пульта.

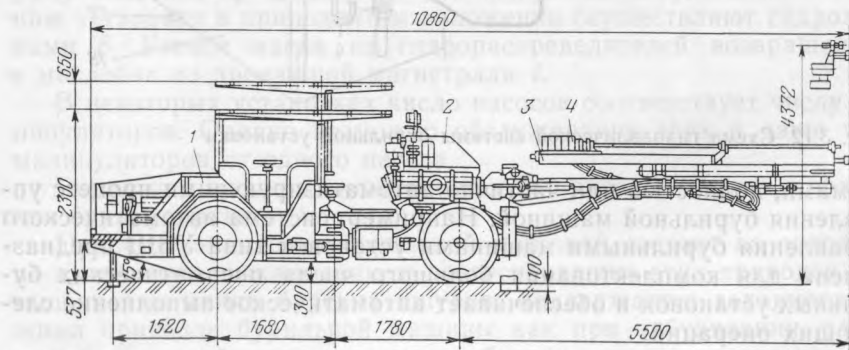


Рис. 3.13. Бурильная шахтная установка УБШ-322Д:

1 — приводная часть; 2 — пульт управления; 3 — податчик; 4 — перфоратор

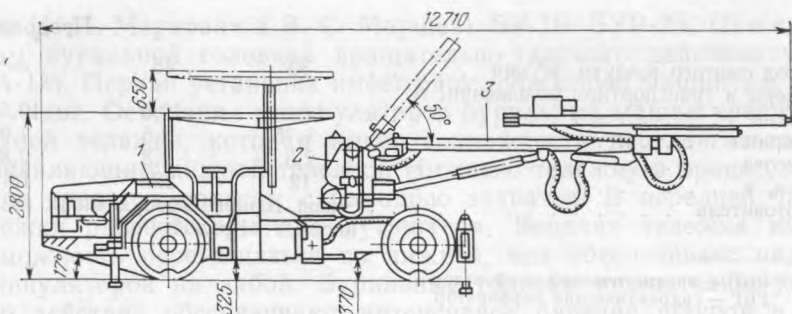


Рис 3.14. Бурильная шахтная установка УБШ-532Д:

1 — ходовая часть; 2 — основание; 3 — манипулятор

Установка УБШ-322Д (УБШ-312) предназначена для проведения безрельсовых выработок, а также для бурения шпуров при ведении очистных работ в забоях высотой до 4,5 м.

Установку УБШ-532Д (УБШ-501) (рис. 3.14) применяют для проведения выработок большой площади сечения (тоннелей, камер), а также для работы в очистных забоях при камерно-столбовой системе разработки (высота камер до 7,5 м). Она оснащена тремя пневматическими бурильными машинами постоянной длины и тремя телескопными манипуляторами УТМ-5. Последние закреплены на пневмоколесном шасси с шарнирно-сочлененной рамой и дизельным приводом.

Шахтная бурильная установка УБШ-321ДГ (УБШ315) гидравлическая. Она предназначена для бурения шпуров в выработках площадью сечения 11—27 м<sup>2</sup>. Установку эксплуатируют при температуре от плюс 2 до минус 26 °С. Она состоит из шасси с шарнирно-сочлененной рамой, имеет дизельный привод хода. Для питания установки служит кабельный барабан (длина кабеля 100 м). Она имеет две маслостанции с электродвигателем.

Ниже приведена техническая характеристика пневмоколесных установок типа УБШ.

Тип установки	УБШ-322Д (УБШ 312)	УБШ-532Д (УБШ 501)	УБШ-321ДГ (УБШ 315)
Высота зоны бурения шпуров, м	4,4	7,2	4,6
Ширина зоны бурения шпуров, м	6,9	8,6	7
Глубина зоны бурения шпуров, м	3	4	3,3
Площадь обуривания забоя, м <sup>2</sup>	8—22	15—60	11—27
Число бурильных машин	2	3	2
Тип бурильной головки*	ГБП	ГБП	ГБГ
Тип ходовой части	Пневмоколесный		
Привод ходовой части	Дизельный		
Скорость передвижения, км/ч	10		
Преодолеваемый уклон, градус	15		
Мощность привода хода, кВт	55		
Наименьший внешний радиус поворота, м	4	5,8	5

Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин . . . . .	30	45	—
Размеры в транспортном положении, м:			
длина . . . . .	11	12,5	10,5
ширина . . . . .	1,75	2,5	1,9
высота . . . . .	2,3	2,8	2,8
Масса, т . . . . .	12	22	18
Изготовитель . . . . .	Завод горного оборудования «Коммунист», г. Кривой Рог		

\* ГБП — пневматический перфоратор  
ГБГ — гидравлический перфоратор

Установки УБШ-321ДГ оснащены гидравлическими перфораторами.

Испытания показали, что эти машины позволяют повысить производительность бурения по сравнению с пневматическими установками в 1,5 раза, снизить удельное потребление энергии в 5—6 раз.

### 3.9. Малогабаритные установки для бурения шпуров

Отечественная промышленность выпускает бурильные установки на колесно-рельсовом, гусеничном и пневмоколесном ходу.

Шахтная бурильная установка СБКН-2М (2УБН-2) (рис. 3.15) (главные конструкторы И. В. Киселев, Н. Ф. Сидоров) имеет колесно-рельсовый ход от погрузочной машины ППН-1С. На ходовой раме смонтированы два стреловидных манипулятора, две бурильные машины, маслостанции с гидросистемой и пульт управления. Приводом цепного податчика служит двигатель ДАР-5. Установка оснащена перфораторами ПК60А. Рабочая площадка размещена в задней части установки и имеет виброзащитное устройство. Установка выпускает Дарасунский завод горного оборудования.

Кузнецкий машиностроительный завод выпускает серию бурильных установок на колесно-рельсовом ходу (главные конструкторы

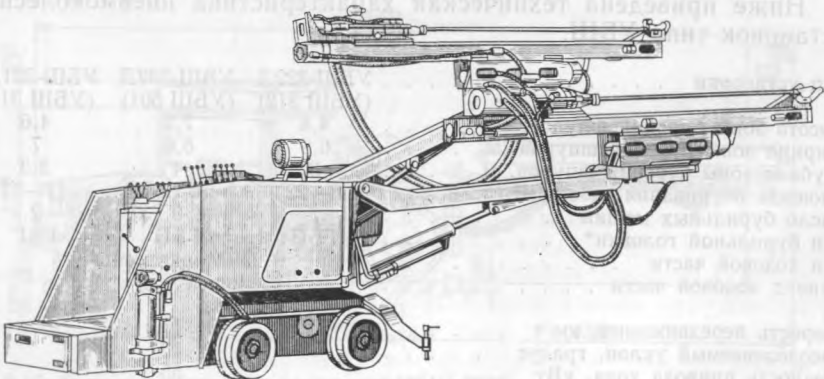


Рис. 3.15. Бурильная шахтная установка СБКН-2М

торы Н. М. Маркович и В. С. Маршев) БУ-1Б, БУР-2Б. Они снабжены бурильной головкой вращательно-ударного действия типа БГА-1М. Первая установка имеет одну бурильную машину, а вторая — две. Основания манипуляторов бурильных машин крепят на верхней тележке, которая имеет возможность передвигаться по направляющим нижней тележки. Нижнюю тележку в процессе бурения крепят к рельсам с помощью захватов. В передней части тележки расположены два аутриггера. Верхняя тележка имеет возможность перемещаться по нижней, чем обеспечивает надвиг манипуляторов на забой. Бурильные головки вращательно-ударного действия обеспечивают интенсивное бурение шпуров в породах с  $f=8\div 14$ . Диаметр шпуров 43—65 мм.

Установка БУР-2Б, помимо бурильных головок, снабжена площадкой для размещения в ней взрывника при зарядании шпуров. Имеется также захват, поддерживающий верхняки при креплении выработок.

Тот же завод серийно выпускает два типа установок на гусеничном ходу СБУ-2М и 1СБУ-2К. Первая установка состоит из двух бурильных машин, манипуляторов, верхних тележек, рамы, гусеничной тележки и пульта управления. Установка питается сжатым воздухом от рукава диаметром 50 мм. Управляют пневмосистемой с помощью кранов и пусковых коробок. Каждая бурильная машина имеет свою гидросистему. Гидронасосы смонтированы в маслобаках.

Бурильная машина установки СБУ-2М состоит из бурильной головки 1100-1-1М и податчика винтового типа. Податчик снабжен упорами, действующими от пневматической сети. Двигатель подачи пневматический. Податчик снабжен двумя люнетами: подвижным и неподвижным. Имеется кран концевого выключения.

Установка СБУ-2М позволяет бурить шпуровые как фронтальные, так и радиальные. При обуривании кровли высота выработки должна быть не менее 4 м.

Бурильная установка 1СБУ-2К является разновидностью установки СБУ-2М, она дает возможность бурить шпуровые в выработках высотой до 6 м. Глубина шпура 4 м. Установка СБУ-2М модернизируется и будет выпускаться под шифром 1СБУ-2.

Установка БКГ-2 (главный конструктор В. А. Шилов) имеет бурильную головку гидравлического типа. В мягких породах и породах средней крепости шпуровые бурят во вращательном режиме, в крепких породах переключаются на вращательно-ударный режим. Крутящий момент на буре достигает 250 Н·м, энергия удара 68 Дж и частота ударов  $50\text{ с}^{-1}$ , имеются две частоты вращения бурового инструмента: 4,1 и  $6,7\text{ с}^{-1}$ . Машина имеет колесно-рельсовый ход на колею 750 и 900 мм. Установка самоходная. Среднесменная производительность равна 440 м в породах с  $f=6\div 8$ , а в породах с  $f=9\div 12$  она снижается до 240 м. В НИПИгормаше создана установка УБШ-211Г с гидравлической бурильной машиной (гл. конструктор Г. П. Брагин). Она предназ-

начена для выработок площадью сечения 5—10 м<sup>2</sup>. Машина имеет колесно-рельсовый ход.

Новогорловский машиностроительный завод выпускает бурильную установку БУЭ-1 (главный конструктор Д. И. Гуревич). Она оснащена одним манипулятором. Электровращательная бурильная головка имеет мощность 7,5 кВт. Частота вращения головки 2,5; 5,3 и 12 с<sup>-1</sup>.

Установка самоходная на колею 600; 750 и 900 мм. Напряжение в сети 380 или 660 В.

Бурильная установка 2УБН-2П (УБШ-208) (рис. 3.16), созданная НИПИГормашем (главные конструкторы И. В. Киселев и Н. Ф. Сидоров), предназначена для обурирования забоев площадью сечения 6,7—14 м<sup>2</sup> [39]. Она может быть использована как для проходческих, так и для очистных работ. Установка 2УБН-2П относится к фронтальным. При проведении горизонтальных выработок машина может входить в комплекс, состоящий из установки 2УБН-2П и погрузочно-транспортной машины ПД-3.

Установка 2УБН-2П имеет высокую проходимость и маневренность. При работе в забое ее устанавливают на гидравлические домкраты. Площадка машиниста смонтирована на противовибрационных амортизаторах.

На установку применен колонковый перфоратор ПК60А и цепной податчик с пневмодвигателем ДАР-5. Она также снабжена устройством для снятия коронок и автомасленкой повышенной вместимости. Всеми механизмами управляют с центрального пульта.

Наиболее малогабаритной пневмоколесной установкой является установка УБШ-121 (рис. 3.17). Она разработана во Фрунзенском политехническом институте (главный конструктор В. В. Волосков). Отличительной особенностью этой установки является

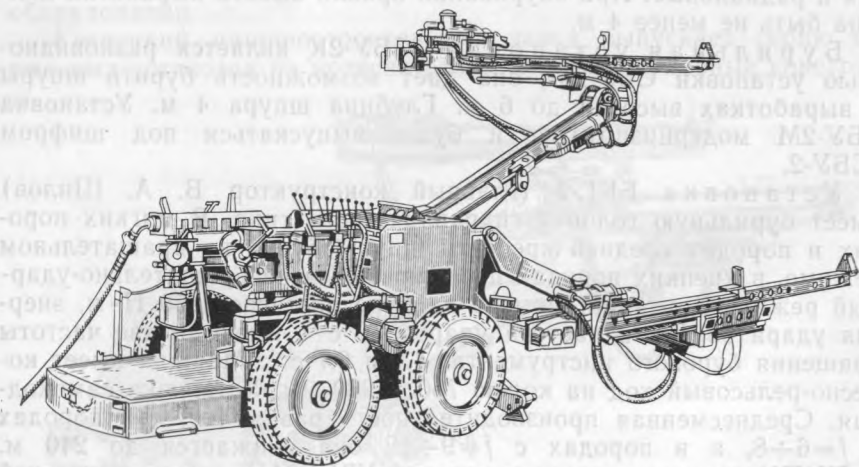


Рис. 3.16. Бурильная установка 2УБН-2П (УБШ-208)



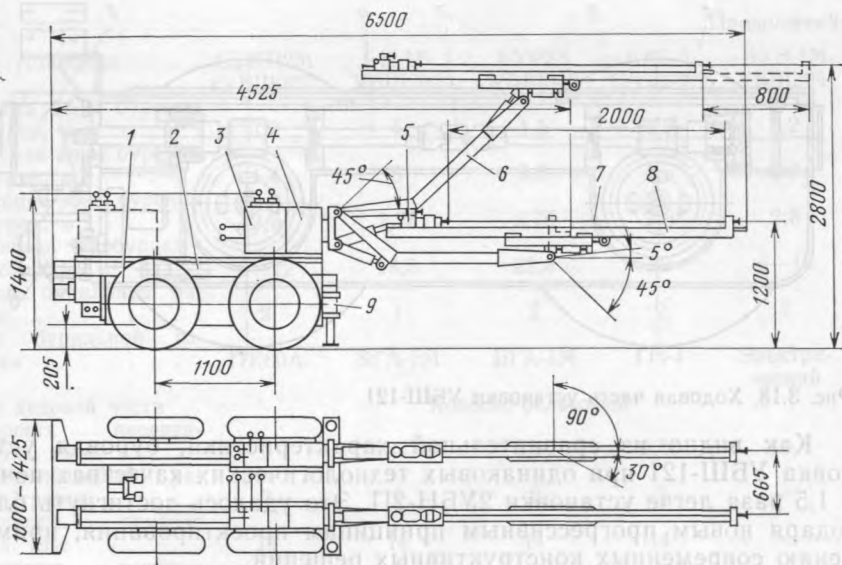


Рис. 3.17. Бурильная шахтная установка УБШ-121:

1 — ходовая часть; 2 — направляющие; 3 — пульт управления; 4 — основание манипулятора; 5 — перфоратор; 6 — стрела; 7 — бур; 8 — податчик; 9 — домкрат

маневренная компактная ходовая часть с бортовыми передачами и приводом от пневмодвигателей ДАР-14 посредством червячных пар.

Податчик гидравлический с удвоителем хода. В качестве бурильной головки применен перфоратор ПК60А. Манипулятор типа «вращающаяся стрела» имеет систему гидравлической коррекции положения бурильной машины при ее перемещении в призабойной зоне.

Установки УБШ-121 могут применяться с малогабаритными погрузочно-транспортными машинами ПД-2 и ПД-3 на очистных работах и при проведении выработок площадью сечения 4,5—10 м<sup>2</sup>. Во время работы в забое установку устанавливают на домкраты.

Ходовая часть установки (рис. 3.18) состоит из двух бортовых передач. Крутящий момент от двигателя 5 передается червячному валу 4, который состоит из двух частей, соединенных между собой муфтой 3. Червячный вал приводит во вращательное движение шестерни 1, которые связаны с колесом 2 посредством шлицевого вала. Вал несет на себе соединительную кулачковую муфту, которая при необходимости может быть рассоединена, тогда колеса получают свободное вращение. В задней части бортовой передачи расположен двигатель ДАР-5 (6), который приводит во вращение масляный насос через редуктор. Баком для масляной системы служит корпус бортовой передачи. Червячные передачи работают в своих масляных ваннах.

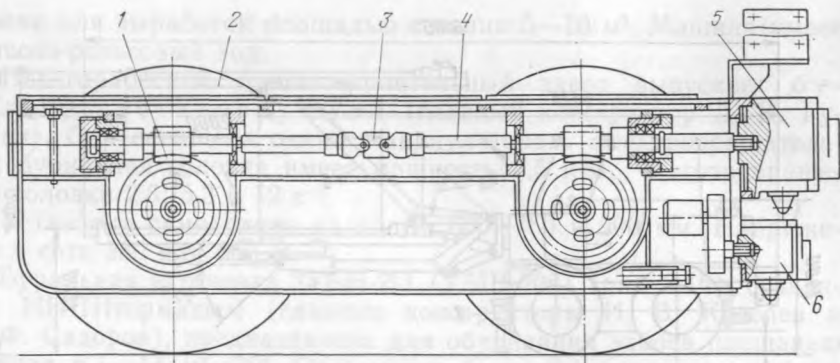


Рис. 3.18. Ходовая часть установки УБШ-121

Как видно из сравнительной характеристики, буровая установка УБШ-121 при одинаковых технологических качествах почти в 1,5 раза легче установки 2УБН-2П. Это удалось достигнуть благодаря новым прогрессивным принципам проектирования, применению современных конструктивных решений.

Основным достоинством установки является надвиг бурильных машин при бурении. В этом случае установка имеет длину 7000 мм. При транспортировании бурильные машины сдвигают назад и длина установки составляет 4,75 м. Ширина машины 1450 мм.

Техническая характеристика бурильных установок приведена ниже.

Тип установки	УБШ-121 (УБШ101)	БК-2П	2УБН-2П (УБШ208)	УБА	СБУ2МН (УБШ304)	1СБУ2К УБШ401
Высота зоны бурения шпуров, м	3	3	3,2	7	3,9	5
Ширина зоны бурения шпуров, м	4	4	4,6	8	5,5	7,7
Глубина зоны бурения шпуров, м	2	2	2,5	4	2,75	4
Площадь обуриваемого забоя, м <sup>2</sup>	6—11	6—11	6—14	25—50	24	34
Число бурильных машин	2	2	2	2	2	2
Тип бурильной головки	ПК60А	ПК60А	ПК60А	ПК60А	1100-1-1М	БГА-1М
Тип ходовой части	Пневмоколесный			Гусеничный		
Скорость передвижения, км/ч	3	5	3,5	6	1,8	0,85
Преодолеваемый уклон, градус	18	12	15	15	15	15
Мощность привода хода, кВт	20	20	20	100	14	18
Основные размеры в транспортном положении, м:						
длина	4,5	5,7	6,8	9,5	7,1	9,2
ширина	1,45	1,4	1,5	2,6	1,87	2,4
высота	1,5	1,4	1,5	3,5	1,75	2,8
Масса, т	4	5,5	6,25	14	6	13,9

Продолжение

Тип установки . . . . .	СБКН2М (УБШ207)	БУ-1Б УБШ202	БУР2Б УБШ302	БКГ-2 (УБШ309)	БУЭ-1М УБШ204
Высота зоны бурения шпуров, м . . . . .	3,2	4	4,5	4,5	3,2
Ширина зоны бурения шпуров, м . . . . .	4,4	5	5,5	4,5	3,3
Глубина зоны бурения шпуров, м . . . . .	2,5	2,75	2,75	2,8	2,8
Площадь обуривае- мого забоя, м <sup>2</sup> . . . . .	6—12	18,5	22,8	22	6—10
Число бурильных ма- шин . . . . .	2	1	2	2	1
Тип бурильной го- ловки . . . . .	ПК60А	БГА-1М	БГА-1М	ГП-1	Электри- ческий
Тип ходовой части . . . . .	Колесно-рельсовый				
Скорость передви- жения, км/ч . . . . .	2	—	0,55	0,55	—
Преодолеваемый ук- лон, градус . . . . .	2	2	2	3	—
Мощность привода хода, кВт . . . . .	14	14	14	14	—
Основные размеры в транспортном поло- жении, м:					
длина . . . . .	6	6,5	7	7,2	8,2
ширина . . . . .	1,3	1,08	1,3	1,32	1,15
высота . . . . .	1,3	1,5	1,5	1,4	1,25
Масса, т . . . . .	5,7	2,3	4,95	5,5	5,4

### 3.10. Установки на автомобильном ходу

Крупные бурильные установки выполняют на автомобильном шасси. Примером такого устройства является шахтная бурильная установка УБА (рис. 3.19), которая спроектирована Институтом автоматики АН Киргизской ССР в содружестве с Кузнецким машиностроительным заводом и комбинатом «Ачполиметалл» (главный конструктор Е. Б. Бексалов). Работы выполнялись под руководством академика АН Киргизской ССР О. Д. Алимова.

На автомобильном шасси размещены два автономных буровых комплекта. Каждый комплект состоит из бурильной машины 1, манипулятора 2 и буровой тележки 3. Тележки несут на себе маслостанцию 7 с маслобаком 6. Установка оснащена защитным козырьком 5. В качестве бурильной головки применен гидроперфоратор 14. Податчик 13 имеет винтовой привод. Кроме того, имеется винтовой привод надвигания 12 бурильной машины относительно манипулятора. Рабочее место манипулятора освещается прожектором 4 (напряжение 36 В).

Установку при бурении вывешивают на четырех опорных домкратах 10. Ходовая часть 8 заимствована от автомобиля МАЗ 503Б с дизельным двигателем, оборудованным системой газоочистки, которая состоит из двух нейтрализаторов 11 типа КГГ-2 и жидкостного скруббера 9. Пульты управления смонтированы на

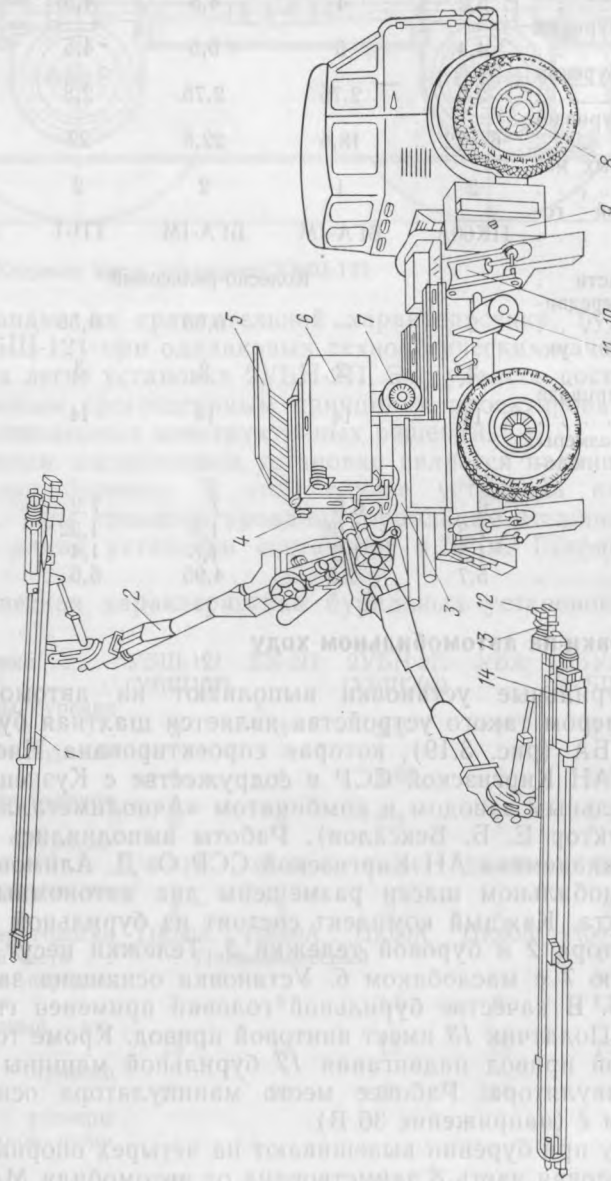


Рис. 3.19. Бурильная установка УБА

внутренней стороне маслобака. Рабочее место машиниста снабжено виброзащитным устройством. Для того чтобы привести установку в транспортное положение, необходимо переместить буровые тележки в сторону кабины, а манипуляторы раскрепить.

При бурении параллельных скважин обуриваемая площадь составляет 42 м<sup>2</sup>. Бурение шпуров в кровлю возможно в выработках высотой 5,6—10 м. Шпуры в стенки выработки бурят при минимальной ширине выработки 6 м. Расстояние между рядами шпуров при этом можно довести до 2,7 м с одной стороны.

Установку применяют не только в рудниках, но и при строительстве гидросооружений и на открытых горных разработках.

### 3.11. Зарубежные бурильные установки

Наиболее известными фирмами, производящими шахтные бурильные установки, являются «Атлас Копко» (Швеция), «Ингерсол Рэнд» (США), «Гарднер Денвер» (США), «Тамрок» (Финляндия), ЗИГ (Швейцария), «Болер» (Австрия), «Секома» (Франция), «Фуракава» (Япония), «Линден Алимек» (Швеция). Установки гидрофицированы. В качестве бурильных головок используют гидровращатели, пневматические перфораторы и гидроперфораторы.

Шведская фирма «Атлас Копко» выпускает более 40 моделей установок для бурения шпуров, которые можно разбить на четыре группы: Каводрилл, Рейлдрилл, Бумер и Промек.

В установках типа Каводрилл в качестве ходовой части используют шасси погрузочной машины Каво, имеющие пневмоколесный ход с бортовыми передачами и пневматический или дизельный привод. Установки типа Рейлдрилл имеют колесно-рельсовую самоходную часть.

Ниже приведены технические данные некоторых бурильных установок фирмы «Атлас Копко».

Тип установки	Каводрилл 550-89	Каводрилл P550-89	Каводрилл H500-22	Каводрилл H550-22
Площадь обуриваемого забоя, м <sup>2</sup>	24	24	18	24
Число бурильных машин	2	2	1	2
Бурильная головка:				
тип	ПНП	ПНП	ГП	ГП
обозначение	COP89	COP89	COP1022H	COP1022H
Тип манипулятора	BUT6	BUT6	BUT6	BUT6
Привод хода	Пневматический	Дизельный	Дизельный	—
Основные размеры в транспортном положении, м:				
длина	8,3	8,3	8,4	8,4
ширина	1,8	1,8	1,4	1,8
высота	1,8	1,8	1,7	1,8
Масса, т	5,4	9,3	6,9	8,9



Продолжение

Тип установки	Рейлдрилл 450-89	Рейлдрилл Н-102	Рейлдрилл Н450-38	Бумер Н170
Площадь обуриваемого забоя, м <sup>2</sup>	21	14	30	70
Число бурильных машин	2	2	2	3
Бурильная головка:				
тип	ПНП	ГП	ГП	ГП
обозначение	СОР89	СОР1022Н	СОР1038Н	СОР1038Н
Тип манипулятора	BUT6	BUT2	TR315	BUT15FRH
Привод хода	—	—	—	Дизельный
Основные размеры в транспортном положении, м:				
длина	6,5	8,1	10	12,2
ширина	1,7	1,5	1,7	2,6
высота	1,8	1,8	2,2	2,6
Масса, т	4,6	4,7	12	29,2

Обозначения: ПНП — пневмоперфоратор, ГП — гидроперфоратор

Установка «Промек ТН 480» имеет жесткую раму с пневмошинным ходом. Она оснащена дизельным приводом с четырехступенчатой коробкой скоростей. Машина снабжена четырьмя манипуляторами BUT15FRH и позволяет обуривать забой площадью сечения до 100 м<sup>2</sup>. Кроме того, имеется манипулятор с платформой для оператора, занятого взрывными работами.

Для меньших площадей сечений (10—25 м<sup>2</sup>) выпускают установку «Бумер 121». Она снабжена манипуляторами BUT10, может перемещаться по выработкам сечением 3×3 и имеет внешний радиус поворота 3,5 м. На обеих установках применены пневматические перфораторы СОР90ЕД.

Специально для гидравлических перфораторов спроектированы стандартные установки «Бумер Н 115-32», «Бумер Н 120-38», «Бумер Н 125-38», «Бумер Н 170-38» и «Бумер Н 179».

Установка «Бумер Н 115-32» предназначена для выработок площадью сечения до 24 м<sup>2</sup>. Она имеет сочлененную раму, четырехколесный привод и дизельный двигатель. Установка снабжена двумя бурильными машинами, состоящими из гидроперфораторов СОР1032 НД и гидравлических податчиков ВМН100, которые размещены на позиционерах гидравлического манипулятора BUT6Е.

Бурильная установка «Бумер Н125-38» (рис. 3.20) имеет две бурильные машины 2 с гидравлическими перфораторами СОР1038Н, смонтированные на универсальных телескопических манипуляторах 3 BUT15. Кроме того, установка оснащена платформой 1, с которой выполняют вспомогательные операции по оборке кровли, установке анкерной крепи, а также заряданию скважин. Ходовая часть установки 10 выполнена на пневматических колесах с шарнирно-сочлененной рамой и имеет в качестве привода дизельный двигатель с гидростатической трансмиссией. Установка имеет две масляные станции 5 с электродвигателями мощностью 45 кВт каждая, шкаф с электроаппаратурой 9. Питание машины энергией осуществляется по электрическому кабелю 7, который наматывают на барабан 6 вместимостью 120 м. Второй ка-

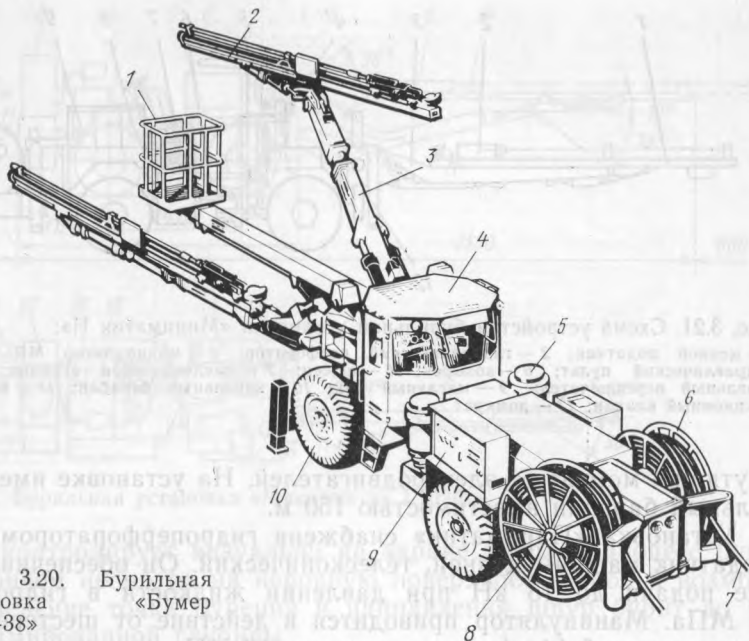


Рис. 3.20. Бурильная установка «Бумер Н125-38»

белый барабан 8 предназначен для укладки на него водного рукава длиной 120 м.

Новой отличительной особенностью установки является наличие герметической кабины управления 4. Кабина защищает оператора от шума, вибраций, атмосферных воздействий.

Американская фирма «Гарднер Денвер» выпускает горное и обогатительное оборудование с 1859 г. Ее продукция отличается высокой надежностью и простотой устройства.

Финская фирма «Тамрок» выпускает серию самоходных бурильных установок «Миниматик», «Параматик», «Максиматик», «Суперматик» и «Датаматик»; в последние годы созданы машины «Микроматик Г 102Ф».

Установка «Миниматик» предназначена для бурения шпуров в выработках площадью сечения 6—12 м<sup>2</sup>. Она смонтирована на сочлененной ходовой раме и приводится в движение дизельным двигателем с воздушным охлаждением фирмы «Дейтц» (ФРГ). Масса установки 10,5 т. При мощности двигателя 40 кВт максимальная скорость передвижения составляет 5,4 км/ч, максимальный угол подъема 20°. На машине установлены два манипулятора «Минирондо MR 500» и соответственно две бурильные машины с перфоратором L 400. Гидравлический вариант этой установки выпускают под названием «Миниматик Н» (рис. 3.21).

Установка смонтирована на шарнирно-сочлененной раме с дизельным приводом хода и имеет две бурильные машины. Машина оборудована двумя маслостанциями, насосы которых получают

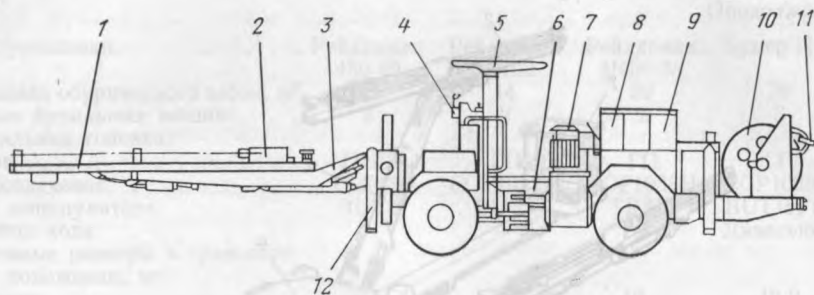


Рис. 3.21. Схема устройства бурильной установки «Миниматик Н»:

1 — цепной податчик; 2 — гидравлический перфоратор; 3 — манипулятор MR 600Н; 4 — гидравлический пульт; 5 — козырек; 6 — шасси; 7 — маслонасосная станция; 8 — магистральный переключатель; 9 — масляный бак; 10 — кабельный барабан; 11 — водяной редукционный клапан; 12 — домкрат

крутящий момент от электродвигателей. На установке имеется кабельный барабан вместимостью 150 м.

Установка «Параматик» снабжена гидроперфоратором HL438. Податчик машины цепной, телескопический. Он обеспечивает усилие подачи до 15 кН при давлении жидкости в гидросистеме 14 МПа. Манипулятор приводится в действие от шестереночного насоса подачей 14 л/мин с давлением 17 МПа.

Такие процессы, как подача промывочной жидкости, включение ударника, отключение подачи при окончании бурения шпура, прекращение бурения по достижении заданной глубины шпура, отвод бурильной головки в исходное положение после окончания бурения, предотвращение заклинивания инструмента, автоматизируются.

С учетом лучших традиций в области конструирования и создания буровой техники фирмой «Тамрок» разработана малогабаритная установка «Микроматик Г102Ф» (рис. 3.22), которая позволяет бурить шпуры в выработках площадью сечения 4—10 м<sup>2</sup>.

Она состоит из шарнирно-сочлененного шасси 14, на котором установлен дизельный двигатель «Дейтц» Ф2Л511В мощностью 18 кВт, гидравлического перфоратора 9 ТЕ322В, податчика 10 КС20Г×24ФБ, манипулятора 11 ФБ200, пульта управления 13 ТА231, маслостанции 18 ГП212 с электродвигателем мощностью 22 кВт, маслоохладителя 15, главного выключателя 3, гидравлических домкратов 12, бака для воды 17, автомасленки 8, компрессора 16, фары 6, воздухоочистителя 4, водяного насоса 5, изолированной платформы 1, кабельного барабана 2 и защитного козырька 7. Машина подвижна и может быть использована для многозабойного обслуживания в сочетании с малогабаритными погружно-доставочными машинами и самоходными зарядчиками.

Последним достижением фирмы являющиеся самоходные бурильные установки серии «Датаматик», отличающиеся наличием компьютера, осуществляющего управление в автоматическом режиме по заданной программе с регистрацией параметров. Оператор

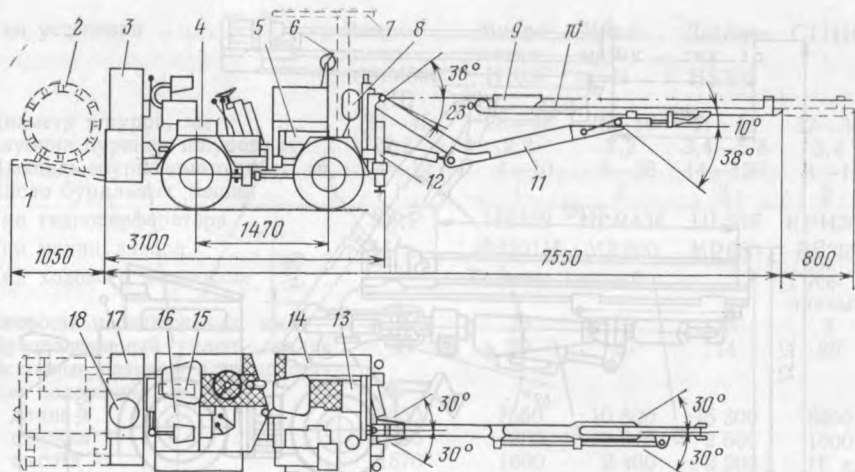


Рис. 3.22. Бурильная установка «Микроматик Г102Ф»

только контролирует визуально на экране дисплея процесс бурения. Причем несмотря на неровную поверхность забоя и возможное изменение точки бурения и направления шпур бурят до запрограммированной глубины.

Установка центрируется относительно места стояния в забое лазерным лучом независимо от положения ходовой части.

Французская фирма «Секома» выпускает шахтные бурильные установки шести типоразмеров на колесно-шинном, гусеничном и колесно-рельсовом ходу; вращательного и ударного действия. Если установка позволяет бурить шпур для анкерной крепи, то предельная высота выработки, как правило, увеличивается. Фирма для этих целей выпускает установку АТН12 с одной бурильной машиной. Установка оборудована одним манипулятором типа ВЛ36Р с шестью степенями свободы, на котором установлен датчик СЛ500. На машине установлен гидроперфоратор РРН200, который питается от маслостанции с дизельным приводом мощностью 40 кВт. Установка является автономной и не требует подключения внешних источников энергии. Отработанные дизельные газы после их нейтрализации и очистки в скруббере удаляют из забоя через шланг длиной 70 м.

Фирма «Экипман Минье» выпустила бурильную установку «Микродрилл 500 НЕ» (рис. 3.23).

Установка имеет ширину 800 мм и длину 5250 мм. Ею можно бурить как фронтальные шпур, так и шпур в кровлю для анкеров. В конструкции использовано шасси от погрузочно-доставочной машины ST 500 HE. Установка снабжена одной бурильной машиной и позволяет обуривать выработку сечением 3×3 м.

Бурильная головка гидравлического типа 30РР имеет ударную мощность 5,75 кВт, что при диаметре шпуров от 26 до 45 мм позволяет получить высокую скорость бурения.

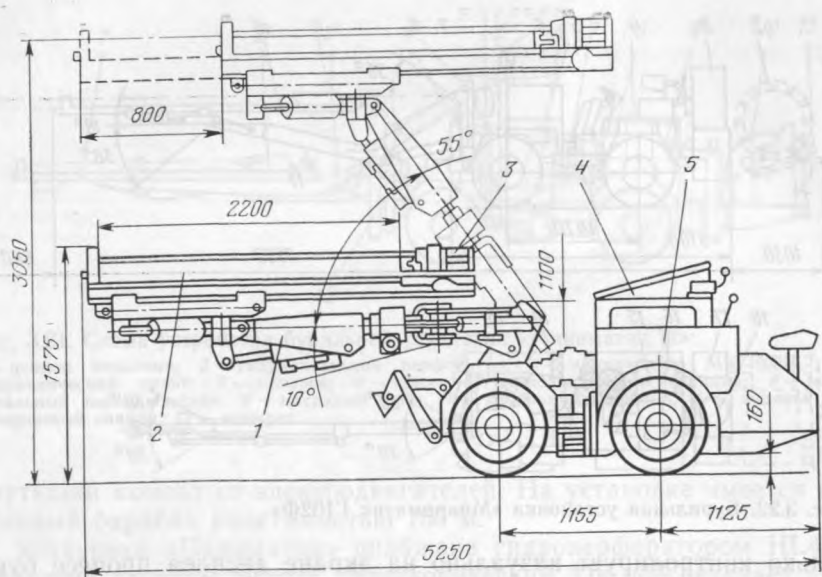


Рис. 3.23. Бурильная установка «Микродрилл 500 HE»:

1 — манипулятор; 2 — податчик; 3 — гидравлическая бурильная головка; 4 — гидростанция; 5 — ходовая часть

Бурильную установку «Микродрилл СММ 500 HE» эксплуатируют в сочетании с погрузочно-доставочной машиной ST 500 HE. Ею можно проходить выработки с минимальной шириной 1,2 м. Фирма «Гарднер Денвер» США также выпустила установку «МИНИ-бур», а фирма «Тамрок» — установку «Микроматик H102F».

Техническая характеристика зарубежных установок приведена ниже.



Тип установки	Микро-дринл СММ500 HE	Микро-матик Н102F	Мини-матик Н	Датама-тик HS305	СТН10
Диаметр шпуров, мм	28—45	28—45	36—56	41—64	32—38
Глубина бурения шпуров, м	2,2	2,2	2,2	3,4—5,8	3,4
Площадь обуриваемого забоя, м <sup>2</sup>	4—12	4—10	8—38	14—120	4—14
Число бурильных машин	1	1	2	3	2
Тип гидроперфоратора	30RP	HE322	HLR438	HL538	RPН200
Тип манипулятора	Н. д.	FB201H	MR600	MR600	BL36F
Тип ходового механизма		Колесно-шинный			Гусеничный
Скорость передвижения, км/ч	3	15	10	15	3
Преодолеваемый уклон, градус	18	20	20	14	25
Основные размеры в транспортном положении, мм:					
длина	5250	7550	10 800	15 300	6400
ширина	800	1300	1 940	2 500	1000
высота	1570	1600	2 400	3 200	Н. д.
Масса, т	3,8	3	14	15	8
Фирма	Экипман Минье		Тамрок		Секома
Страна	Франция		Финляндия		Франция
Тип установки	АТН12	Алима-тик Н632	BW32R	МК35	96МН
Диаметр шпуров, мм	32—38	36—56	38—64	41—64	38—64
Глубина бурения шпуров, м	3,4	3,4	Н. д.	3,66	3,8
Площадь обуриваемого забоя, м <sup>2</sup>	4—15	6—20	10—30	6—52	12—46
Число бурильных машин	1	2	2	2	2
Тип гидроперфоратора	RPН200	АД102	НВ5001	НPR-1	НАРД-III
Тип манипулятора	BL36F	BRH20	Н. д.	НFM12	LНВ183
Тип ходового механизма	Колесно-шинный	Колесно-орельсовый	Колесно-шинный		
Скорость передвижения, км/ч	7	17	20	4,8	11
Преодолеваемый уклон, градус	18	—	Н. д.	18	40
Основные размеры в транспортном положении, мм:					
длина	6760	8200	13 120	9760	11 400
ширина	1250	1750	2 200	1730	2 500
высота	1420	1950	2 180	1730	2 300
Масса, т	5,2	12	15	11,3	20
Фирма	Секома	Линден — Алимак	Зальц-гиттер	Гарднер Денвер	Ингерсол Рэнд
Страна	Франция	Швеция	ФРГ	США	США

Общей тенденцией развития буровой техники при подземных горных разработках является внедрение дистанционного управления процессом бурения. Фирма «Секома» (Франция) разработала телеуправляемую установку для бурения шпуров. По сообщению [49], фирма «Фурухолмен» (Норвегия) выпустила бурильную установку, управляемую микропроцессором. Фирма «Кокен

боринг мэшин» (Япония) создала аналогичный станок с программным управлением на основе встроенной электронно-вычислительной машины.

### 3.12. Эксплуатационные и расходные показатели шахтных бурильных установок

Наибольшую производительность при эксплуатации шахтных бурильных установок можно получить при тщательном соблюдении оптимальных параметров. При вращательно-ударном бурении к ним относятся число ударов на один оборот бура, частота вращения бура, осевое усилие, энергия удара, интенсивность очистки шпура.

Угол поворота (градус) между ударами (по О. Д. Алимову и Л. Т. Дворникову) [4]

$$\omega = 5[(A_y/10) + 1] - 0,7f,$$

где  $A_y$  — энергия удара поршня ударника, Дж;  $f$  — коэффициент репости горных пород.

Число ударов за один оборот бура

$$m = 360/\omega.$$

Рациональная частота ударов бурильной машины (Гц)

$$n_y = 33,3 + 5000f/A_y^2.$$

Частота вращения бура ( $c^{-1}$ )

$$n = 60n_y/m.$$

Крутящий момент на буре (Н·м)

$$M = 500 - 25f.$$

Осевое усилие выбирают по зависимости на рис. 3.24.

Расход промывочной жидкости при диаметре коронки 40—42 мм равен 13—15 л/мин.

Механическая скорость бурения вращательно-ударной установкой (мм/мин)

$$v_m = 100(20 - f).$$

Сменная эксплуатационная производительность (м) определяется с учетом затрат времени на организационные и технические простои, не зависящие от конструкции машины.

Техническая скорость бурения вращательно-ударной установкой (м/ч)

$$Q_{\text{тех}} = \frac{60k_r k_0 R}{\frac{1}{v_m} + \frac{1}{v_{\text{ох}}} + \frac{T_3}{B} + \frac{T_n + T_{36}}{L}}.$$

Для расчетов приняты следующие обозначения:

$k_r$  — коэффициент готовности;  
 $R$  — число бурильных машин на установке;  $k_o$  — коэффициент одновременности;  $v_m$  — механическая скорость бурения шпуров, м/мин;  $v_{ox}$  — скорость обратного хода бурильной головки, м/мин;  $T_3$  — время замены резца (коронки), мин;  $B$  — стойкость резца (коронки) на одну заточку, м;  $T_n$  — время наведения бурильной машины с одного шпура (скважины) на другой, мин;  $T_{36}$  — время забуривания шпура (скважины), мин;  $m$  — число шпуров в забое;  $L$  — глубина шпура, м.

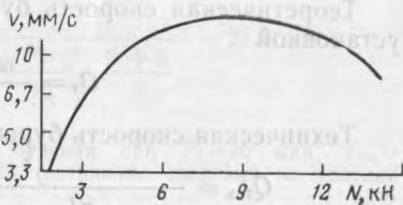


Рис. 3.24. Зависимость скорости бурения  $v$  от усилия подачи  $N$

Коэффициент готовности

$$k_r = \frac{T}{T + T_B},$$

где  $T$  — наработка на отказ;  $T_B$  — время восстановления отказа.

Коэффициент одновременности  $k_o = 1; 0,8; 0,7$  при числе бурильных машин соответственно 1; 2; 3.

Данные о расходе материалов и сжатого воздуха при вращательно-ударном бурении (на 1000 м шпуров) приведены ниже.

Коэффициент крепости пород	6—8	8—10	10—12	12—14
Буровые коронки, шт.	3	9	16	24
Буровые штанги, шт.	1	3	6	11
Сжатый воздух, м <sup>3</sup>	11 000	17 000	27 000	34 000

При ударно-вращательном бурении перфораторами с независимым вращением бура оптимальная частота вращения ( $c^{-1}$ ) бурового инструмента

$$n = 145/d,$$

где  $d$  — диаметр шпура, мм.

Формула справедлива при  $35 < d < 80$  мм.

Практика показывает, что пневматические бурильные головки ударно-вращательного действия целесообразно эксплуатировать на повышенном давлении сжатого воздуха (0,6—0,7 МПа). Увеличение давления на 0,1 МПа позволяет увеличить механическую скорость бурения на 20 %.

Начальная механическая скорость бурения (мм/с) — скорость бурения первого метра шпура или скважины ударно-вращательными установками

$$v_n = \frac{50 A n}{d^2 f},$$

где  $A$  — энергия удара перфоратора, Дж;  $n$  — частота ударов, Гц;  $d$  — диаметр шпура, мм;  $f$  — коэффициент крепости пород.

Теоретическая скорость бурения шпуров ударно-вращательной установкой

$$Q_T = \frac{60v_H(1 - e^{-\alpha L})}{\alpha L}$$

Техническая скорость бурения (м/ч) шпуров

$$Q_{\text{тех}} = \frac{60k_r k_0 R}{\frac{\alpha L}{v_H(1 - e^{-\alpha L})} + \frac{1}{v_{\text{ох}}} + \frac{T_3}{B} + \frac{T_H + T_{36}}{L}}$$

где  $R$  — число бурильных машин на установке.

Здесь  $\alpha$  — декремент затухания энергии силового импульса. Его величина зависит от глубины шпура или скважины, типа перфоратора. Для перфоратора с геликоидальной парой величина декремента  $\alpha$  наибольшая.

Перфораторы с независимым вращением и большой массой поршня имеют  $\alpha$  наименьшие.

Тип перфоратора . . . . .	ПП54В	ВВС-53	ПК60А	ПК75А	URД-475	ГП-3
Декремент затухания $\alpha$ . . .	0,24	0,062	0,05	0,04	0,03	0,02

Для облегчения расчетов скорости бурения шпуров на рис. 3.25 показаны значения  $1 - e^{-\alpha L}$  для различных  $\alpha L$ .

Эксплуатационная производительность (м/смену) подсчитывается исходя из длительности смены, затрат времени на подготовительно-заключительные операции и простои по организационным причинам:

$$Q_3 = \frac{(T_{\text{см}} - T_{\text{пз}} - T_{\text{оп}}) k_r R k_0}{\frac{\alpha L}{v_H(1 - e^{-\alpha L})} + \frac{1}{v_{\text{ох}}} + \frac{T_3}{B} + \frac{T_{\text{п}} + (T_H + T_{36}) m}{mL}}$$

где  $T_{\text{см}}$  — длительность смены, мин;  $T_{\text{пз}}$  — время на подготовительно-заключительные операции, мин;  $T_{\text{оп}}$  — время организационных простоев;  $T_{\text{п}}$  — время перегона установки, мин.

Пример 1. Определить начальную механическую скорость бурения перфоратором ПК60А в породах с  $f=12$ ;  $A=95$ ;  $n=45$ ;  $\alpha=0,05$ ;  $d=43$  мм.

$$v_H = \frac{50 \cdot 95 \cdot 45}{43^2 \cdot 12} = 9,63 \text{ мм/с} = 577,8 \text{ мм/мин} = 0,58 \text{ м/мин.}$$

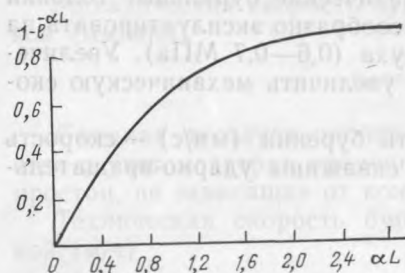


Рис. 3.25. График для определения величины  $1 - e^{-\alpha L}$

Теоретическая скорость бурения бурильной установкой УБШ-322Д, при глубине шпура  $L=3$  м и числе бурильных машин  $R=2$

$$Q_T = \frac{60 \cdot 0,58(1 - e^{-0,05 \cdot 3}) \cdot 2}{0,05 \cdot 3} = 64,6 \text{ м/ч.}$$

Пример 2. Определить техническую скорость бурения для условий предыдущей задачи, если  $k_r=0,9$ ;  $v_{\text{ох}}=16$  м/мин;  $T_3=2$  мин;  $B=15$  м;  $T_{36}=1$  мин;  $T_H=2$  мин.

$$Q_{\text{тех}} = \frac{60 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2}{\frac{0,05 \cdot 3}{0,58 \cdot (1 - e^{-0,05 \cdot 3})} + \frac{1}{16} + \frac{2}{15} + \frac{1+2}{3}} = 28,3 \text{ м/ч.}$$

Эксплуатационная производительность бурения при  $T_{\text{п}}=30$  мин;  $T_{\text{пз}}=40$  мин;  $T_{\text{см}}=360$  мин;  $T_{\text{оп}}=30$  мин;  $m=32$  (остальные сведения из условий предыдущей задачи)

$$Q_{\text{э}} = \frac{(360 - 40 - 30) \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2}{\frac{0,05 \cdot 0,3}{0,58 \cdot (1 - e^{-0,05 \cdot 3})} + \frac{1}{16} + \frac{2}{15} + \frac{30 + (1+2) \cdot 32}{32 \cdot 3}} = 124,1 \text{ м/смену.}$$

Ниже приведен расход коронок буровой стали и сжатого воздуха для пород различной крепости на 1000 м шпуров при ударно-вращательном бурении.

Кoeffициент крепости пород	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16	16—18	18—20
Число коронок при диаметре шпура:							
40 мм	17	21	26	33	45	66	111
43 мм	19	24	30	38	52	76	130
46 мм	22	27	34	43	59	86	144
Масса буровых штанг, кг	30	45	65	90	135	165	330
Объем сжатого воздуха, м <sup>3</sup>	31 000	35 000	41 000	48 000	51 000	62 000	71 000

## 4. САМОХОДНЫЕ СТАНКИ И КОЛОНКОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ БУРЕНИЯ ГЛУБОКИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

### 4.1. Общие сведения

Взрывные скважины на очистных работах бурят перпендикулярно к оси поэтажных выработок, располагая их в виде полного веера или его части. Чаще применяют верхний полувеер, реже — нижний. Скважины верхнего полувеера лучше сохраняются и не заполняются водой. Отбойку параллельными скважинами ведут в ограниченном объеме, несмотря на то что параллельные скважины позволяют более равномерно распределить ВВ в массиве горных пород, получить лучшее дробление рудной массы. Ограничивающим фактором при параллельном бурении скважин является большая площадь сечения подготовительных выработок для размещения станков.

Для бурения взрывных скважин применяют мощные колонковые перфораторы, установленные на самоходных шасси. Бурение скважин в труднодоступных местах ведут колонковыми установками, а также телескопными перфораторами.

Отбойку руды осуществляют на открытое пространство или на зажатую среду, при этом большое внимание уделяется диаметру и предельной глубине скважин.



Скважины уменьшенного диаметра позволяют улучшить фракционный состав отбиваемой горной массы. Наиболее распространенным является диаметр скважин 56 мм, реже — 65 мм. Глубина скважин варьирует от 6 до 25 м. Бурение скважин большей глубины приводит к уменьшению производительности станков, а также к искривлению скважин, что отрицательно сказывается на качестве дробления отбиваемых руд. Вместе с тем увеличение глубины скважин сокращает объем подготовительных работ. При бурении скважин глубиной 30—70 м применяют агрегаты с погружными пневмоударниками.

Выпуск станков и колонковых установок регламентирует ГОСТ 20769—75 и с 1 января 1988 г. — ГОСТ 26698—85. Станки ударного бурения (БУ) оснащают бурильными головками ударно-вращательного, вращательно-ударного и ударного действия.

Тот же ГОСТ предусматривает выпуск станков ударного бурения с погружными пневмоударниками (БП) и выпуск станков шарошечного бурения (БШ).

Станки могут быть как самоходными, так и несамоходными. Самоходные станки должны иметь возможность бурить круговой веер скважин в вертикальной плоскости.

ГОСТ определяет ресурс до первого капитального ремонта не менее 3150 ч и для станков типа БП160 — 3450 ч.

Ниже приведены основные параметры станков типа БУ, БП и БШ.

Тип станка	БУ			
Условный диаметр скважины, мм	50	80	100	
Глубина бурения, м, не менее	25	30	40	40
Направление бурения	Круговой веер в вертикальной плоскости			
Ресурс до первого капитального ремонта, ч, не менее	3150			
Техническая производительность, м/ч не менее, для пород				
$f = 10 \div 12$	16,5	16,5	22,5/16,5	22,5
$f = 12 \div 14$	14	14	19/14	19
$f = 14 \div 16$	12	12	16,5/12	16; 5
$f = 16 \div 18$	10	10	14,5/10	14,5
Тип станка	БП		БШ	
Условный диаметр скважины, мм	100		160	250
Глубина бурения, м, не менее	50, 80		80	80
Направление бурения	Круговой веер в вертикальной плоскости		Бурение восходящими скважинами	
Ресурс до первого капитального ремонта, ч, не менее	3150	3450	3150	
Техническая производительность, м/ч не менее, для пород				
$f = 10 \div 12$	14	14	5	
$f = 12 \div 14$	12	12	4,2	
$f = 14 \div 16$	9	9	3,6	
$f = 16 \div 18$	7	7	3,2	

В числителе приведена производительность для станков с гидравлическими бурильными головками, в знаменателе — с пневматическими бурильными головками.

## 4.2. Классификация станков

Поскольку станки предназначены для бурения глубоких взрывных скважин с целью отбойки руды, на первый план выступают возможности станка обуривать блоки по различным схемам. Схема обуривания является основным классификационным признаком. Известны следующие схемы обуривания: полный веер, верхний полувеер, нижний полувеер, параллельные скважины (табл. 4.1).

Вторым классификационным признаком принят тип ходового устройства. Большинство заводов и фирм перешло сейчас на колесно-шинный ход, как на более надежный в рудничных условиях. Колесно-рельсовый ход применяли в первых станках фирмы «Атлас Копко» «Симба 11» и «Симба 25».

К третьему классификационному признаку отнесено число бурильных машин на станке. Сейчас промышленностью выпускаются станки с одной, двумя и тремя машинами. Наибольшее распространение имеют первые два типа. Трехмашинные станки выпускает фирма «Атлас Копко» модели «Симба 323» по индивидуальным заказам.

Расположение бурильных машин относительно оси рамы является одним из существенных классификационных признаков. Первоначально станки создавались с расположением бурильных машин в центре рамы. Такое решение позволяет равномерно распределить нагрузку на ходовое устройство и довольно просто закрепить станок, пользуясь четырьмя домкратами и одним гидродоцилиндром для упора в кровлю. Однако в эксплуатации такие машины оказались неудобными, так как шлам при бурении поступает на механизмы станка.

Консольное расположение бурильных машин создает неравномерную нагрузку на ось, но в то же время резко улучшает эксплуатационные качества станков. Такая схема принята в отечественных станках ПБУ-80М (БУ-80СА). С целью повышения производительности станков создали агрегат с двумя бурильными машинами, расположенными консольно по обоим концам рамы.

Пятым классификационным признаком принято размещение осей вращения бурильных машин. Наиболее распространенным следует признать совмещение с центром вращения посередине податчика. Это позволяет иметь строго радиальные скважины, сходящиеся в центре выработки. Размеры выработки в этом случае минимальны, так как ось вращения податчика и ось выработки совпадают. Чтобы бурить скважины двумя машинами, расположили податчики на раме с вращением в основании податчика. Подобное размещение бурильных машин позволяет бурить только верхний полувеер скважин. Вместе с тем размеры выработок при таком расположении бурильных машин резко возрастают. Достаточно сказать, что для станка «Симба 25», построенного таким образом, требуется выработка размером  $3 \times 4$  м. Кулиса несколько лучше позволяет разместить бурильную машину в различных

ТАБЛИЦА 4.1

Шифр признака	Исполнение признака	Номер исполнения	Схема осуществления признака по номерам исполнения
Схема бурения скважин	Полный веер	1	
	Верхний полувеер	2	
	Нижний полувеер	3	
	Параллельные скважины	4	
Тип ходового устройства	Колесно-шинный	1	
	Гусеничный	2	
Число бурильных машин	Одномашинные	1	
	Двухмашинные	2	
	Трехмашинные	3	
Расположение бурильных машин относительно продольной оси рамы станка	В центре рамы	1	
	Консольное одностороннее	2	
	Консольное двухстороннее	3	
Размещение осей вращения бурильных машин	Вращение в середине податчика	1	
	Вращение в основании податчика	2	
	Вращение на кулисе	3	
	Вращение на поворотной траверсе	4	
Крепление податчика	Распор в кровлю и почву	1	
	Надвиг в кровлю гидроцилиндром с упором в почву	2	
	Надвиг в кровлю с поднятой на домкратах рамой станка	3	
	Консольное расположение податчика на раскрепленной раме	4	

местах выработки по сечению. Применение кулис также позволяет осуществить параллельное бурение скважин. К недостаткам кулис следует отнести трудность крепления и усложнение устройства станка.

Стремление расположить две бурильные машины в выработках малой площади сечения привело к размещению последних на поворотной траверсе. Траверса имеет посередине центр вращения, а по ее краям крепятся с вращением податчики бурильных машин. Вращая податчики, можно обуривать сектор скважин, затем траверса поворачивается на определенный угол для обуривания следующего сектора скважин. Так последовательным поворотом траверсы обуривают полный веер скважин или его часть. Для того чтобы скважины не пересекались, плоскости вращения податчиков смещены относительно друг друга (на 100 мм).

Важной характеристикой буровых станков является способ крепления податчиков. Наиболее надежно крепить податчик с помощью гидродомкратов в кровлю и почву или стенки выработок. В этом случае станок разгружается, вибрация на него также не передается. К недостаткам следует отнести значительные затраты времени на раскрепление при неровных стенках выработки. Смещение податчика при вибрации станка осложняет работу на станке. Часто условия бурения не позволяют строго фиксировать положение податчика относительно места бурения, что затрудняет забуривание.

Несколько лучше построение схемы с надвигом в кровлю посредством гидроцилиндра, опирающегося в почву. В этом случае верхний конец податчика строго фиксируют, что облегчает забуривание скважины. Однако упор в почву или стенки выработки не всегда можно осуществить (при неправильной конфигурации выработки) или это крепление связано с дополнительными устройствами. Появилась схема с раскреплением рамы станка в почву с помощью домкратов и гидроцилиндров в кровлю. Податчик, расположенный консольно на манипуляторе, надвигается в кровлю с помощью гидроцилиндра, связанного с манипулятором и податчиком. Описанное устройство применено на станках «Ингерсол Рэнд» типа ЖЛХ и Фан-Дрилл и вполне себя оправдало.

В настоящее время появились станки с автоматической подачей штанг при спуско-подъемных операциях.

Крепление податчика предпочитают осуществлять по схеме надвига на кровлю с поднятой на домкратах рамой станка.

#### **4.3. Подземные буровые станки с перфораторами**

Промышленностью сейчас выпускается станок ударно-вращательного действия ПБУ-80М (БУ-80СА) (конструкторы Л. Н. Борисенко, Е. К. Вальденберг, А. В. Черноусов, Н. А. Рашкеев), который позволяет бурить скважины диаметром 50—85 мм глубиной до 30 м в породах и рудах с  $f \leq 20$ . Машиной обуривают полный веер скважин в вертикальной плоскости и параллельные скважины на расстоянии 0,75 м от оси станка.

Составными элементами станка (рис. 4.1) являются: пульт управления, буровая группа, пневмоштинный ход, гидродомкраты. Особенностью станка является то, что он при бурении выставляется на четыре домкрата, а буровая группа распирается в стенки выработки с помощью цилиндра надвигания. Упор податчика выполнен в виде резинового буфера.

С помощью перечисленных выше механизмов осуществляют: перестановку станка по выработкам и его установку на месте бурения;

вывод буровой группы с помощью цилиндра подъема, распорного устройства в рабочее положение;

вращение бурильной машины на  $360^\circ$  для бурения веера скважин;

смещение бурильной машины в обе стороны от оси станка для бурения параллельных скважин;

управление процессом бурения и регулирования режимов работы механизмов;

подачу масла в магистраль сжатого воздуха;

промывку скважины водой и продувку сжатым воздухом при необходимости интенсивной очистки;

наращивание штанг и разборку бурового снаряда при бурении;

передвижение станка на новое место бурения;

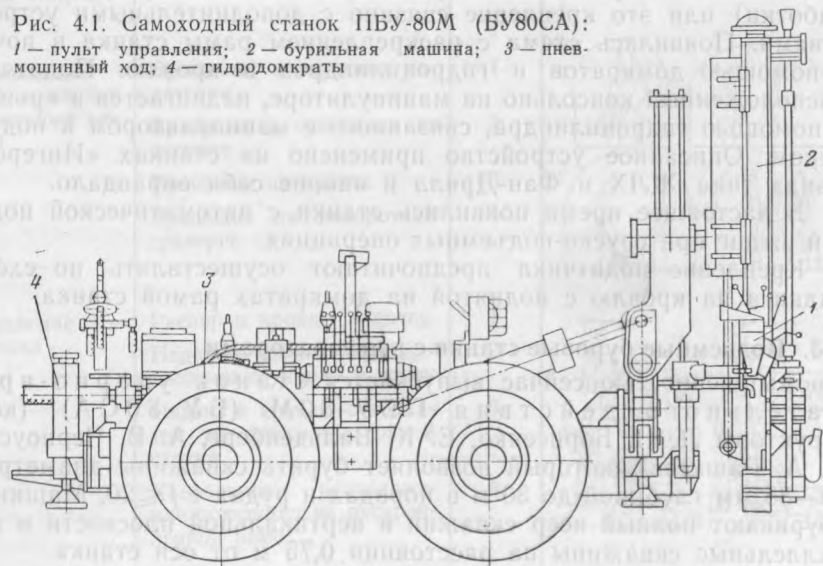
поддержание сжатого воздуха в системе с заранее заданным давлением.

Кинематическая схема станка ПБУ-80М показана на рис. 4.2.

Самоходное шасси станка состоит из правой и левой тележек, каждая из которых снабжена колесами с пневматическими ши-

Рис. 4.1. Самоходный станок ПБУ-80М (БУ80СА):

1 — пульт управления; 2 — бурильная машина; 3 — пневмоштинный ход; 4 — гидродомкраты





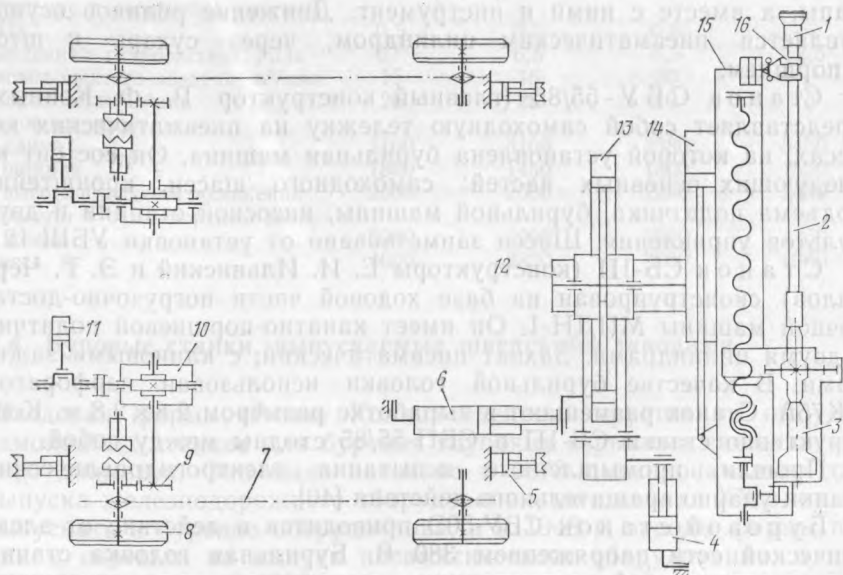


Рис. 4.2. Кинематическая схема станка ПБУ-80М

нами. Обе бортовые передачи соединены между собой в жесткую раму.

Бортовые тележки приводятся в движение от пневмодвигателей 11 ДАР-10. От двигателя крутящий момент передается червячному редуктору 10, а от него через цилиндрический редуктор 9 на колесо 8. Переднее колесо получает вращение от оси заднего колеса через цепную передачу 7. Управление движением шасси осуществляется двумя пусковыми коробками, установленными на двигателях. Рукоятки имеют самовозврат в нейтральное положение, а следовательно, и отключение двигателя при снятии усилия. Рама шасси для горизонтирования станка имеет четыре домкрата 5. Имеется откидная подножка, на которой оператор находится во время передвижения станка.

Шасси несет на себе буровую группу, насосную станцию и пульт управления.

Винтовой податчик 15 раскрепляют путем надвига в кровлю или стенки выработок с помощью гидроцилиндра 14. Для удержания бурового става 2 с коронкой 1 имеется захват 16. В качестве бурильной головки применен перфоратор ПК75А 3. Заваливание податчика в транспортное положение производят с помощью гидроцилиндра 6. Цилиндр 4 служит для горизонтального перемещения бурильной машины. Для вращения оси податчика на 360° имеется реечный механизм 13.

Захват состоит из двух плит, связанных между собой болтами; плиты образуют корпус захвата. Собственно захват штанг производится лапами, по скосам которых скользят ролики и сжимают

лапы, а вместе с ними и инструмент. Движение роликов осуществляется пневматическим цилиндром, через сухарь и шток с поршнем.

Станок СБУ-55/85 (главный конструктор Р. Ф. Конных) представляет собой самоходную тележку на пневматических колесах, на которой установлена бурильная машина. Он состоит из следующих основных частей: самоходного шасси, кронштейна подъема податчика, бурильной машины, насосной станции и двух пультов управления. Шасси заимствовано от установки УБШ-121.

Станок СБ-1П (конструкторы Е. И. Ильинский и Э. Г. Черников) сконструирован на базе ходовой части погрузочно-доставочной машины МПДН-1. Он имеет канатно-поршневой податчик с двумя цилиндрами. Захват пневматический, с клиновыми зажимами. В качестве бурильной головки использован перфоратор ПК75А. Станок размещают в выработке размером 2,8×2,8 м. Конструктивно станки СБ-1П и СБП-55/85 сходны между собой.

Прошли промышленные испытания электрогидравлические станки ударно-вращательного действия [40].

Буровой станок СБУ-50Э приводится в действие от электрической сети напряжением 380 В. Бурильная головка станка представляет собой гидроударник золотникового типа, совершающий удары с частотой 42 Гц и имеющий частоту вращения шпинделя 2 с<sup>-1</sup>. Станок СБУ-50Э имеет колесно-шинный ход, снабжен электродвигателем мощностью 48 кВт и системой гидронасосов.

Управление станком осуществляют с трех пультов управления, один из них выносной. Эксплуатация станка показала, что гидравлические машины позволяют повысить производительность бурения в 1,5—2 раза, увеличить стойкость инструмента на 30—50 %, снизить энергетические затраты в 4—5 раз, значительно улучшить санитарно-гигиенические условия труда оператора. Так, например, общий уровень шума снизился до 106 дБ, запыленность на рабочем месте составила 1 мг/м<sup>3</sup>, вибрация отсутствовала, так как управление станком осуществляется с дистанционного пульта управления.

Взамен установки СБУ-50Э готовится к выпуску станок 2СБУ-80 с гидравлической бурильной головкой ГБГ300-500.

Техническая характеристика буровых станков с перфораторами приведена ниже.

Тип станка	ПБУ-80М БУ-80СА	СБ-1П	СБУ-55/85	СБУ-50Э
Диаметр скважин, мм	65—80	50—85	50—85	52—65
Глубина бурения скважин, м	40	25	25	25
Число бурильных машин	1	1	2	1
Тип перфоратора, гидроударника	ПК75А	ПК75А	ПК75А	БГГ-80
Тип податчика	Винтовой	Пневматический	Винтовой	Гидравлический
Диаметр буровых штанг, мм	38	32	38	32
Длина буровых штанг, м	1220	1200	1000	1000
Размеры выработки, м	2,8×2,8	2,8×2,8	2,5×2,5	2,8×2,8
Скорость передвижения, км/ч	1	5	2	1

Давление в воздушной системе, МПа	0,5	0,5	0,5	—
Давление в гидросистеме, МПа	6	6,5	6,5	12,5
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	15	15	30	—
Расход воды, л/мин	25	25	40	18
Основные размеры:				
длина	3100	3100	3380	3480
ширина	1860	1450	1350	1550
высота в рабочем положении	2600	2600	2250	2600
высота в транспортном положении	2000	1900	1500	1750
Масса, кг	4000	3870	3200	4000

#### 4.4. Буровые станки, выпускаемые шведскими заводами

Шведская фирма «Атлас Копко» специализируется на выпуске самоходных станков для бурения глубоких взрывных скважин малого диаметра. Она была основана в 1873 г. первоначально для выпуска железнодорожного оборудования, но с начала XX в. стала выпускать и буровое оборудование, а к 1948 г. заводы фирмы целиком перешли на выпуск пневматического оборудования, в том числе и бурового. С 1972 г. стали также выпускать гидравлическое оборудование. Для машин характерна высокая степень унификации деталей. Станки, как правило, собирают из стандартных узлов, что позволяет создавать машины в короткие сроки для различных горно-геологических условий.

Первые станки «Симба 11» на колесно-рельсовом ходу были выпущены в 1952 г. Станок имел одну бурильную машину. Затем был выпущен станок «Симба 25» также на колесно-рельсовом ходу с двумя бурильными машинами. Колесно-рельсовый ход оказался неудобным в эксплуатации, поэтому быстро перешли на колесно-шинный ход. Появились машины «Симба 11R» с одной бурильной машиной, «Симба 22» и «Симба 26» с двумя бурильными машинами. В 1970 г. был выпущен станок «Симба 300» с двумя бурильными машинами и «Симба 323» с тремя машинами. Опыт бурения глубоких взрывных скважин оказался настолько эффективным, что аналогичные станки стали выпускать в США фирмы «Ингерсол Рэнд» и «Гарднер Денвер», финская фирма «Тамрок» и японская фирма «Фурукава».

Станки позволили при добыче железных руд бурить в смену до 170 м скважин диаметром 51 мм. Сменная производительность оператора по отбойке руды достигла 1500 т.

Бурильные машины имеют ось вращения в основании податчика. При бурении скважин верхнего полувеера в этом случае не требуется раскреплять раму станка, которую вывешивают на четырех домкратах. К числу недостатков такого конструктивного исполнения следует отнести необходимость иметь подэтажные выработки большой площади сечения. Для станка «Симба 26» требуется выработка сечением 3,3×4,6, а для станка «Симба 22» — 3,5×5 м.

Фирма интенсивно совершенствовала станки. Серия станков «Симба 322», «Симба 312» и «Симба 323» отличается высокой степенью механизации буровых процессов. Ими можно бурить веерные и параллельные скважины, направленные вверх. Платформа установлена на амортизаторах для защиты оператора от вибрации. Станок имеет крышу над оператором, также имеется стеллаж для установки буровых штанг.

Машина снабжается податчиками BMS 180 или BMS 120, которые позволяют применить штанги длиной соответственно 1800 и 1200 мм.

В качестве бурильной головки на станках этой серии применен перфоратор СОР130Е. Бурильные машины располагают на выдвижных балках. При бурении верхнего полувеера балки выдвинуты. Скважины бурят под углом до  $50^\circ$  в обе стороны. При бурении параллельными скважинами балки выдвигают на 1,2 м. При этом ширина станка равна 4,8 м. Фронт обуривания параллельными скважинами 3,8 м, а расстояния между скважинами 1,2—1,4 м.

При необходимости наклонные скважины можно бурить при выдвинутых балках.

На прицепной части станка установлен цилиндрический стеллаж, на котором размещают 32 штанги. Имеется также ресивер для сжатого воздуха вместимостью 40 л, играющий роль водоотделителя. Бак масла для смазки имеет вместимость 43 л. Скорость передвижения станка, которое осуществляется четырьмя двигателями мощностью по 3,7 кВт, равна 2,6 км/ч.

Гидросистема состоит из масляного насоса подачей 0,25 л/с при давлении жидкости 10 МПа, который приводится в действие от пневматического двигателя. Насосный агрегат питается от маслобака вместимостью 75 л. Воздухоподводящая магистраль питается от рукава диаметром 51 мм, а водяная — от рукава диаметром 38 мм. Подводящие краны управления расположены на переднем конце станка. Здесь же находятся и маслобаки.

Органы управления находятся рядом со стеллажом для штанг на задней платформе. Они сгруппированы так, что каждый податчик с перфоратором имеет свой щит управления. С другой стороны стеллажа находятся краны управления ходовыми двигателями. Гидрораспределители управления домкратами расположены на щите управления перфораторов. Подъем бурильных машин из транспортного положения в рабочее производят гидрораспределителями, находящимися в задней части станка.

Агрегат имеет частичную автоматизацию. Когда перфоратор дойдет до переднего края податчика, он закроет клапан подачи воздуха в ударный механизм. После этого штангу зажимают захватом, отсоединяют перфоратор от бурового става с помощью вращательного механизма и возвращают перфоратор в исходное положение. При этом прекращается воздействие на передний стопорный клапан и поршень снова находится в рабочем состоянии.

При бурении большое значение придается поддержанию дав-

ления воды, применяемой для удаления шлама, которое никогда не должно превышать давления сжатого воздуха. Ориентировочно давление воды должно составлять 0,3—0,4 МПа плюс 0,1 МПа на каждые 10 м глубины скважины, направленной вверх. Для регулирования давления промывочной воды с 1,6 МПа до необходимого на станке имеется редуccionный клапан.

Крепление податчика при бурении осуществляется надвигом в кровлю, что следует признать прогрессивным решением.

В последние годы заводы фирмы «Атлас Копко» стали выпускать станки с электрогидравлическим приводом [33]. Выпущен станок «Симба Н221», имеющий колесно-шинный ход. Ход заимствован от погрузочно-доставочной машины «Каво 500». Станок позволяет бурить скважины верхнего полувеера, а также параллельные скважины с расстоянием между ними до 1500 мм.

Скважины верхнего полувеера бурят с наклоном до 45°. Плоскость веера относительно оси выработки может быть наклонена под углом до 75°. В транспортном положении бурильная машина наклонена на 70° от вертикали. Управление станком дистанционное с выносного пульта. Система снабжена автоматическим устройством против заклинивания инструмента.

Гидроударник работает при давлении жидкости в гидросистеме 15—25 МПа, а механизм вращения — при давлении 12 МПа. Вместимость бака гидросистемы 275 л.

На станке установлен двигатель мощностью 45 кВт, вместимость кабельного барабана 125 м. Двигатели работают от напряжения 380 или 550 В. Расход воды 35 л/мин.

У всех станков типа Симба бурильные машины расположены в центре рамы. Такое расположение требует применения выработки большой площади сечения. Кроме того, шлам, поступающий из скважины, попадает на машину, что ухудшает условия бурения. Эти обстоятельства заставили фирму «Атлас Копко» выпустить серию станков класса «Промек» с консольным расположением машин.

Машины типа «Промек» имеют пять типоразмеров, применяются при добыче руды системами подэтажных штреков, подэтажном обрушении и при блоковом обрушении.

Буровые станки «Промек М125» предназначены для бурения скважин по схеме «полный веер». Такие скважины применяются при системах разработки месторождений системами с подэтажными штреками. В качестве привода хода использовано шасси от погрузочно-доставочной машины «Каво 300».

Машинами такого же типа, но больших размеров являются «Промек 155» и «Промек 158». Станок смонтирован на ходовой базе погрузочно-доставочной машины «Каво 500». Он имеет жесткую базу 1205 мм и минимальный радиус закругления 3300 мм. Клиренс ходового устройства равен 225 мм. Станок гидрофицирован. Он снабжен кулисой, которая позволяет обуривать полный веер скважин. Применяется он при системах с отбойной руды из подэтажных штреков, подэтажном и блоковом обрушениях.



Желание увеличить производительность бурения за счет многомашинного бурения привело к созданию станков «Промек М164» и «Промек М168». Станки позволяют бурить скважины верхнего полувеера и верхние параллельные. Они имеют две бурильные машины, расположенные консольно с одной стороны станка. Параллельные направленные вверх машины располагаются одна от другой на расстоянии 1250—3150 мм.

Скважины верхнего полувеера бурят в секторе 110°; наклон веера от станка составляет 40° и на станок — 55°. Это положение определяет и транспортное положение бурильных машин. При этом высота станка равна 2700 мм.

Техническая характеристика некоторых станков фирмы «Атлас Копко» приведена ниже.

Тип станка	Симба 11R	Симба 26	Симба 312	Симба 323	Симба H221
Диаметр скважин, мм	51—64	51—64	48—76	48—76	48—89
Глубина бурения скважин, м	25	25	30	30	40
Число бурильных машин	1	2	2	3	1
Тип перфоратора	BBC 120F	BBC-54 RFL	COP 130EL	COP 131EL	COP 1038HB
Тип податчика	BMS46	BMS47	BMS180	BMS180	BMS180H
Диаметр буровых штанг, мм	32	32	38	38	38
Длина буровых штанг, м	1,2	1,2	1,8	1,8	1,8
Размеры выработки, м×м	2,8×3	3,3×3,4	4,6×3,4	6×3,5	3,6×3,6
Скорость передвижения, км/ч	1	2,6	2,6	2,6	4
Давление в воздушной системе, МПа	0,6	0,6	0,6	0,6	—
Давление в гидросистеме, МПа	6	10	10	10	15—25
Основные размеры, мм:					
длина	3300	4300	5000	6500	6150
ширина	1500	2200	2300	2500	1840
высота в рабочем положении	2600	2900	3000	3300	3400
высота в транспортном положении	1780	1500	2200	2000	2765
асса, кг	2800	2770	9100	11 100	9400

Тип станка	Промек M159	Промек M155	Промек M164	Промек M138	Промек M137
Диаметр скважин, мм	48—89	48—89	48—89	48—89	48—89
Глубина бурения скважин, м	35	35	30	30	30
Число бурильных машин	1	1	2	2	2
Тип перфоратора	COP 131EL	COP 131EL	COP 131EL	COP 131E	COP 131E
Тип податчика	BMS180	BMS180	BMS180	BMS180	BMS180
Диаметр буровых штанг, мм	38	38	38	38	38
Длина буровых штанг, м	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Размеры выработки, м×м	3,2×3,4	3,3×3,3	3,5×3,4	3,5×3,4	3,2×3,2
Скорость передвижения, км/ч	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
Давление в воздушной системе, МПа	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Давление в гидросистеме, МПа	—	10	10	10	10

Основные размеры, мм:

длина . . . . .	4600	4850	4750	5200	6600
ширина . . . . .	1600	1800	1800	1800	1700
высота в рабочем положении . . . . .	3250	3100	3100	3100	2970
высота в транспортном положении . . . . .	2950	2750	2700	2700	2900
Масса, кг . . . . .	2300	5500	6500	7000	8500

#### 4.5. Станки американских и финских фирм

Старейшая фирма в США «Ингерсол Рэнд», так же следуя шведской практике, стала выпускать станки для бурения глубоких взрывных скважин. Она выпускает одномашинные станки ЖЛХ и двухмашинные ВРДЗ-4. Устройство станка ЖЛХ видно на рис. 4.3.

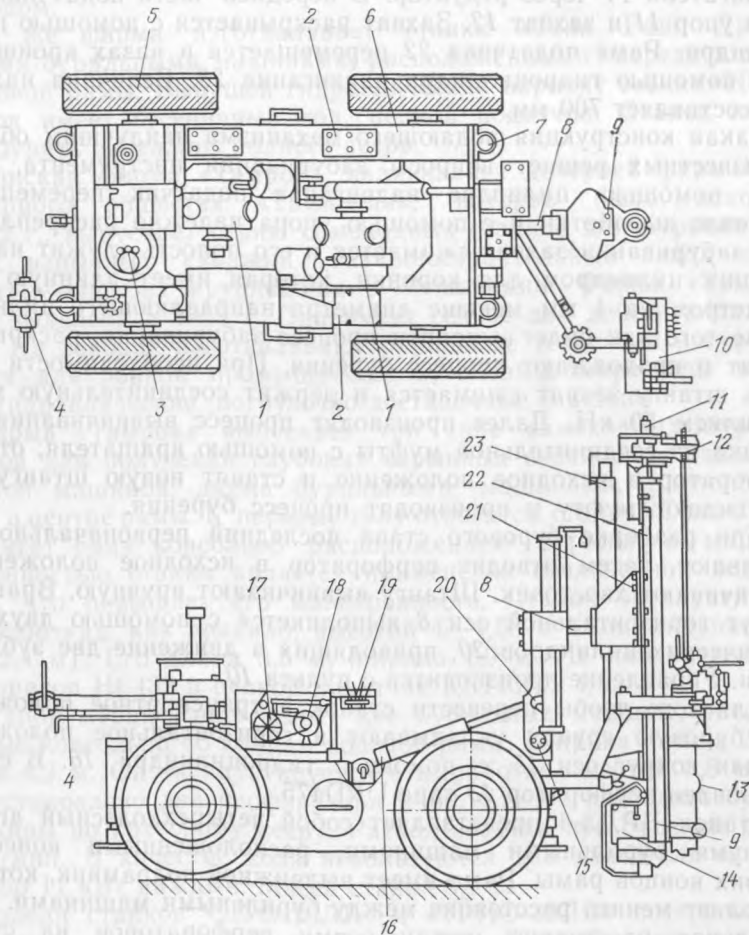


Рис. 4.3. Схема устройства станка ЖЛХ

Ходовая рама станка 6 имеет две бортовые передачи 2, каждая из которых опирается на два колеса 5. Бортовая передача имеет свой пневматический двигатель 1. Двигатели поршневого типа устанавливают сверху бортовой передачи. Крутящий момент от двигателя передается ведущему колесу, а от него с помощью цепной передачи на второе колесо. Каждая бортовая передача имеет по концам домкраты 7, на которых станок вывешивают при работе. В задней части станка имеется гидравлическая станция 3 с пневмодвигателем, насосом и баком. На правой бортовой передаче станка размещен генератор напряжения 17, работающий от пневмодвигателя 18 со своим пультом управления 19. В задней части станка находится также пульт управления ходовой частью 4. Буровая группа находится в передней части станка. Податчик 9 имеет трехзаходный винт и приводится в действие от пневмодвигателя 14 через редуктор. В передней части податчика имеются упор 11 и захват 12. Захват раскрывается с помощью гидроцилиндра. Рама податчика 22 перемещается в пазах кронштейна 21 с помощью гидроцилиндра надвигания 23. Величина надвигания составляет 700 мм.

Такая конструкция подающего механизма наилучшим образом из известных решает вопросы забуривания инструмента.

С помощью цилиндра надвигания податчик перемещается к кровле выработки и с помощью упора надежно закрепляется. При забуривании захват сжимается и его полость служит направляющим цилиндром для коронки, которая имеет длинную юбку диаметром на 1 мм меньше диаметра направляющего цилиндра. После того как будет выполнен процесс забуривания, раскрывают захват и продолжают процесс бурения. При необходимости нарастить штангу захват сжимается и держит соединительную муфту с усилием 50 кН. Далее производят процесс вывинчивания хвостовика из соединительной муфты с помощью вращателя, отводят перфоратор в исходное положение и ставят новую штангу, высвобождают муфту и производят процесс бурения.

При разборке бурового става последний первоначально простукивают, затем отводят перфоратор в исходное положение и вывинчивают хвостовик. Штангу вывинчивают вручную. Вращение вокруг горизонтальной оси 8 выполняется с помощью двух гидравлических цилиндров 20, приводящих в движение две зубчатые рейки. Управление производится с пульта 10.

Для того чтобы перевести станок в транспортное положение, всю буровую группу укладывают в горизонтальное положение, вращая вокруг оси 15 с помощью гидроцилиндра 16. В станке установлен перфоратор 13 типа URD475.

Станок ВРДЗ-4 представляет собой четырехколесный агрегат с двумя бурильными машинами, расположенными консольно с обоих концов рамы. Рама имеет выдвижной подрамник, который позволяет менять расстояние между бурильными машинами. Максимальное расстояние между осями перфораторов на станке 4670 мм и минимальное — 3270 мм.

Принятое устройство позволяет регулировать расстояние между веерами скважин, которые бурят через один.

Установка бурильных машин по концам рамы уравнивает машину, что является достоинством конструкции. Вместе с тем при эксплуатации необходимо одновременное окончание бурения вееров обеими машинами. Только в этом случае целесообразна передвижка. Обслуживают машину два оператора.

Американская фирма «Гарднер Денвер» выпускает для бурения глубоких взрывных скважин станок «Фан Дрилл», который позволяет бурить скважины верхнего полувеера и параллельные скважины. На нем установлено две бурильные машины, которые находятся в середине рамы. Перемещаются бурильные машины с помощью кулис. В качестве привода используют гидроцилиндры. Ходовая часть колесно-шинная с пневматическим или дизельным приводом.

Та же фирма изготавливает станки «Твин Ринг Дрилл» с двумя бурильными машинами, расположенными спереди и сзади хвостовой рамы. Выпущен гидравлический вариант станка «НРД». Станок имеет гусеничный ход, цепной податчик. Станок позволяет бурить скважины полного веера.

Финская фирма «Тамрок», являющаяся дочерней фирмой акционерного общества «Тампелла», которое было основано в 1942 г., выпускает серию самоходных станков для бурения глубоких взрывных скважин. Машиностроительный завод «Тампелла» — один из крупнейших в Финляндии. Фирма «Тамрок» была выделена в 1969 г. Она имеет сейчас два действующих завода. На заводах изготавливают бурильные установки и буровые станки для горной промышленности, пневмокомпрессоры и дизель-гидравлические погрузочно-доставочные машины.

Фирма «Тамрок» выпускает три типа самоходных буровых станков для получения глубоких взрывных скважин: с одной бурильной машиной, двумя бурильными машинами, расположенными в центре рамы. К первому типу относится станок «Соло 1500». Он имеет одну консольно расположенную бурильную машину. Особенностью станка является применение сочлененной ходовой рамы, что повышает его маневренность. Станок эксплуатируют в выработках, как правило, высотой 4—4,58 м (минимальная высота 2,4 м). Его длина 3,3 м, ширина 1,9 м. На нем установлен перфоратор HL432 и цепной податчик KS140H×4/6.

Станок «Твин Ринг» имеет две бурильные машины, расположенные консольно по концам ходовой рамы. Ширина станка 2,2 м, длина 4,3 м. Он эксплуатируется в выработке высотой 3,5 м. На нем установлено два перфоратора L400. Станок позволяет бурить скважины по круговому вееру. Расход воздуха при бурении равен 24 м<sup>3</sup>/мин. В качестве хода используются два двигателя мощностью по 11 кВт каждый. Масса станка 6,1 т.

Модели станков «ДУО-20ЛВ» и «ТРИО-30ЛВ» построены по типу станков «Симба 312» и «Симба 323». Первый имеет два перфоратора, а второй — три — типа L500T. Бурильные машины рас-

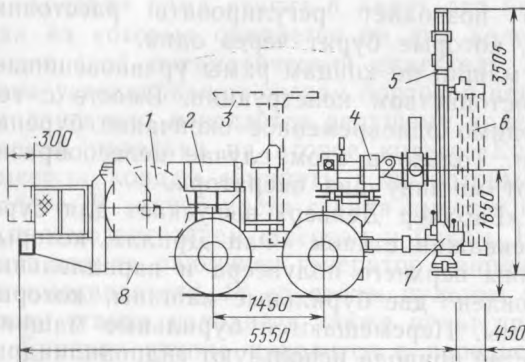


Рис. 4.4. Схема устройства станка «Соло 405»:  
 1 — кабельный барабан; 2 — электрогидравлическая группа; 3 — защитный козырек; 4 — манипулятор; 5 — гидравлическая бурильная машина; 6 — кассета; 7 — пульт управления; 8 — ходовая часть

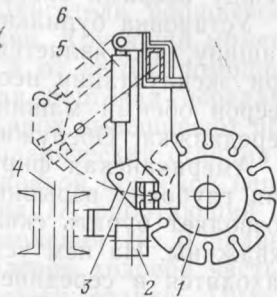


Рис. 4.5. Кассета станка «Соло 405»:  
 1 — кассета; 2 — седло; 3 — захват; 4 — рама податчика; 5 — гидроцилиндр рукояти; 6 — рукоять

положены в центре ходовой рамы. Станки позволяют бурить верхний полувеер скважин и параллельные скважины. Станок «ДУО-20ЛВ» размещают в выработке сечением 4×7,2 м, а станок «ТРИО-30ЛВ» — в выработке сечением 5×7,8 м.

Фирма «Тамрок» выпустила серию станков с гидроперфораторами «Соло 405» и «Соло 490», «Соло 1500 Н и «Соло А499RR».

Станок «Соло 405» смонтирован на пневмоколенной тележке (рис. 4.4). В передней части рамы расположена бурильная машина с гидравлической головкой HRL438 с манипулятором. Новым здесь является кассета, в которой устанавливаются 12 штанг.

Кассета (рис. 4.5) установлена на неподвижной оси. Подачу штанг на ось бурения осуществляют с помощью рукояти, которая действует от гидроцилиндра. Эта же рукоять ставит обратно штанги при разборке бурового снаряда.

Пульт управления бурением установлен на консоли возле буровой группы. На задней части рамы располагают электрогидравлический силовой блок и два барабана: один — для кабеля и второй — для водяного шланга. Горизонтирование станка производят четырьмя гидродомкратами.

Станок «Соло 490» имеет шарнирно-сочлененную раму, дизельный привод и кассету на 18 штанг.

Выпущен буровой станок «Датасоло» HS808RA, который обуривает полный веер скважин с заданными параметрами автоматически без участия оператора.

Техническая характеристика зарубежных станков приведена ниже.

Тип станка . . . . .	ЖЛХ	ВРДЗ-4	Фан-Дрилл	БФП-2-183Г	Соло 1500
Глубина бурения, м . . .	20	20	25	50	25
Число бурильных машин	1	2	2	2	1
Тип перфоратора . . . .	URD475	URD475	PR123	HBM100	L500T



Тип податчика	LPF5	LPF5	2MSU	—	—
Диаметр буровых штанг, мм	32	32	32	32	32
Длина буровых штанг, мм	1200	1200	1800	1800	1800
Размеры выработки, м×м	3×3	3×3	3,6×3,6	2,5×2,5	4×3,5
Скорость передвижения, км/ч	8,3	8,3	15	15	20
Давление в воздушной системе, МПа	0,63	0,63	0,6	—	0,6
Давление в гидросистеме, МПа	12	12	11	20	12
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	17,8	46	42	—	12
Расход воды, л/мин	38	76	60	66	32
Основные размеры, мм:					
длина	3350	5760	5000	6000	4500
ширина	1700	2050	3260	2500	2200
высота в рабочем положении	2900	2950	3300	3000	3930
высота в транспортном положении	1820	1860	1900	2200	2400
Масса, кг	3600	6818	6000	2000	3700
Фирма, страна	Ингерсол Рэнд, США	Гарднер Денвер, США	Гарднер Денвер, США	ЗИГ, Швейцария	Тамрок, Финляндия

Тип станка	Твин Ринг	ДУО-20ЛВ	Трио-30ЛВ	Соло 405	НРД
Глубина бурения, м	25	25	25	25	30
Число бурильных машин	2	2	3	1	1
Тип перфоратора	L500T	L500T	L500T	HL438	НРД
Тип податчика	—	—	—	KS140×6	HCFMS
Диаметр буровых штанг, мм	32	38	38	38	38
Длина буровых штанг, мм	1800	1800	1800	1800	1500
Размеры выработки, м×м	3,5×3,5	4×7,2	4×4,8	4×4	2,6×3,7
Скорость передвижения, км/ч	2	5	5	5	5
Давление в воздушной системе, МПа	0,6	0,6	0,6	—	—
Давление в гидросистеме, МПа	12	12	12	12	20
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	24	24	36	—	—
Расход воды, л/мин	60	60	72	72	70
Основные размеры, мм:					
длина	3700	7850	7850	6000	3650
ширина	2200	2500	3000	2300	1370
высота в рабочем положении	3200	3250	3250	3700	3520
высота в транспортном положении	2300	3000	3000	2600	1630
Масса, кг	6100	8000	12 500	9000	4491
Фирма, страна	Тамрок, Финляндия	Гарднер Денвер, США	Гарднер Денвер, США	Гарднер Денвер, США	Гарднер Денвер, США

#### 4.6. Буровые станки с перфораторами для открытых горных разработок

В зарубежной практике ведения горных работ для первичного дробления горной массы широко используют наклонные скважины диаметром 52—127 мм. Такие скважины применяют для отбойки руды, когда требуется равномерное дробление, или отстройки бортов карьеров с целью повышения устойчивости последних; для создания экранирующих щелей при ведении взрывных работ скважинами большого диаметра; для эксплуатационной разведки и селективной добычи руды. Скважины бурят мощными перфораторами с диаметром цилиндра 114—152 мм. В последнее время стали применять гидроперфораторы. Оборудование монтируют на самоходных колесно-шинных или гусеничных тележках.

В качестве примера остановимся на станке PCR200 на гусеничном ходу фирмы «Фурукава» (Япония). Каждая гусеница имеет свой пневматический двигатель мощностью 9 кВт, что обеспечивает преодоление подъемов пути с уклоном до 22°. Натяжное устройство гидравлическое, что позволяет производить регулировку натяжения гусениц с помощью шприца для консистентной смазки. Податчик крепят к позиционеру, который имеет два цилиндра поворота в двух плоскостях. Податчик цепной, он действует от пневматического двигателя мощностью 3,7 кВт. В качестве бурильной головки применен колонковый перфоратор РД 200 с диаметром цилиндра 130 мм. Ход поршня 80 мм, масса 180 кг, расход воздуха 16 м<sup>3</sup>/мин. Перфоратор позволяет бурить скважины диаметром 65—100 мм. Шумопоглощение производится в две стадии внутри перфоратора. Воздух поступает через шланг к раме податчика, внутри которой встроен глушитель.

Станок позволяет бурить скважины глубиной до 50 м. Диаметр штанг 38 мм, длина — 3,05 м.

Питание станков сжатым воздухом производят от передвижного компрессора, который при передвижении буксируют станком.

Фирма «Атлас Копко» (Швеция) выпустила гидрофицированный станок ROC820HE. Машиной можно бурить вертикальные и наклонные скважины глубиной до 42 м. Диаметр скважин 76—127 мм. Кассета станка вмещает шесть штанг длиной 6,1 м. Все операции по наращиванию штанг производят из кабины.

Основой станка является гусеничный ход, на котором крепят мачту и все вспомогательное оборудование. Подача на станке цепная.

Гидроперфоратор 1038НВ позволяет бурить скважины диаметром 76 мм (в крепких гранитах) со скоростью 1 м/мин. Пыль от перфоратора осаждается в специальной камере.

Все механизмы станка питаются от кабеля длиной 110 м. Установленная мощность двигателей 75 кВт.

Аналогичные станки выпускают фирмы «Ингерсол Рэнд», «Гарднер Денвер», «Джой», «Секома». Сведения о станках приведены ниже.

Модель станка	PCR200	АТД3200	HCR-260	ROC712H	ROC310H
Диаметр скважины, мм	65—100	65—125	65—125	48—89	64—115
Глубина бурения скважин, м	50	50	20	20	25
Модель перфоратора	РД200	PR133	HP-260*	COP1036H	COP1038H
Рабочее давление, МПа	0,7	0,7	17,5	15—25	15—25
Диаметр штанги, мм	38	38	38; 45	32	38
Длина штанги, м	3	3,6	3,05	3,66	3,66
Ход подачи, м	3,7	4,4	4	4,5	4,5
Усилие подачи, кН	8	12	18	13	20
Установленная мощность двигателей, кВт	20	34	118	115	115
Масса, т	5	9,7	8,7	7,5	9
Фирма	Фурукава	Гарднер Денвер	Фурукава		Атлас Копко
Страна	Япония	США	Япония		Швеция
Модель станка	ROC820H	ROC920H	Зоомтрак ЕН	Зоомтрак DDH844	Герберт
Диаметр скважины, мм	64—115	64—115	35—102	64—140	178—226
Глубина бурения скважин, м	25	20	30	30	30
Модель перфоратора	COP1038HB	COP1038HB	HL438	HL844	HL4000
Рабочее давление, МПа	15—25	15—25	15—20	15—20	14—18
Диаметр штанги, мм	45	45	32	45	152
Длина штанги, м	6,1	6,1	3,6	3,6	6
Ход подачи, м	7	7	4,5	4,5	7
Усилие подачи, кН	20	20	11	22	50
Установленная мощность двигателей, кВт	115	115	115	163	382
Масса, т	8,7	15,8	5,5	12,5	48
Фирма				Тамрок	
Страна	Атлас Копко			Финляндия	

\* С индексом Н — гидроперфораторы.

Мощные станки с гидроперфораторами конкурируют даже с шарошечными станками. Так, станком «Герберт» в магнетитах получена скорость бурения 0,4 м/мин, а станком 45R в этих условиях — скорость бурения в четыре раза меньшая.

Большим преимуществом станков с гидроперфораторами является возможность бурить с наклоном скважины диаметром до 230 мм. При этом по сравнению с шарошечными станками их масса в 1,6 раза меньшая. Бурение производят при осевом усилии 30 кН, в то время как на шарошечных станках оно равно 300 кН. Крутящий момент составляет 2500 Н·м, против 7000 Н·м

на шарошечных станках. Искривление скважин, благодаря меньшему осевому усилию, незначительное.

На станке «Герберт» установлен гидроперфоратор HL4000, позволяющий бурить скважины диаметром 178—226 м. Выходная мощность ударного механизма составляет 75 кВт, масса 1100 кг.

#### 4.7. Колонковые бурильные установки

С целью защиты операторов от вибрации, а также облегчения процесса бурения и возможности эффективного использования тяжелых перфораторов применяют колонковые бурильные установки.

Промышленностью выпускаются переносная бурильная установка УПБ-1А, колонковые бурильные установки КБУ-50М (БУ-50Н) и КБУ-80 (БУ-80Н).

Установка УПБ-1А (ведущий конструктор В. А. Скворчевская) (рис. 4.6) позволяет бурить горизонтальные и наклонные шпурь в выработках высотой 1,8—3 м. Применяется она преимущественно в подэтажных выработках при скреперной погрузке породы. Установка состоит из U-образной рамы, по которой перемещаются направляющие втулки канатно-поршневого податчика 3. В нижней части рамы находится удлинитель с опорной пяткой, а в верхней части установки — пневмоцилиндр 1 с распорным штоком, посредством которого производят крепление колонки в кровлю вы-

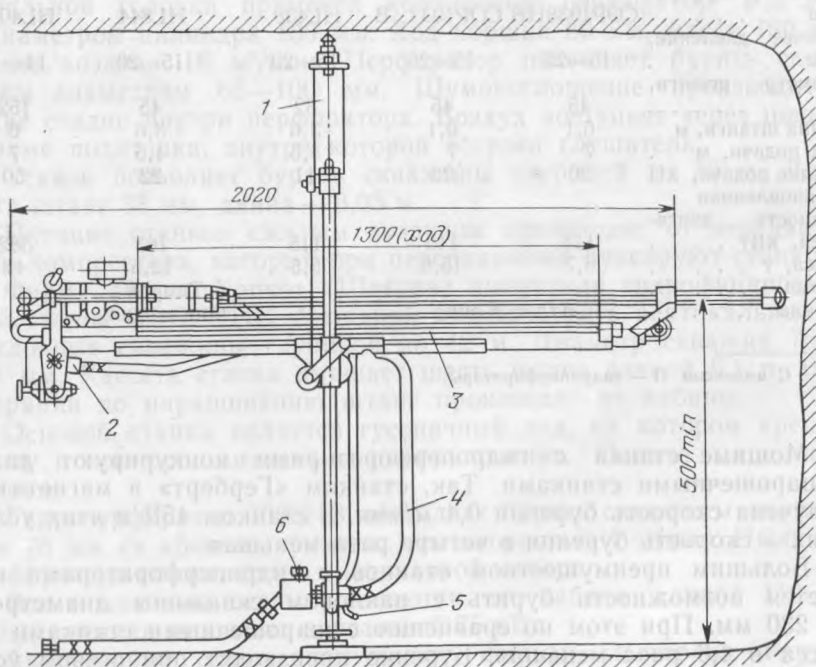


Рис. 4.6. Переносная установка УПБ-1А

работки. Шток поджимается пружиной для удержания установки в рабочем состоянии в случае отключения сжатого воздуха.

Сжатый воздух к установке подают с помощью крана 2. В нижней части рамы имеется штуцер 6. С помощью одного из них через шланг колонку подключают к шахтному трубопроводу. Второй штуцер 5 служит для подвода воздуха к пульту управления. К направляющим втулкам крепят каретку, которая несет на себе канатно-поршневой податчик с перфоратором. Подъем податчика по раме осуществляют вращением ручки барабана, на который наматывают канат, проходящий через ролики и прикрепленный к направляющей втулке. Каретка имеет полумуфты, с помощью которых крепят податчик в вертикальной плоскости. Перфоратор закрепляют к салазкам, которые перемещают по направляющим податчика. На заднем фланце установлен кран управления податчиком, с помощью которого управляют бурильной машиной и податчиком. В передней части податчика установлен люнет, через который проходит штанга. Для регулирования усилия подачи в трубопроводе, питающем кран управления, установлен регулятор давления.

Опыт бурения установкой УПБ-1А показал, что она является надежным приспособлением для поддержания и создания необходимого для бурения усилия подачи перфоратора. Установка позволяет увеличить производительность бурения на 20—25 % по сравнению с бурением тем же перфоратором на пневмоподдержке, несмотря на то, что при этом растут затраты времени, связанные с транспортированием бурового оборудования и инструмента. Техническая характеристика установки УПБ-1А приведена ниже.

Диаметр бурения скважин, мм	36; 40
Глубина бурения скважин, м	2,25
Усилие подачи, кН	0—1,4
Усилие распора, кН	2
Величина подачи, мм	1300
Величина перемещения податчика, мм	930
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	5
Высота установки, мм:	
без удлинителей	1800—2400
с удлинителями	2400—3000
Масса установки, кг	102
Масса транспортируемого узла, кг	38
Изготовитель	Кыштымский машиностроительный завод им. М. И. Калинина

— Тяжелые колонковые перфораторы с податчиками устанавливают на распорных колонках. Промышленно выпускаются колонковые установки КБУ-50М (БУ-50Н) (гл. конструктор В. Г. Кружков) и КБУ-80 (БУ-80Н) (гл. конструктор М. Я. Дорошенко) (рис. 4.7). Обе установки имеют сходное устройство.

Несущей основой установки является колонка, которую крепят к салазкам. Салазки служат для перемещения установки с одного веера на другой в собранном виде с помощью лебедки



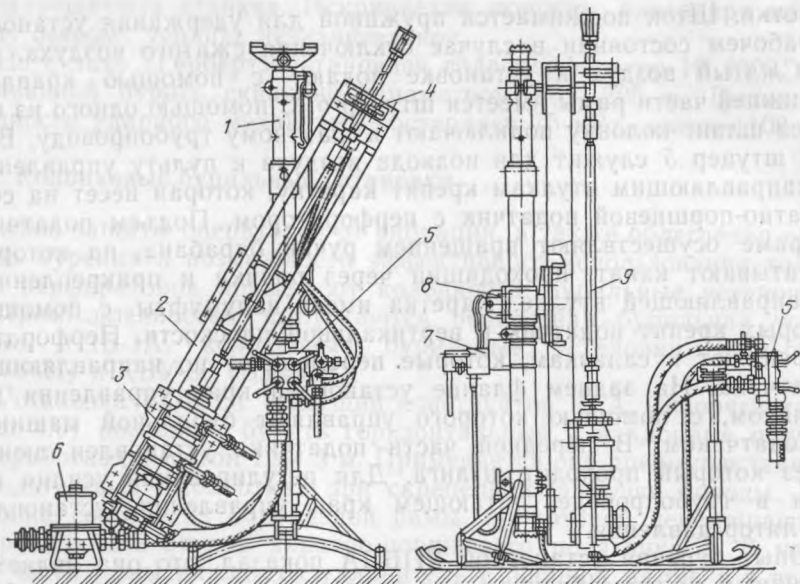


Рис. 4.7. Колонковая установка КБУ-80:

1 — колонка; 2 — податчик; 3 — перфоратор; 4 — захват; 5 — пульт управления; 6 — авто-масленка; 7 — гидронасос; 8 — лебедка; 9 — буровой став

или вручную, а также для транспортирования по выработкам с помощью тяговых средств. На салазках, представляющих собой сварную раму, так же расположен пульт управления. Пульт на стойке закрепляют с помощью хомута, в котором предусмотрены резиновые амортизаторы, исключающие передачу вибрации на пульт управления.

Колонка несет на себе бурильную машину и служит для закрепления установки в горной выработке. Усилие распора создается гидроцилиндром, расположенным в нижней части колонки. В верхней части колонки имеется башмак, который крепят к верхней части выдвижной трубы, служащей для удлинения колонки. Там же крепят ролик подвески, через который проходит канат ручной лебедки. С помощью этой лебедки бурильную машину можно устанавливать в нужном положении для бурения. Ручная лебедка так же служит для монтажа установки. К колонке при- дается ручной насос, который подает масло под давлением 8—12 МПа в полость цилиндра колонки, чем обеспечивается надежность раскрепления установки в кровлю и почву выработки. На колонке имеется траверса, к которой крепят бурильную машину.

Бурильные машины КБУ-80 (БУ-80Н) и КБУ-50М (БУ-50Н) состоят из винтового податчика и перфоратора. Винт приводится в движение пневмодвигателем ДАР-5. Ходовая гайка связана с винтом. Смазку гайки производят от сети сжатым воздухом, на-

сыщенным маслом. В передней части податчика имеется пневматический люнет, который центрирует штангу при забурировании и удерживает став при выполнении спуско-подъемных операций.

В качестве бурильной головки на установке КБУ-80 (БУ-80Н) применен перфоратор ПК75А, а на установке КБУ-50М (БУ-50Н) — перфоратор ПК60А.

Ниже приведены основные сведения о колонковых установках.

Тип установки	КБУ-50М (БУ-50Н)	КБУ-80 (БУ-80Н)
Диаметр шпуров и скважин, мм	52 и 65	65 и 75
Глубина бурения скважин, м	25	30
Направление бурения	Круговой веер	
Осевое усилие на забой, кН	10	
Мощность привода подачи, кВт	3,68	
Ход подачи, мм	1200	1400
Диаметр штанг, мм	25	38
Длина штанги, мм	1220	
Скорость обратного хода, м/с	0,3	
Давление сжатого воздуха, МПа	0,5	
Давление воды, МПа	0,4	
Минимальные размеры выработки, м	2,5×2,5	
Расход:		
воздуха, м <sup>3</sup> /мин	12	13
воды, л/мин	20	25
Масса установки, кг	430	570

Колонковые электробуры и электросверла устанавливают на колонках КЭБ-5. Имеются также комплекты навесного оборудования НБ-3, НБ-17, которое устанавливают на погрузочных машинах типа ПНБ.

#### 4.8. Производительность станков с перфораторами и расходные показатели

При оснащении станков колонковыми перфораторами с независимым вращением бура мощность ударного механизма больше, чем вращательного.

Тип перфоратора	ПК60А	ПК75А	L400	L500	L750
Ударная мощность, кВт	4,27	6,5	6,7	8,4	10,2
Мощность вращателя, кВт	1,25	1,9	2,3	2,3	4
Отношение ударной мощности к мощности вращателя	3,41	3,41	2,9	3,7	2,55

Для успешного бурения шпуров этими перфораторами осевое усилие на инструменте рекомендуется поддерживать в пределах 5—8 кН. Предпочтителен нижний предел, так как при этом износ инструмента меньший [21]. Оптимальная частота вращения 2—3 с<sup>-1</sup>.

Бурение скважин мощными колонковыми перфораторами сопровождается производством вспомогательных операций, таких, как свинчивание и развинчивание бурового става, замена долота,

забуривание скважины, установка податчика на новую скважину.  
Техническая производительность станка (м/ч)

$$Q_{\text{тех}} = \frac{60Rk_r k_0}{\frac{\alpha L}{v_0(1-e^{-\alpha L})} + \left(\frac{L}{B} + 1\right) \frac{t_n + t_p}{2l} + \frac{T_3}{B} + \frac{T_{\text{нп}} + T_{36}}{L}}$$

где  $t_n$  и  $t_p$  — время навинчивания и развинчивания одной штанги.

Остальные значения приведены в разд. 3.

Эксплуатационная производительность будет зависеть от времени на перегонку станка на новый веер  $T_{\text{п}}$  и от простоев по организационным причинам  $T_{\text{оп}}$ :

$$Q_3 = \frac{(T_{\text{см}} - T_{\text{пз}} - T_{\text{оп}}) R k_0 k_r}{\frac{\alpha L}{v_0(1-e^{-\alpha L})} + \left(\frac{L}{B} + 1\right) \frac{t_n + t_p}{2l} + \frac{T_3}{B} + \frac{T_{\text{п}} + (T_{\text{нп}} + T_{36}) m}{ml}}$$

где  $m$  — число скважин в веере.

Пример 1. Определить начальную механическую скорость бурения скважин диаметром 56 мм, перфоратором ПК75 в породах  $f=11$  при  $A=150$  Дж;  $n=43$  Гц.

$$v_n = \frac{50 \cdot 150 \cdot 43}{56^2 \cdot 11} = 9,4 \text{ мм/с} = 560 \text{ мм/мин} = 0,56 \text{ м/мин.}$$

Пример 2. Определить среднюю скорость бурения скважины глубиной 20 м для условий предыдущей задачи, имея в виду декремент затухания  $\alpha=0,04$  (перфоратор ПК75)

$$v_{\text{ср}} = \frac{560}{0,04 \cdot 20} (1 - e^{-0,04 \cdot 20}) = 385 \text{ мм/мин.}$$

Пример 3. Определить теоретическую производительность станка для следующих данных:  $d=56$  мм;  $L=20$  м;  $l=1,2$  м;  $B=20$  м;  $v_n=0,56$  м/мин;  $\alpha=0,04$ ;  $R=1$ ;  $k_0=1$

$$Q_T = \frac{60 \cdot 0,56 (1 - e^{-0,04 \cdot 20}) \cdot 1 \cdot 1}{0,04 \cdot 20} = 23 \text{ м/ч.}$$

Пример 4. Вычислить техническую производительность станка для условий предыдущей задачи и следующих данных:  $k_r=0,9$ ;  $t_n=0,5$  мин;  $t_p=1$  мин;  $T_{\text{нп}}=5$  мин;  $T_{36}=1$  мин;  $T_3=4$  мин.

$$Q_{\text{тех}} = \frac{60 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9}{\frac{0,04 \cdot 20}{0,56 (1 - e^{-0,04 \cdot 20})} + \frac{20}{20} + 1 \frac{0,5 + 1}{2 \cdot 1,2} + \frac{4}{20} + \frac{1 + 5}{20}} = 13,2 \text{ м/ч.}$$

Пример 5. Определить эксплуатационную сменную производительность бурения станком с одной бурильной машиной для данных предыдущей задачи, имея в виду, что  $T_{\text{см}}=360$  мин;  $T_{\text{пз}}=40$  мин;  $T_{\text{оп}}=60$  мин;  $R=1$ ;  $k_0=1$ .

$$Q_3 = \frac{(360 - 40 - 60) 0,9 \cdot 1 \cdot 1}{\frac{0,04 \cdot 20}{0,56 (1 - e^{-0,04 \cdot 20})} + \frac{20}{20} + 1 \frac{0,5 + 1}{2 \cdot 1,2} + \frac{4}{20} + \frac{30 + (1 + 5) 14}{14 \cdot 20}} = 52,53 \text{ м/смену.}$$

Были произведены расчеты на ЭВМ [23] при бурении скважин различной глубины диаметром 56 мм, длине штанги 1,2 м, одной бурильной машине, расстоянии между концами скважин в веере 2,2 м, коэффициенте крепости пород 6—16. Результаты расчетов представлены на рис. 4.8. Анализируя данные графиков, можно констатировать, что для слабых пород максимальная производительность бурения находится для скважин глубиной 10—20 м, а для крепких пород — в пределах 10—15 м. Оптимальной глубиной бурения для станков, оснащенных современными перфораторами, следует считать глубину 20 м. Эту особенность рекомендуется учитывать при проектировании взрывных работ.

Производительность станков в тоннах отбитой руды при выходе от 4,2 до 9 т/м составляет для крепких пород 250 т/смену, а для слабых руд — до 800 т/смену. Увеличение числа бурильных машин на станке до двух позволяет увеличить производительность в 1,6 раза, а при трех бурильных машинах — в 2,1 раза.

При бурении скважин целесообразно подбирать такие коронки, стойкость которых на одну заточку обеспечивала бы бурение всей скважины. В этом случае значительно сокращаются затраты на спуско-подъемные операции.

Расход бурового инструмента и материалов на 1000 м скважин приведены ниже.

Коэффициент крепости пород	10—12	12—14	14—16
Крестовые коронки, шт.:			
диаметром 56 мм	10	17	22
» 65 мм	14	21	28
Буровые штанги (длина 1000 мм), шт.:			
диаметром 32 мм	9	23	46
диаметром 38 мм	7	26	38
Соединительные муфты, шт.	18	36	46
Хвостовики, шт.	1	2	4
Сжатый воздух, м <sup>3</sup>	80 000	100 000	128 000
Вода, м <sup>3</sup>	50	60	70

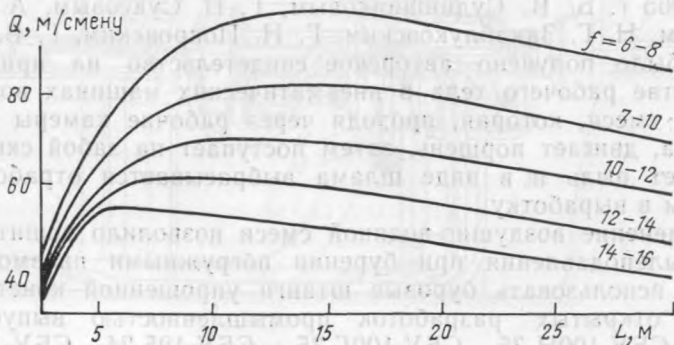


Рис. 4.8. Зависимость производительности станка  $Q$  от глубины скважины  $L$

## 5. СТАНКИ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН ПНЕВМОУДАРНИКАМИ

### 5.1. Общие сведения

Бурение скважин с помощью погружных пневматических машин ударного действия является отечественным приоритетом. В 1938 г. инж. А. К. Сидоренко сконструировал первый погружной агрегат.

В 1949 г. на Сокольном руднике Лениногорского полиметаллического комбината инж. П. Ф. Трофимовым под руководством проф. Я. Г. Каплуна был построен агрегат, состоящий из станка вращательного действия и отбойного молотка ОМСП-5. Бурение производилось армированной крестовой коронкой диаметром 110 мм с частотой вращения  $5,3 \text{ с}^{-1}$ .

Год спустя инж. С. П. Юшко в Джекказгане был сконструирован для работы в скважине пневмоударник, вращатель которого находился вне скважины в горной выработке. Такое решение позволило получить большой крутящий момент для вращения пневмоударника и буровых штанг.

В результате многократной модернизации оборудования в 1954 г. был создан пневмоударник Ю-16 с буровой машиной БМК-2. Агрегат выпускался Кыштымским заводом горного оборудования до 1959 г. В это же время Криворожским НИГРИ под руководством д-ра техн. наук Г. Т. Ямкового был создан пневмоударник ПУ-8 с вращателем БЭС-2М. Агрегат был сконструирован инж. Н. Л. Володько.

В 1953 г. ИГД СО АН СССР совместно с Кузнецким металлургическим комбинатом был разработан станок БА-100 с пневмоударником М1900.

Буровой станок-полуавтомат НКР-100МА был создан в 1959 г. Этот станок и сейчас широко применяется для бурения скважин на подземных горных разработках.

В 1965 г. Б. В. Суднишниковым, Г. Н. Суксовым, А. А. Зиновьевым, Н. Г. Закаблуковским, Г. Н. Покровским, Г. В. Родионовым было получено авторское свидетельство на применение в качестве рабочего тела в пневматических машинах воздушно-водяной смеси, которая, проходя через рабочие камеры пневмоударника, двигает поршень, затем поступает на забой скважины, смачивает пыль и в виде шлама выбрасывается отработанным воздухом в выработку.

Применение воздушно-водяной смеси позволило решить проблему пылеподавления при бурении погружными пневмоударниками и использовать буровые штанги упрощенной конструкции.

Для открытых разработок промышленностью выпускаются станки СБУ-100Н-35, СБУ-100Г-35, СБУ-125-24, СБУ-125У-52. Станок СБУ-100Н-35 может применяться в подземных условиях. Для бурения скважин с расширителями прошел испытания станок



СБП-155/320 С, проходят испытания станки 1БП-160, БП-100 С и БП-160 С.

В зарубежной практике погружные пневмоударники широко применяют при открытых разработках. Для подземных разработок в 1962 г. фирмой «Ингерсол Рэнд» была выпущена машина «Майн-мастер», предназначенная для бурения скважин диаметром 127—163 мм [48]. Сейчас к станкам с погружными пневмоударниками проявляется большой интерес. Это связано с появлением крупногабаритного транспортного оборудования и вибровыпуска.

Фирма «Ингерсол Рэнд» выпустила серию самоходных станков СММ-1 и СММ-2, фирма «Атлас Копко» выпускает станки РОС-306, фирма «Мишн» Мегаматик 6200-У, «Джой» АСМ-1ДН.

## 5.2. Буровые станки с пневмоударниками для подземных горных разработок

Полуавтоматический буровой станок НКР100МА (главные конструкторы П. М. Емельянов и Э. Г. Чернилов) позволяет бурить скважины диаметром 85—105 мм, глубиной до 50 м. Двухшарнирное установочное приспособление станка позволяет бурить скважины в любом направлении. При применении станка НКР100МА (рис. 5.1) механизуются спуск и подъем бурового става, развинчивание резьбовых соединений штанг. Буровые штанги диаметром 63,5 мм имеют большие проходные

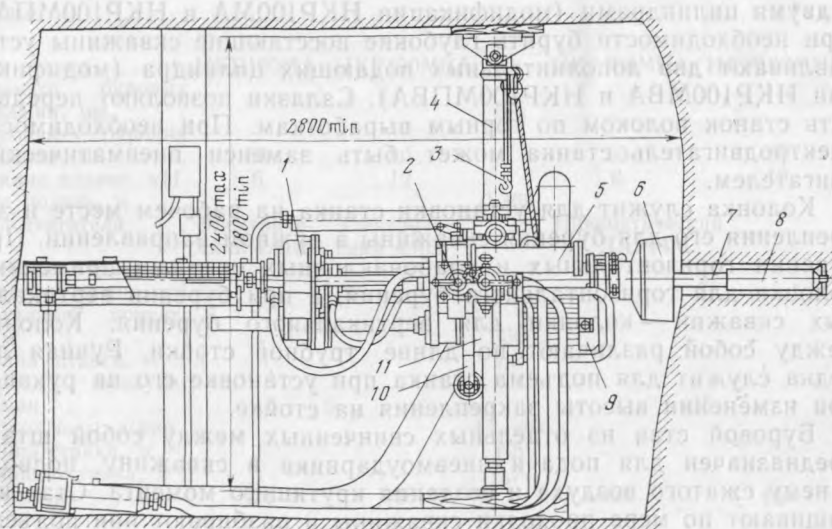


Рис. 5.1. Буровой станок НКР100МА:

1 — подающий патрон; 2 — пульт управления; 3 — ручная лебедка; 4 — распорная колонка; 5 — подающий цилиндр; 6 — оградительный щиток; 7 — буровой став; 8 — пневмоударник; 9 — электродвигатель; 10 — салазки с роликом; 11 — редуктор

сечения для сжатого воздуха, что обеспечивает повышенную производительность, вследствие малого падения давления в буровом стае.

Станок состоит из пневмозахвата, подающего патрона, редуктора, двигателя, пульта управления, распорной колонки, бурового става и пневмоударника. Основным узлом является редуктор с пневмозахватом; на нем закрепляют все перечисленные выше узлы. Пневмозахват удерживает и вращает став штанг, когда подающий патрон разъединяется со штангой для последующего захвата ее на новом месте. Редуктор с пневмозахватом состоит из планетарного редуктора одноступенчатой зубчатой передачи, зажимного устройства, шлицевого вала и концевых клапанов прямого и обратного хода. Подающий патрон предназначен для подачи и вращения бурового инструмента во время бурения или при выдаче его из скважины. Патрон перемещается по двум направляющим с помощью пневматических податчиков. Подвижное шлицевое зацепление соединяет подающий патрон и редуктор с пневмозахватом, передающим крутящий момент от двигателя ставу штанг. Подающий патрон представляет собой одноступенчатый редуктор с пневматическим зажимным устройством.

На пульте управления станком имеются: кран управления подачей, автоматическое устройство, стоп-кран, регулятор давления, водяной вентиль и кран управления пневмоударником, регулятор обдува. Обдув штанг производят для того, чтобы предотвратить попадание бурового шлама в механизмы станка. Подающие цилиндры на станке пневматические. Обычно станок эксплуатируют с двумя цилиндрами (модификации НКР100МА и НКР100МПА). При необходимости бурить глубокие восстающие скважины устанавливают два дополнительных подающих цилиндра (модификации НКР100МВА и НКР100МПВА). Салазки позволяют передвигать станок волоком по горным выработкам. При необходимости электродвигатель станка может быть заменен пневматическим двигателем.

Колонка служит для установки станка на рабочем месте и закрепления его для бурения скважины в нужном направлении. При бурении горизонтальных и слабонаклонных скважин применяют колонки для горизонтального бурения, а при бурении вертикальных скважин — колонки для вертикального бурения. Колонки между собой различают по длине трубной стойки. Ручная лебедка служит для подъема станка при установке его на рукав и при изменении высоты закрепления на стойке.

Буровой став из отдельных свинченных между собой штанг предназначен для подачи пневмоударника в скважину, подвода к нему сжатого воздуха и создания крутящего момента. Став наращивают по мере проходки скважины и разбирают при подъеме инструмента из нее.

Для соединения вращающегося става штанг с рукавом, по которому подводится воздушно-водяная смесь для работы пневмоударника, имеется муфта.

Для бурения станок НКР100МА устанавливают в камеры. Горизонтальные и слабонаклонные скважины бурят из камер высотой 2,2 м и сечением 2,8×2,8 м. При бурении вертикальных скважин высота камеры должна быть 2,5—2,9 м. Если скважины бурят из выработок большой высоты, то колонка может быть установлена горизонтально. Перед началом работ кровля и стенки буровой камеры должны быть тщательно обобраны и при необходимости закреплены. После этого в камеру подводят электроэнергию, сжатый воздух и воду. В буровую камеру необходимо подавать воздух для проветривания в количестве не менее 6 м³/мин. Отработанный шлам необходимо удалять из камеры по канавкам или через дренажную скважину. Очень важно, чтобы грязь при работе не попадала внутрь штанг и в клапан пневмоударника. Штанги устанавливают на чистые стеллажи в вертикальном положении. Свечи при подъеме инструмента размещают на специальных подставках. После замены бурового инструмента буровой снаряд вновь вводят в скважину. Когда конец штанг подойдет к подающему патрону, спуск снаряда прекращают, наращивают новую свечу и снова продолжают спуск. Операцию повторяют до тех пор, пока пневмоударник не дойдет до забоя. После спуска штанг наворачивают муфту, включают агрегат и продолжают бурение.

Станок НКР100МА выпускает завод горного оборудования «Коммунист» (Кривой Рог) и имеет несколько модификаций.

Техническая характеристика станков типа НКР приведена ниже.

Тип станка	НКР100МА	НКР100МВА	НКР100МПА	НКР100МПВА
Диаметр буровых скважин, мм	105			
Глубина бурения скважин, м	50	80	50	80
Усилие подачи, кН	6	12	6	12
Ход подачи, м	0,365			
Тип двигателя	Электрический 4А100	Электрический 4М05	Пневматический ДАР14М	
Частота вращения бурового става, с <sup>-1</sup>	1,3		2	
Крутящий момент, Н·м	330			
Длина штанги, м	1,2			
Расход воздуха, м³/мин	9		15	
Расход воды, л/мин	15—20			
Длина станка, м	1,8			
Ширина станка	0,7			
Масса, кг	425	450	420	445

Применительно к горным условиям рудников на Лениногорском полиметаллическом комбинате был создан буровой станок ЛПС-3А (главный конструктор С. П. Юшко) (рис. 5.2), который предназначен для бурения скважин диаметром 150 мм на глубину до 35 м в любом направлении.

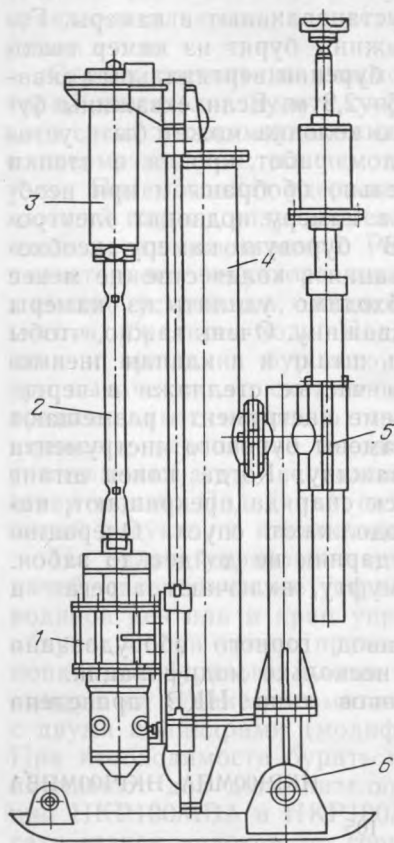


Рис. 5.2. Схема устройства станка ЛПС-3А:

1 — вращатель; 2 — буровой став; 3 — пневмоударник; 4 — податчик; 5 — распорная колонка; 6 — салазки

Механизм станка состоит из вращателя, погружного пневмоударника и комплекта буровых штанг. Вращатель с помощью пневматического цилиндра может перемещаться по салазкам, которые крепят к легкой раме. Раму при бурении распирают в кровлю с помощью пневмоцилиндра. Вращатель состоит из ротационного пневматического двигателя и планетарного редуктора. Наличие реверсивного вращателя позволяет механизировать процесс свинчивания и развинчивания штанг. Станок снабжен выносным пультом управления, который позволяет бурильщику находиться на некотором расстоянии от исполнительных механизмов, и вместе с тем это дает возможность одновременно управлять двумя агрегатами.

Буровой станок «Майнмастер». Для бурения скважин большого диаметра (121—165 мм) фирма «Ингерсол Рэнд» выпустила буровой станок «Майнмастер», который имеет вращатель с пневматическим приводом. Подача цепная, от поршневого пневматического двигателя. В рабочее положение автоподатчик приводится с помощью гидроцилиндра, а гидросистема в действие — от пневматического насоса. Станок используют для

бурения скважин, по которым подают в выработки материалы и гидравлическую закладку, перепускают руду и породу, прокладывают электрические кабели и др. Бурение ведут в две стадии. Сначала бурят скважину диаметром 121—165 мм, которую затем расширяют до 406 мм. Особенно эффективным оказалось применение скважин увеличенного диаметра при проведении восстанавливающих выработок взрывным способом. Например, на руднике «Бьют» затраты на проведение выработок этим способом снизились в 5,3 раза [48].

Благодаря применению штанг большого диаметра (102 мм), снаряд имеет повышенную жесткость, что позволяет бурить скважины агрегатом «Майнмастер» без существенных искривлений (отклонение 127 мм на глубине 60 м). Уменьшению искривлений также способствует жесткое раскрепление рамы станка в выра-

ботке с помощью гидравлических домкратов. Скважины расширяют станком сверху вниз или снизу вверх. Скорость расширения равна  $1/4$  скорости бурения первоначальной скважины.

### 5.3. Самоходные буровые станки для подземных разработок

Прошел промышленные испытания станок СБП-155/320 для бурения скважин диаметром 155 мм с последующим расширением до 320 мм. Станок (рис. 5.3) смонтирован на ходовом устройстве, имеющем две бортовые передачи. Каждая передача имеет свой привод, состоящий из пневмодвигателя ДАР-14 и червячной передачи. При необходимости буксировки станка колеса могут быть отсоединены от привода, в этом случае они свободно вращаются. В передней части станка есть кронштейн, на котором установлена рама податчика. Податчик поворачивается вокруг продольной оси станка на  $360^\circ$ , чем обеспечивается возможность бурения полного веера скважин. Податчик гидравлический, с удвоителем хода. Вращатель станка имеет двухступенчатый редуктор и два пневмодвигателя ДАР-5.

Особенностью вращателя является малая высота, благодаря параллельному расположению шпинделя и двигателей. Шестерня шпинделя выполнена фигурной, что дает возможность иметь масляную ванну для шестерен, без уплотнительных манжет, при конусообразном корпусе нижнего коренного подшипника. Во вращателе применены подшипники скольжения. Воздух в шпиндель подают через патрубок, который крепят к корпусу. Шпиндель вращателя оканчивается ниппелем, который имеет внешнюю правую и внутреннюю левую нарезки.

В нижней части станка установлены гидрозажим и шламоуловитель. Гидроключ в средней части податчика применяется для страгивания резьбы при разборке бурового става. Штанги на станке диаметром 114 мм обеспечивают жесткость снаряда, благодаря чему скважины имеют минимальное отклонение.

Перед бурением скважины раму станка раскрепляют с помощью четырех домкратов. В транспортное положение податчик переводят с помощью цилиндра подъема. Высота станка 1500 мм.

Гидронасос, питающий гидросистему, установлен между бортовыми передачами. Управление гидросистемой осуществляют от двух гидрораспределителей Р75-ВЗ. Вдоль левой бортовой передачи расположены три пневматических крана управления, с помощью которых производят подачу сжатого воздуха к пневмударнику, двигателю вращателя и двигателю гидросистемы. Маслбак гидросистемы расположен внутри бортовых передач.

Управление ходовыми двигателями осуществляют двумя кранами, находящимися в задней части станка. Сжатый воздух, поступающий к исполнительным механизмам, проходит через автомасленку. Станок обслуживает один человек.

Первоначально станком бурят пилотную скважину, диаметром 155 мм, а затем она проходится с помощью расширителя и



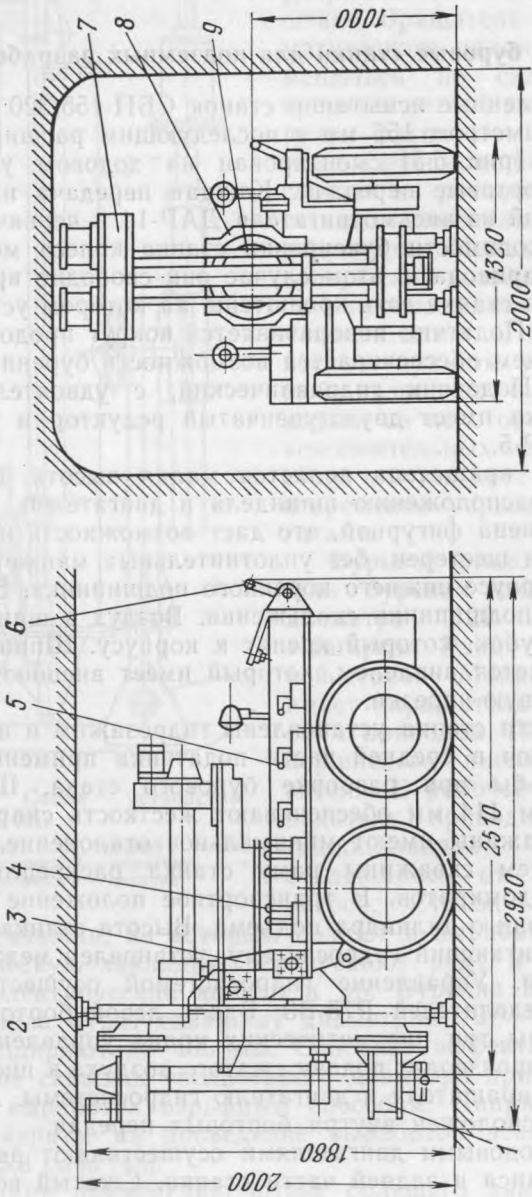


Рис. 5.3. Схема устройства станка СБП-155/320:

1 — гидрозжим; 2 — гидромотор; 3 — кронштейн; 4 — кривошип; 5 — пульт управления гидравликой; 6 — пульт управления пневматикой; 7 — пульт управления ходом; 8 — вращатель; 9 — подачник

получает диаметр 320 мм. Расширяют скважины как снизу вверх (рис. 5.4, а), так и сверху вниз (рис. 5.4, б).

Горная промышленность выдвинула требование создания станка для бурения скважин по кругу. Это связано с необходимостью проходить восстающие выработки взрывным способом без присутствия людей в забое. Первоначально бурят скважину в центре восстающего большого диаметра, а затем по кругам с различным радиусом — скважины меньшего диаметра. С этой целью спроектирован станок СБСП-56/320 (главный конструктор М. Г. Панков). Центральную скважину бурят в две стадии: вначале — диаметром 155 мм, а затем — диаметром 320 мм. Бурение производят с помощью пневмоударника. Отбойные скважины бурят радиально по контуру выработки. Параллельность бурения обеспечивается шарнирным устройством (рис. 5.5).

Во ВНИПИрудмаше (г. Кривой Рог) спроектирован станок 1БП-160, а НИПИГормашем (г. Свердловск) — станки БП-100С и БП-160С (ГОСТ 26698—85).

Фирма «Ингерсол Рэнд» выпустила серию станков (СММ-1 и СММ-2) для бурения скважин диаметром до 165 мм. С применением расширителей диаметр скважин увеличивают до 378 мм. Оба станка сходны по конструкции. Станок СММ-1 позволяет бурить скважины диаметром 101—165 мм, глубиной до 180 мм. При этом применяются пневмоударники, работающие при давлении до 2,4 МПа.

Станок имеет гусеничный ход. Для горизонтирования его вывешивают на четырех домкратах. Гидрораспределители привода хода находятся в задней части машины. Рама податчика имеет коробчатое сечение. Для подъема податчика в рабочее положение и обратно имеются гидродомкраты двойной раздвижности. Податчик может наклоняться вправо и влево от вертикали на 45°. Угол наклона оси податчика контролируют индикатором. В нижней части податчика имеется центратор с гидрозахватом.

Вращатель получает крутящий момент от двух гидравлических двигателей. «Плавающий шпиндель» со шлицами защищает шестерни от ударов, возникающих в штангах при бурении. Вращатель перемещается вдоль податчика с помощью гидроцилиндра двойной раздвижности. Гидронасос приводится в действие от

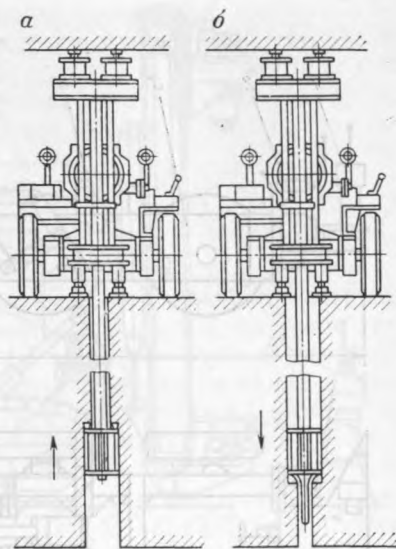


Рис. 5.4. Схемы расширения скважин станком СБСП-56/320

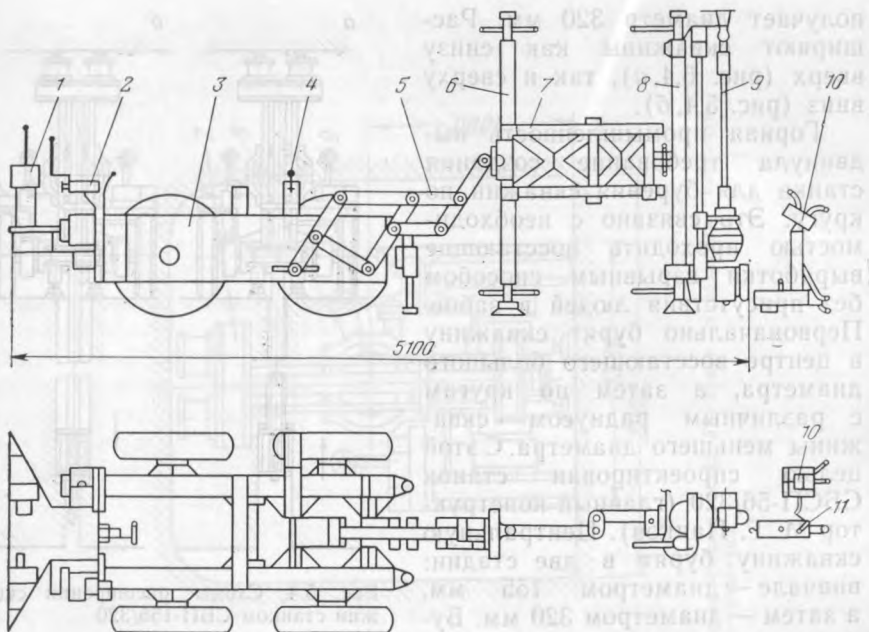


Рис. 5.5. Схема устройства станка СБСП-56/320:

1 — пульт управления гидросистемой; 2 — пульт управления ходом; 3 — ходовая рама; 4 — кран подачи воздуха; 5 — кулиса; 6 — стойка; 7 — шарнирное устройство; 8 — установочная стойка; 9 — бурильная машина; 10 — пульт управления; 11 — масленка

маломощного поршневого двигателя. Имеется система, автоматически поддерживающая оптимальный режим бурения по всей глубине скважины.

Привод гусеничного хода гидравлический: имеется тормоз, который обеспечивает надежное положение станка на уклонах, что повышает безопасность работ.

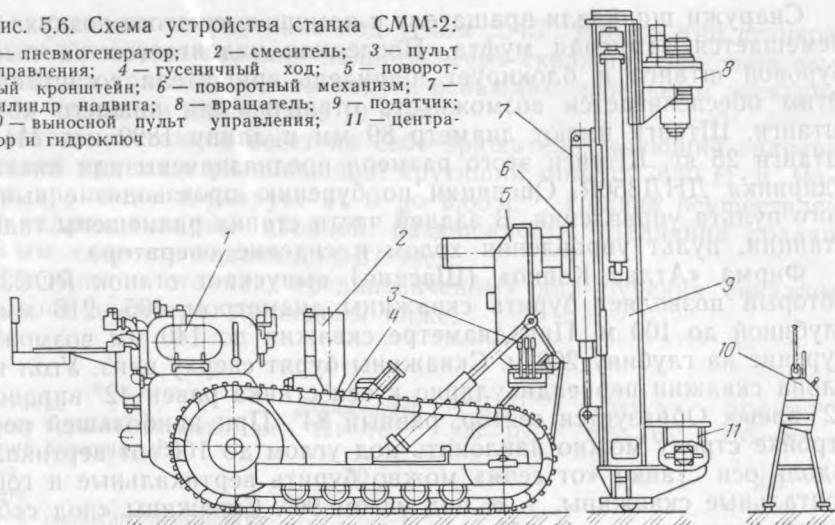
Необходимость бурения скважин кругового веера заставила фирму сконструировать модель станка СММ-2 (рис. 5.6). Особенно эффективно бурить скважины снизу вверх, при этом скорость бурения увеличивается вдвое.

Базой станка является гусеничный ход, имеющий клиренс 165 мм. Каждая гусеница имеет свой гидравлический привод мощностью 10,4 кВт. Гидронасос вращается пневматическим двигателем поршневого типа мощностью 12 кВт. Пневмодвигатель питается от сети при давлении 0,62 МПа. Уровень шума двигателя 98 ДБ. Гидронасос развивает давление до 22 МПа, тонкость очистки масла составляет 6 мкм. Скорость передвижения станка 1,2 км/ч.

В передней части станка установлен кронштейн, на котором укреплена ось податчика. Кронштейн имеет два гидроцилиндра перевода податчика из рабочего положения в транспортное. Он

Рис. 5.6. Схема устройства станка СММ-2:

1 — пневмогенератор; 2 — смеситель; 3 — пульт управления; 4 — гусеничный ход; 5 — поворотный кронштейн; 6 — поворотный механизм; 7 — цилиндр надвига; 8 — вращатель; 9 — податчик; 10 — выносной пульт управления; 11 — центратор и гидроключ



также несет на себе механизм поворота податчика вокруг горизонтальной оси, поворот совершается на  $360^\circ$ . Бурение «под себя» возможно осуществлять под углом  $20^\circ$ .

Рама податчика изготовлена из швеллеров. В верхней части рамы находится вращатель. Вращатель вдоль рамы перемещается гидравлическим цилиндром двойной раздвижности. Усилие подачи составляет 80 кН, что позволяет бурить скважины вниз глубиной до 180 м и вверх до 50 м. Скорость подачи варьирует от 0 до 0,35 м/с. Величина подачи 2083 мм.

В нижней части податчика установлен гидроключ, который удерживает став штанг при производстве спуско-подъемных операций. Также имеется центратор, который позволяет придать точное направление скважине при забуривании. Сзади рамы податчика установлен цилиндр, с помощью которого раму надвигают на почву и опирают на нее конический башмак. С боков рамы податчика установлены домкраты с ходом поршня 1,2 м, которые надежно раскрепляют раму податчика в кровлю выработки при бурении вниз. При бурении вверх места раскрепления меняются.

Шпиндель вращателя приводится в движение от гидродвигателя переменной мощности (от 0 до 10,4 кВт). В сочетании крутящего момента и осевого усилия можно установить наиболее выгодный режим бурения. Редуктор вращателя имеет передаточное отношение 5:1. Масса вращателя составляет 295 кг. Максимальный крутящий момент, развиваемый вращателем, равен 2170 Н·м. Частота вращения меняется от 0 до  $1,4 \text{ с}^{-1}$ . Во вращателе, благодаря большому объему гидравлической жидкости, осуществлен «буферный эффект», который поглощает вибрацию, передаваемую от пневмоударника буровому ставу.

Снаружи шпинделя вращателя с помощью сжатого воздуха перемещается замковая муфта. Последняя надвигается на лыски буровой штанги и блокирует шпиндель вращателя со штангой. Этим обеспечивается возможность отвинчивания нижнего конца штанги. Штанги имеют диаметр 89 мм и длину 1829 мм. Масса штанги 25 кг. Штанги этого размера предназначены для пневмоударника ДНД350R. Операции по бурению производят с выносного пульта управления. В задней части станка размещены гидростанция, пульт управления ходом и сидение оператора.

Фирма «Атлас Копко» (Швеция) выпускает станок ROC306, который позволяет бурить скважины диаметром 105—216 мм и глубиной до 100 м. При диаметре скважин до 140 мм возможно бурение на глубину 200 м. Скважины бурят сверху вниз. Угол наклона скважин перпендикулярно к оси станка равен  $42^\circ$  вправо и  $42^\circ$  влево. Образуется сектор, равный  $84^\circ$ . При наибольшей перестройке стрелу можно наклонить под углом до  $100^\circ$  от вертикали. Вдоль оси станка «от себя» можно бурить вертикальные и горизонтальные скважины, т. е. под углом  $90^\circ$ . Скважины «под себя» имеют угол наклона до  $45^\circ$ .

Для облегчения наращивания и разборки бурового става на станке предусмотрено два захвата: один из них неподвижный и второй подвижный для страгивания резьбы.

Станки позволяют бурить скважины пневмоударниками при давлении сжатого воздуха до 2,4 МПа. Вращатель на станке пневматический, развивает крутящий момент 4000 Н·м. Он может работать как на высоком, так и на низком давлении.

Фирма «Мишн» в США для бурения скважин большого диаметра выпускает станок «Мегамастик 6200-D», который позволяет бурить скважины диаметром 152—203 мм погружными пневмоударниками. Это один из самых мощных станков, выпускаемых за рубежом. Он имеет гусеничный ход. Для перемещения станка служит дизельный двигатель мощностью 32 кВт. Податчик цепной, скорость подачи вращателя 0—0,25 м/с, величина подачи 2 м, усилие подачи 4,9 т. На вращателе установлены два гидродвигателя, обеспечивающие крутящий момент 3420 Н·м при частоте вращения 0—0,7 с<sup>-1</sup>.

Отличительной особенностью станка является применение шлицевой разъемной системы соединения штанг, что позволяет производить спуско-подъемные операции без применения ключей.

Пневмоударник на станке применен типа «Мегадрилл». Станок получает воздух для пневмоударника от компрессорной станции при давлении 1,75 МПа. Компрессорная станция имеет два компрессора с подачей 22,6 м<sup>3</sup>/мин каждый. Мощность двигателя на компрессоре 32 кВт. Масса станции 2948 кг. Станция снабжена салазками для передвижения и во время работы вывешивается на домкратах.

Канадская фирма «Континиоуз Майнинг системс Лимитед» (КМЛ) выпускает для бурения скважин пневмоударниками два типа станков СД-90 и СД-360. Первый тип станков позволяет бу-



ритель скважины сверху вниз под углом  $\pm 45^\circ$ . Второй тип станков приспособлен для бурения полного веера скважин. Оба типа выпускают на колесно-шинном ходу и оснащают дизельным электрическим приводом мощностью 19 кВт.

Податчик станков несет на себе вращатель, имеющий гидравлический привод и развивающий крутящий момент 7650 Н·м. Частота вращения варьирует от 0 до 0,65 с<sup>-1</sup>. Подача осуществляется гидроцилиндром двойной раздвижности. Величина подачи 1753 мм, скорость подачи до 0,37 м/с.

Сведения о станках, предназначенных для бурения скважин большого диаметра, приведены ниже.

Тип станка	Майнмастер	CMM-1	CMM-2	ROC-306
Диаметр буримых скважин, мм	121—165	105—165	105—165	105—216
Глубина бурения, м:				
вниз	60	180	180	100
вверх	—	—	50	—
Наклон скважин перпендикулярно к продольной оси, градус	$\pm 15$	$\pm 45$	360	$\pm 42$
Наклон скважин вдоль продольной оси, градус	$\pm 90-15$	$+90-30$	$+90-30$	$+90-45$
Длина штанги, м	1,52	1,52	1,83	1,5
Основные размеры, м:				
длина с поднятым податчиком	3,05	3,32	3,45	3,2
длина с опущенным податчиком	3,47	4,15	3,89	3,4
ширина	0,76	1,4	1,37	1,4
высота с поднятым податчиком	3,05	3,45	3,28	3,4
высота с опущенным податчиком	1,07	2,22	1,99	2,1
масса, кг	1723	4860	5450	3900
Фирма	Ингерсол	Рэнд		Атлас Копко
Страна		США		Швеция

Тип станка	Мегаматик 6200-D	СД-90	СД-360	АСМ-10Н
Диаметр буримых скважин, мм	152—203	190—203	190—203	152—165
Глубина бурения, м:				
вниз	60,9	228	228	53
вверх	60,9	—	192	—
Наклон скважин перпендикулярно к продольной оси, градус	360	$\pm 45$	360	$\pm 15$
Наклон скважин вдоль продольной оси, градус	$+90-30$	$+90-30$	$+90-30$	Н. д.
Длина штанги, м	1,8	1,5	1,5	1,5
Основные размеры, м:				
длина с поднятым податчиком	2,7	—	—	3,6
длина с опущенным податчиком	3,7	—	—	4,1
ширина	1,8	—	—	1,4
высота с поднятым податчиком	3,4	—	—	3,4

высота с опущенным подат- чиком . . . . .	2,3	—	—	2,1
масса, кг . . . . .	9400	4114	4876	Н. д.
Фирма . . . . .	Мишн		КМЛ	Джой
Страна . . . . .	США		Канада	США

Питание станков сжатым воздухом при давлении до 0,7 МПа производится от сети. Для получения высокого давления (до 2,4 МПа) применяют дожимные компрессоры, которые получают воздух от сети и повышают его до давления 1,8 или 2,4 МПа. Дожимные компрессоры имеют винтовое и поршневое исполнение, приводятся во вращение от электрических двигателей и устанавливаются непосредственно на месте бурения. Например, дожиматели фирмы «Ингерсол Рэнд» типа НІРАС при давлении воздуха 1,207; 1,379 и 1,724 МПа имеют подачу соответственно 24,6; 24,5 и 24,4 м<sup>3</sup>/мин.

Установленная мощность электрического двигателя 67 кВт. Масса дожимного компрессора 3153 кг. Компрессор устанавливают на салазках, на которых монтируют еще радиатор, маслоохладитель, ресивер. Размеры такой установки 5,1×2,4×1,7 м.

К станку подходит три рукава: один высокого давления, один нормального давления и водяной. Сжатый воздух высокого давления подается только на пневмоударник. Все вспомогательные двигатели работают на нормальном давлении.

Средняя наработка на отказ станка СММ-2 составила 420 м, среднее время восстановления отказа 1,4 ч, трудоемкость восстановления 3,5 ч. Для компрессора получены следующие показатели надежности: наработка на отказ 440 ч, время восстановления отказа 3 ч, трудоемкость восстановления отказа 4,5 ч.

При работе станка было зафиксировано: содержание пыли в атмосфере 25 мг/м<sup>3</sup>, уровень шума 101ДБ, содержание масла в атмосфере находилось в пределах нормы.

#### 5.4. Буровые станки с погружными пневмоударниками для открытых разработок

Бурение скважин на открытых разработках станками с погружными пневмоударниками имеет ряд преимуществ. Основные из них следующие:

- разрушение породы в процессе бурения производят ударным механизмом, не требующим большого давления на забой скважины, вследствие чего момент, необходимый для вращения инструмента, так же незначителен, что позволяет иметь станки малой массы и бурить скважины с минимальными искривлениями;

- ударный механизм прост и надежен в работе;

- скорость бурения мало зависит от глубины скважины;

- бурение производят сравнительно недорогим инструментом;

станки просты по устройству и удобны в обслуживании.

В табл. 5.1 даны основные параметры станков ударно-вращательного бурения с погружными пневмоударниками.

Новый ГОСТ 26698—85, по которому станки должны выпускаться с января 1989 г., регламентирует следующие показатели для станков типа СБУ.

Диаметр скважины, мм . . . . .	100	125	160
Глубина бурения вертикальных скважин, м, не менее . . . . .	32	52	32
Ресурс до первого капитального ремонта, ч, не менее . . . . .	630	750	
Техническая производительность, м/ч, не менее, в породах:			
$f = 10 \div 12$ . . . . .			18
$f = 12 \div 14$ . . . . .			15
$f = 14 \div 16$ . . . . .			12
$f = 16 \div 18$ . . . . .			10

Заводами выпускается серия станков для открытых разработок.

Станок СБУ-100П позволяет бурить скважины диаметром 100 мм, глубиной 24 м. Крепость буримых пород 6—20. Станок имеет колесно-шинный ход. Рабочий орган состоит из пневмоударника, вращателя, податчика и механизма заваливания матчы. Система сухого пылеулавливания обеспечивает надежное пылеподавление. Вариант станка на гусеничном ходу выпускают под маркой СБУ-100Г (рис. 5.7).

Буровой станок СБУ-125-24 сконструирован НИПИГормашем. Он позволяет бурить скважины диаметром 105—125 мм на глубину 24 м. Станок состоит из ходовой части гусеничного типа, матчы, вращателя, бурового става, пневмоударника, кассетирующего устройства, механизма подачи, кабины с пультом управления, гидросистемы, пневмосистемы, электрооборудования и системы пылеподавления. От двигателя имеется отбор мощности на маслонасосную станцию. Вращатель бурового става состоит из планетарного редуктора и двухскоростного двигателя. Кассета станка вмещает восемь штанг длиной по 3 м. В нижней части матчы имеются люнет и гидрозажимы. Для страгивания резьбы бурового става служит ключ с гидроцилиндром. Станок оборудован цепным

ТАБЛИЦА 5.1

Тип станка	Диаметр скважины, мм	Глубина бурения скважины, м	Масса станка (не более), т	Тип привода станка	Преимущества области применения по коэффициенту крепости пород
СБУ-125	105; 125	24	5	Дизельный	10—16
СБУ-160	160	32	16	Электрический	12—18
СБУ-200	200	32	35	То же	12—18

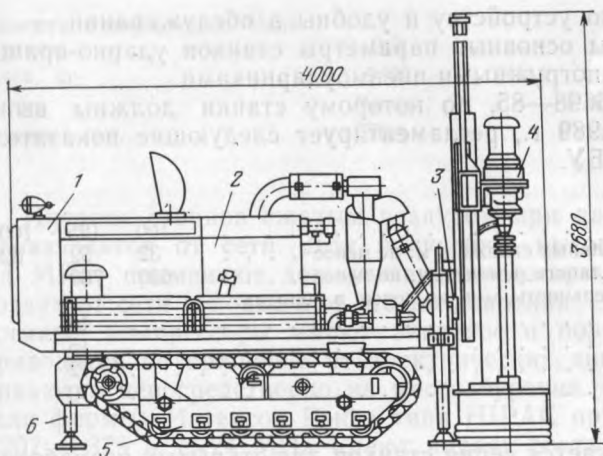


Рис. 5.7. Общий вид бурового станка СБУ-100Г:

1 — приводная часть; 2 — система пылеудаления; 3 — податчик; 4 — вращатель; 5 — гусеничный ход; 6 — домкрат

автоподатчиком с червячным редуктором. Привод податчика пневматический.

Система сухого пылеулавливания состоит из циклона, четырех мультициклонов и матерчатого фильтра. Станок питается сжатым воздухом от передвижного компрессора. Станок модернизирован и будет выпускаться под маркой СБУ-125А-32 (главный конструктор С. М. Трофимов).

Более мощный станок СБУ-125У-52 (рис. 5.8) позволяет бурить скважины глубиной до 52 м. Скважины диаметром 125 мм бурят пневмоударниками, а диаметром 160 мм — резцовыми коронками. Станки указанных выше типов применяются на карьерах малой мощности для отбойки руды, экранирования взрывов, отстройки бортов карьеров. Целесообразно их применение на карьерах по добыче строительных материалов. Имеется переносной вариант этих станков СБУ-100Н (главный конструктор С. И. Леваков). Его применяют в местах, где применение самоходных установок затруднено. Сведения о станках с пневмоударниками приведены ниже (данные В. А. Зимина, Ю. А. Данкова, В. М. Глаголева).



Рис. 5.8. Станок СБУ-125У-52

Тип станка . . . . .	СБУ-100Г-35	СБП-100П-35	
Условный диаметр скважины, мм	105; 125	105; 125	
Глубина бурения, м, не менее . .	35	35	
Угол наклона скважины к вертикали, градус . . . . .	0; 15; 30	0; 15; 30	
Модель пневмоударника . . . . .	П-105С; П-125	П-105С; П-125	
Способ установки и уборки буровых штанг . . . . .		Ручной	
Установленная мощность на станке, кВт . . . . .	24	24	
Тип применяемого компрессора	ПВ-10	ПВ-10	
Частота вращения бурового става, с <sup>-1</sup> . . . . .	0,77	0,77	
Номинальный крутящий момент, Н·м . . . . .	830	830	
Предел усилия подачи, кН, не менее:			
вверх . . . . .	6	6	
вниз . . . . .	8,5	8,5	
Длина хода подачи, мм . . . . .	1050	1050	
Скорость подачи, м/мин . . . . .	0—60	0—60	
Диаметр штанги, мм . . . . .	89	89	
Длина штанги, мм . . . . .	950	950	
Масса штанги, кг . . . . .	10,8	10,8	
Число штанг в комплекте или кассете . . . . .	30	30	
Тип ходовой части . . . . .	Гусеничный	Пневмоколесный	
База, мм . . . . .	1520	1320	
Клиренс, мм . . . . .	250	265	
Ширина, мм . . . . .	1880	1510	
Давление на грунт, МПа . . . . .	0,055	—	
Скорость передвижения, км/ч . . . . .	0,83	1,05	
Преодолеваемый уклон, градус . . . . .	20	20	
Подача вентилятора, м <sup>3</sup> /мин . . . . .	20	20	
Площадь фильтров тонкой очистки, м <sup>2</sup> . . . . .	2,4	2,4	
Основные размеры станка в транспортном положении, мм:			
длина . . . . .	4000	4000	
ширина . . . . .	2300	2300	
высота . . . . .	2340	2400	
Масса станка, т . . . . .	5	4	
Тип станка . . . . .	СБУ-100Н-35	СБУ-125А-32	СБУ-125У-52
Условный диаметр скважины, мм	105	100; 125	125; 160
Глубина бурения, м, не менее . . . . .	35	32	52
Угол наклона скважины к вертикали, градус . . . . .	0; 15; 30	0; 15; 30	0—45
Модель пневмоударника . . . . .	П-105С	П-125	П-125
Способ установки и уборки буровых штанг . . . . .	Ручной	Механизированный	
Установленная мощность на станке, кВт . . . . .	4	40	90
Тип применяемого компрессора	ПВ-10	ПВ-10	ПВ-10
Частота вращения бурового става, с <sup>-1</sup> . . . . .	0,77	0,375; 0,75	0,52—1,04; 1,04—1,5; 1,5—2,25



Номинальный крутящий момент, Н·м . . . . .	830	2500	3000
Предел усилия подачи, кН, не менее:			
вверх . . . . .	6	25	50
вниз . . . . .	8,5	25	70
Длина хода подачи, мм . . . . .	1050	4000	4250
Скорость подачи, м/мин . . . . .	0—60	0—25	0—25
Диаметр штанги, мм . . . . .	89	89	89
Длина штанги, мм . . . . .	950	4000	4250
Масса штанги, кг . . . . .	10,8	53	90
Число штанг в комплекте или кас- сете . . . . .	30	8	14
Тип ходовой части . . . . .	Салазки	Гусеничный	
База, мм . . . . .	2275	1800	2170
Клиренс, мм . . . . .	—	250	250
Ширина, мм . . . . .	1000	1600	2140
Давление на грунт, МПа . . . . .	—	0,09	0,09
Скорость передвижения, км/ч . . . . .	0,76	0,9	0,9
Преодолеваемый уклон, градус . . . . .	—	15	15
Подача вентилятора, м <sup>3</sup> /мин . . . . .	—	20	—
Площадь фильтров тонкой очи- стки, м <sup>2</sup> . . . . .	—	2,4	—
Основные размеры станка в транс- портном положении, мм:			
длина . . . . .	2620	4200	5500
ширина . . . . .	1000	3020	3200
высота . . . . .	1080	7100	2100
Масса станка, т . . . . .	0,5	9	13,5

### 5.5. Зарубежные станки с пневмоударниками для открытых разработок

В зарубежной практике буровые станки с пневмоударниками широко применяют как при добыче руд, так и в строительстве. Станки выпускают на устройствах, имеющих гусеничный или пневмоко-лесный ход. Последнему отдается предпочтение. Тяжелые станки имеют собственные компрессорные станции, легкие питаются сжа-тым воздухом от передвижных компрессоров. Характерным явля-ется применение компрессоров с повышенным давлением сжатого воздуха (до 2,46 МПа).

Диаметр буримых скважин 127—317 мм. Для вращения сна-ряда используют гидропривод, позволяющий в широком диапазоне регулировать частоту вращения. Подача штанг так же гидравли-ческая, что позволяет регулировать давление на инструмент в ши-роких пределах. Применяются автоматы, позволяющие регулиро-вать величину подачи бура в зависимости от крепости породы. Все станки снабжают кассетой для подачи штанг при наращивании или подъеме бурового става. Установка очередной штанги зани-мает 1 мин.

За рубежом наибольшие успехи в деле создания станков такого типа достигла фирма «Ингерсол Рэнд» (США). Она выпускает

Тип станка	T4	T5	DM-35-SPH	DM-45	S695H	Ротамек-1302
Диаметр скважин, мм	127—203	229—251	165	203	152—228	143—200
Глубина бурения скважин, м	47	59	20	47	Н. д.	30
Угол наклона скважин от вертикали, градус	0—30	0—30	0—30	0—30	0—25	0—30
Частота вращения бурового става, с <sup>-1</sup>	0—1,9	Н. д.	0—2,1	0—2,7	0—2,1	0,1—1,3
Крутящий момент, кН·м	5,7	9,5	11,6	7,3	10,2	12,5
Усилие подачи, кН	168	272	159	204	180	130
Длина подачи, м	8	8	8	8	10,18	6
Подача компрессора, м <sup>3</sup> /мин	36	29,7	17	25,5	28,3	21
Давление сжатого воздуха, МПа	2,46	2,46	1,76	2,46	1,8	2
Тип ходовой части	Автомашина	Автомашина	Гусеничный	Гусеничный	Гусеничный	Автомашина
Мощность привода компрессора, кВт	370	250	230	370	391	300
Масса, т	22	37	29,5	31,8	41	21,4
Фирма		Ингерсол Рэнд	США	США	Шрамм Атлас	Копко
Страна		США	США	США	США	Швеция
Тип станка	Ротамек-1702	Ротамек-1802	Ротамек-2202	НВМ-70	НВМ-160-SP	
Диаметр скважин, мм	143—200	152—229	152—250	65—130	130—129	
Глубина бурения скважин, м	24	53	46	44	20	
Угол наклона скважин от вертикали, градус	0—30	0—30	0—30	0—25	0—20	
Частота вращения бурового става, с <sup>-1</sup>	0,1—1,3	0,1—1,3	0,1—1,4	2,7—1,3	0—2,7	
Крутящий момент, кН·м	12,6	12,5	12,6	5,1	4,27	
Усилие подачи, кН	170	175	218	70	52	
Длина подачи, м	7,6	7,6	7,6	4	6,9	
Подача компрессора, м <sup>3</sup> /мин	21	33	33	8,5	20	
Давление сжатого воздуха, МПа	2	2	2,1	1,2	1,7	
Тип ходовой части	Гусеничный	Автомашина	Гусеничный	Гусеничный	Гусеничный	
Мощность привода компрессора, кВт	300	420	420	54	272	
Масса, т	28,8	28,4	40,7	14	42	
Фирма	Атлас Копко	Автомашина	Атлас Копко	Хавзгерр	ФРГ	
Страна	Швеция	Швеция	Швеция	ФРГ	ФРГ	

пять типоразмеров станков. Станок «Т-5 Дриллмастер» имеет колесно-шинный ход. Его механизмы смонтированы на трехосном автомобиле. Мачта высотой 12,2 м позволяет применять штанги длиной 7,32 м. Машиной можно бурить скважины глубиной до 59 м, диаметром 229—251 мм. На станке установлен компрессор с подачей 25,5 м<sup>3</sup>/мин сжатого воздуха при давлении 1,75 МПа. При бурении мягких пород станок снабжается шарошечным долотом и используется как вращательный. При бурении крепких пород применяют пневмоударники. Нарращивание буровых штанг механизировано. Запасные штанги находятся в кассете. Управление станком производят из кабины машиниста, где расположен основной пульт управления. Этот пульт позволяет управлять всеми механизмами станка. Имеется также переносной пульт, с которого управление производится исполнительными механизмами. Кабина имеет систему очистки и кондиционирования воздуха.

Появились станки с удлиненной мачтой. Так, станки ДМ35-SPH и ДМ35-SP позволяют бурить скважины за один проход штанги глубиной 19,8 м. Аналогичные универсальные станки выпускают также фирмы «Хаузгерр» и «Болер».

Фирма «Атлас Копко» выпускает четыре типа станков для бурения пневмоударниками типа Ротамек. Станки позволяют бурить скважины диаметром 143—250 мм и глубиной 30—53 м.

## 5.6. Конструкции пневмоударников

Пневмоударники изготовляют двух типов: с индексом П для открытых горных работ и с индексом ПП для подземных горных работ. Цифра, стоящая за буквами, указывает на диаметр скважины в миллиметрах, а следующая за ними — ударную мощность в киловаттах. Наиболее удачные конструкции пневмоударников были разработаны в ИГД СО АН СССР под руководством д-ра техн. наук Б.В. Суднишникова. Базовой конструкцией был пневмоударник М1900 [48].

В 1962 г. СО АН СССР совместно с Кыштымским машиностроительным заводом был разработан пневмоударник ПП-105-2,4 (М-48) для бурения скважин диаметром 105 мм (рис. 5.9) (глав-

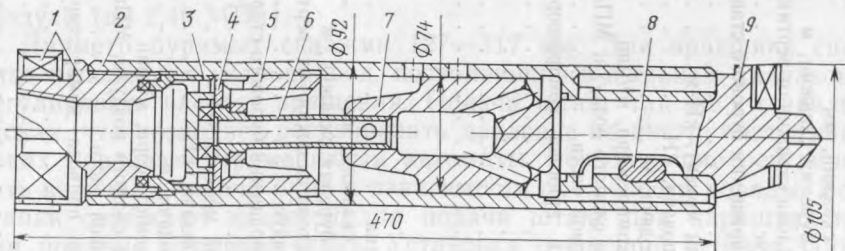


Рис. 5.9. Пневмоударник ПП-105-2,4 (М-48):

1 — переходник; 2 — цилиндр; 3 — крышка; 4 — клапан; 5 — клапанная коробка; 6 — трубка; 7 — ударник; 8 — шпонка; 9 — долото

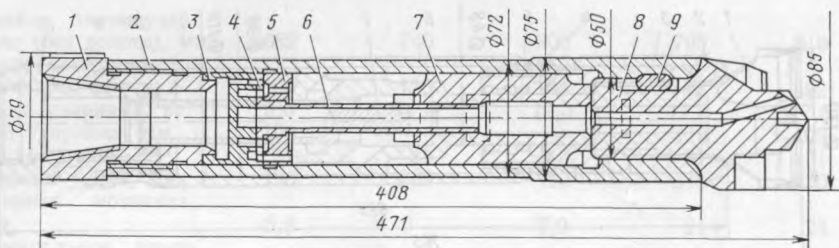


Рис. 5.10. Пневмоударник М29Т:

1 — переходник; 2 — корпус; 3 — коробка клапана; 4 — клапан; 5 — крышка клапанной коробки; 6 — трубка; 7 — ударник; 8 — долото; 9 — шпонка

ные конструкторы Г. Н. Суксов, Л. Н. Семенов, Н. Н. Есин). Действуют механизмы пневмоударника следующим образом [46].

Энергоноситель, поступающий через переходник с помощью распределительного устройства с кольцевым клапаном, подается через трубку и канал ударника в камеру обратного хода. В камеру прямого хода воздух поступает из-под клапана. Выхлоп осуществляется через окна, находящиеся в цилиндре. Воздух для очистки забоя скважины поступает из камеры обратного хода. При снижении усилия подачи долото отходит вперед, открывая блокировочные окна. В этот момент работа ударного механизма прекращается и происходит интенсивная продувка скважины.

По такой же схеме выполнен пневмоударник М29Т (рис. 5.10), который предназначен для бурения скважин диаметром 85 мм.

К числу удачных конструкций следует отнести пневмоударник ПП-105-2,2 (П1-75) (рис. 5.11) Криворожского НИГРИ (главный конструктор А. Ф. Пономарчук). Воздухораспределение в механизме золотниковое. Особенностью воздухораспределения является наличие уширений на внутренних стенках цилиндра.

НИПИГормашем совместно с ИГД СО АН СССР создана серия пневмоударников оригинальной конструкции (рис. 5.12) для бурения скважин диаметром 105—200 мм (конструкторы Л. В. Белавин, Л. П. Кожевников, В. Д. Петухов, А. С. Курдюков). Пневмоударник имеет золотниковое воздухораспределение по схеме

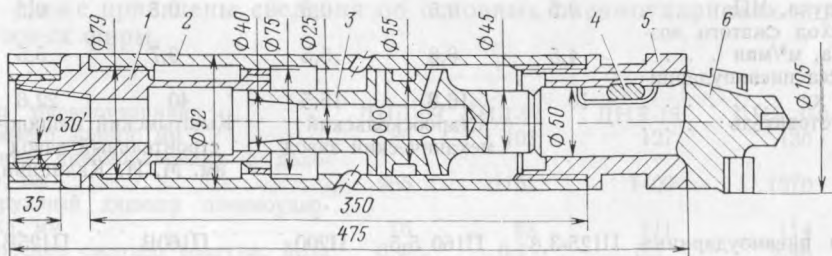


Рис. 5.11. Пневмоударник ПП-105-2,2 (П1-75):

1 — переходник; 2 — цилиндр; 3 — ударник; 4 — шпонка; 5 — головка; 6 — долото

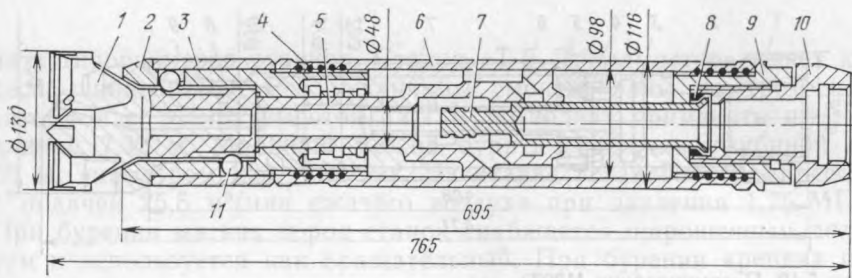


Рис. 5.12. Пневмоударник П125-2,8:

1 — долото; 2 — букса; 3 — кольцо; 4 — проволока; 5 — ударник; 6 — цилиндр; 7 — распределительная трубка; 8 — седло; 9 — nipple; 10 — переходник; 11 — шарик

«золотник на поршне». Весь отработанный воздух из рабочих цилиндров проходит к забою скважины через центральное отверстие в долоте, что позволяет хорошо очищать забой скважины. Детали пневмоударника соединяют с помощью винтовых соединений с проволоочной вставкой. Долото в буксе крепят с помощью байонетного соединения, основанного на применении стальных шариков. Сведения о пневмоударниках приведены ниже.

Тип пневмоударника	М-29Т	ПП-105-2,4 (М48)	ПП-105-2,2 (П1-75)	П-155-4,1 (М-32К)	П-105-2,6
Диаметр долота, мм	85	105	105	155	105
Наружный диаметр пневмоударника, мм	68	92	92	140	96
Длина пневмоударника (без долота), мм	408	475	455	487	657
Внутренний диаметр цилиндра, мм	54	74	75	100	82
Масса ударника, кг	1,75	2,8	3,2	5,5	3,0
Ход ударника, мм	76	72	55	70	—
Число ударов, с <sup>-1</sup>	25	28	32,5	30	27
Энергия удара, Дж	54	93,2	73,5	140	96
Ударная мощность, кВт	1,73	2,4	2,2	4,3	2,6
Номинальное давление (рабочее) сжатого воздуха, МПа	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	4,5	6,8	5,5	9,7	5,5
Масса пневмоударника, кг	10	16,8	15,5	40	22,6
Изготовитель		Старооскольский механический завод		Кыштымский машиностроительный завод им. М. И. Калинина	

Тип пневмоударника	П125-3,8	П160 5,5	П200	П160В	П125В
Диаметр долота, мм	125	160	200	160	125
Наружный диаметр пневмоударника, мм	112	140	175	145	112



Длина пневмоударника (без долота), мм	652	740	900	790	819
Внутренний диаметр цилиндра, мм . . . . .	90	120	148	122	92
Масса ударника, кг	5,6	11,3	19,3	11,3	17,5
Ход ударника, мм	100	—	—	115	105
Число ударов, с <sup>-1</sup>	21	21	10	31	31
Энергия удара, Дж	190	280	420	340	770
Ударная мощность, кВт . . . . .	3,8	6	7,9	24	24
Номинальное давление (рабочее) сжатого воздуха, МПа . . . . .	0,5	0,5	0,5	1,7	1,7
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин . . . . .	7,0	12	18	24	24
Масса пневмоударника, кг . . . . .	30	57	110	52	39
Изготовитель . . . . .	Кыштымский машиностроительный завод им. М. И. Калинина				

За рубежом погружные пневмоударники выпускают в Швеции, США, Франции, ФРГ, Канаде, Японии, Великобритании, Бельгии.

В США пневмоударники выпускают фирмы «Ингерсол Рэнд», «Гарднер Денвер», «Мишн», «Джой» и др. [48].

Фирма «Ингерсол Рэнд» производит серию пневмоударников для бурения скважин диаметром 85—762 мм. Все пневмоударники этой фирмы имеют сходную конструкцию (рис. 5.13). Они рассчитаны на давление сжатого воздуха в сети 0,703; 0,815 и 1,76 МПа.

Фирма «Мишн» выпускает пневмоударники, работающие при давлении 0,7; 1,7 и 3,4 МПа. Воздухораспределение осуществляется поршнем. Отличительной особенностью пневмоударника является наличие центрального воздухоподводящего стержня с системой каналов и окон [48].

Шведская фирма «Атлас Копко» освоила выпуск пневмоударников под индексом COP-42; COP-62; COP-6МК2; COP-4МК2. Этими механизмами бурят скважины диаметром 105—216 мм. Особенностью пневмоударников зарубежных фирм является применение повышенного давления сжатого воздуха. Для этих условий выпускаются пневмоударники, работающие по схеме «золотник на поршне» (рис. 5.14).

Ниже приведены сведения об основных пневмоударниках зарубежных фирм.

Тип пневмоударника . . . . .	ДНД-09	ДНД-24	ДНД-15	ДНД-350
Диаметр долота, мм . . . . .	85	102	127	130
Длина пневмоударника с долотом, мм . . . . .	965	1151	1409	1570
Наружный диаметр пневмоударника, мм . . . . .	76	93	111	114
Давление сжатого воздуха, МПа	0,7	0,7	0,7	2,46
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	3,5	5,5	6,8	2,2
Масса, кг . . . . .	24	33	59	69
Фирма, страна . . . . .	Ингерсол Рэнд, США			

Рис. 5.13. Пневмоударник фирмы «Ингерсол Рэнд»:

1 — хвостовик; 2 — обратный клапан; 3 — корпус; 4 — гильза; 5 — ударник; 6 — рабочая часть долота; 7 — хвостовик долота; 8 — шлицы на долоте

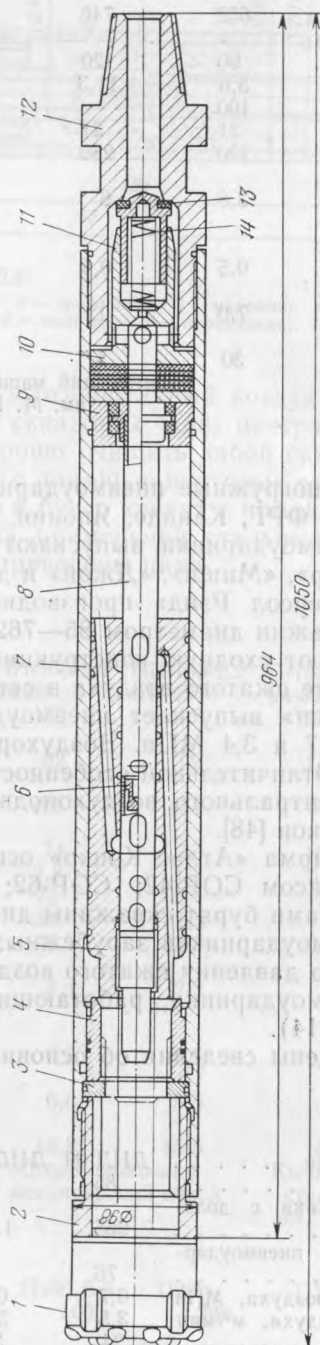
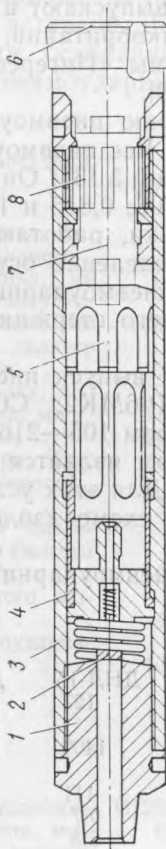


Рис. 5.14. Пневмоударник фирмы «Атлас Копко»:

1 — долото; 2 — боек; 3 — полужобило; 4 — втулка; 5 — ударник; 6 — перегородка; 7 — цилиндр; 8 — трубка; 9 — ярмо; 10 — крышка; 11 — стакан; 12 — переходник; 13 — обратный клапан; 14 — пружина

Тип пневмоударника . . . . .	ДНД-160	ДНД-380	ДНД-120	ДНД-130	
Диаметр долота, мм . . . . .	152	200	508	762	
Длина пневмоударника с долотом, мм . . . . .	1295	1770	2440	2440	
Наружный диаметр пневмоударника, мм . . . . .	137	180	457	689	
Давление сжатого воздуха, МПа	2,46	1,76	0,815	0,87	
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	31	30	68	76	
Масса, кг . . . . .	97	177	2020	5130	
Фирма, страна . . . . .	Ингерсол Рэнд, США				
Тип пневмоударника . . . . .	СОР-42	СОР-62	ДД-2В	ДД-6А	ДД-18А
Диаметр долота, мм . . . . .	105	152	60	152	510
Длина пневмоударника с долотом, мм . . . . .	960	1290	785	1405	2330
Наружный диаметр пневмоударника, мм . . . . .	—	—	56	137	460
Давление сжатого воздуха, МПа	1,8	1,8	1,05	1,05	1,05
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	19	35	2,5	16	75
Масса, кг . . . . .	35	93	10	96	1900
Фирма, страна . . . . .	Атлас Копко, Швеция			Кокен, Япония	

## 5.7. Пневмоударные расширители

Пневмоударные расширители применяют для получения скважин большого диаметра. Первоначально бурят скважину диаметром 105—160 мм. Затем с помощью расширителя скважины доводят до нужных размеров. Расширение производят как сверху вниз, так и снизу вверх. Расширение снизу вверх более эффективно благодаря лучшей очистке забоя скважины. В то же время обслуживание процесса расширения усложняется, так как инструмент находится на противоположном конце скважины.

Различают расширители одинарные и групповые. Одинарные расширители получают силовой импульс от одного пневмоударника на всю поверхность обрабатываемого забоя. Групповые расширители состоят из нескольких пневмоударников. Одинарные расширители могут иметь самостоятельное вооружение или оснащаться серийно выпускаемыми долотами.

На рис. 5.15 показан групповой расширитель фирмы «Ингерсол Рэнд», состоящий из двух пневмоударников. Пневмоударники крепят к траверсе, через которую сжатый воздух поступает из сети по буровой штанге. Имеются расширители, состоящие из девяти пневмоударников, которые позволяют бурить скважины диаметром до 762 мм. Недостатком таких расширителей является асинхронная (произвольная) работа ударных механизмов, что является источником поперечных вибраций [46]. В СО АН СССР создан параметрический ряд расширителей скважин: РС200, РС250, РС280, РС330 (авторы Н. Л. Беляев, Н. Н. Есин, Г. Н. Суксов); здесь цифра указывает диаметр расширенной скважины.

Расширитель скважин типа РС состоит из трех ударных механизмов, размещенных в общем корпусе (рис. 5.16). Его конструк-

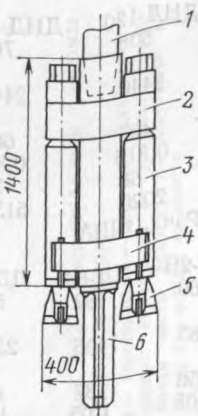
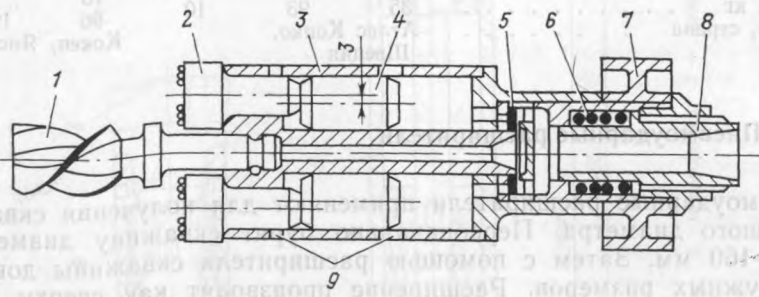


Рис. 5.15. Групповой пневмоударный расширитель фирмы «Ингерсол Рэнд»:

- 1 — штанга; 2 — воздухораспределительная головка; 3 — пневмоударник; 4 — кронштейн; 5 — долото; 6 — несущий патрубок с направляющим стержнем

Рис. 5.16. Групповой расширитель скважин РС:

- 1 — передний фонарь; 2 — долото; 3 — корпус; 4 — ударник; 5 — клапан; 6 — вибронизолятор; 7 — задний фонарь; 8 — переходник; 9 — выхлопное окно



тивной особенностью является наличие общего клапана, через который сжатый воздух поступает одновременно во все пневмоударники [42], а также эксцентричное расположение осей цилиндров и буровых долот. Указанное решение позволяет увеличить диаметр цилиндров, а следовательно, и мощность ударных механизмов.

Техническая характеристика расширителей типа РС приведена ниже.

Тип расширителя	PC220	PC250	PC280	PC330
Диаметр расширенной скважины, мм	220	250	280	330
Диаметр пилот-скважины, мм	105	105; 155	105; 155	105; 155
Энергия удара, Дж	100	140	125	150
Частота ударов, с <sup>-1</sup>	67	68	72	74
Ударная мощность, кВт	6,75	9,5	9	11,1
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин	13	18	17	10
Масса ударника, кг	3,5	5,8	6,1	5,5
Масса расширителя, кг	78	83	112	134

### 5.8. Производительность станков с пневмоударниками

Начальную механическую скорость бурения скважин пневмоударниками (мм/с) можно определить по формуле

$$v_n = 80An/(d^2f),$$

где  $A$  — энергия удара, Дж;  $n$  — частота ударов,  $c^{-1}$ ;  $d$  — диаметр долота, мм;  $f$  — коэффициент крепости пород.

Бурение скважин станками НКР100МА с пневмоударниками наиболее эффективно при глубине скважины 10—25 м, однако чаще бурят скважины глубиной до 50 м. При групповой работе механизмов один оператор обслуживает один станок. Обособленный агрегат обслуживают два человека.

Механическая скорость бурения пневмоударниками на заданной глубине скважины

$$v = v_n - \beta L,$$

где  $\beta$  — коэффициент падения скорости бурения с глубиной скважины;  $L$  — глубина скважины.

Средняя скорость бурения скважин до их глубины  $L$

$$v_{pc} = v_n - \beta L/2.$$

Время бурения скважины

$$T_6 = \frac{L}{v_n - \beta L/2}.$$

Время бурения 1 м скважины

$$t_{cp} = \frac{T_6}{L} = \frac{1}{v_n - \beta L/2}.$$

Теоретическая производительность станка (м/ч)

$$Q_T = 60(v_n - \beta L/2).$$

Техническая производительность

$$Q_{tex} = \frac{60K_r}{\frac{1}{v_n - \beta L/2} + \left(\frac{L}{B} + 1\right) \frac{t_n + t_p}{2l} + \frac{T_3}{B} + \frac{T_{np} + T_{36}}{L}},$$

где  $K_r = T/(T + T_B)$  — коэффициент готовности станка;  $T$  — работа на отказ;  $T_B$  — время восстановления отказа;  $B$  — стоимость долота на одну заточку, м;  $t_n$  — время навинчивания одной штанги, мин;  $t_p$  — время развинчивания одной штанги, мин;  $l$  — длина штанги, м;  $T_3$  — время замены долота, мин;  $T_{np}$  — время наведения станка на скважину, мин;  $T_{36}$  — время забуривания скважины, мин;  $L$  — глубина скважины, м.

Эксплуатационная производительность станка определяется с учетом простоев станка по организационным причинам:

$$Q_3 = \frac{(T_{cm} - T_{пз} - T_{оп})K_r}{\frac{1}{v_n - \beta L/2} + \left[\left(\frac{L}{B} + 1\right) \frac{t_n + t_p}{2l}\right] + \frac{T_3}{B} + \frac{T_{п} + (T_{np} + T_{36})m}{mL}},$$

где  $T_{оп}$  — время организационных простоев, мин;  $T_{cm}$  — длительность смены, мин;  $T_{36}$  — время забуривания скважины, мин;  $T_{п}$  —



время перемещения станка внутри смены, мин;  $T_{\text{нп}}$  — время наведения податчика, мин;  $m$  — число скважин в веере.

Для полного веера скважин  $m = 2\pi L/b$ , где  $b$  — расстояние между концами скважин. Если бурят часть веера, то берут число скважин в секторе.

Если нужно определить производительность агрегата в тоннах отбитой руды  $Q_{\text{т}}$ , то величину  $Q_{\text{с}}$  умножают на выход руды с 1 м скважины  $\lambda$ . Значения основных величин приведены ниже.

Коэффициент крепости руды . . . . .	14—16	12—14	10—12	8—10
$v_{\text{н}}$ , мм/мин . . . . .	65	80	98	120
$\lambda$ , т/м . . . . .	14	17	21	24
$B$ , м . . . . .	4	6	8	12
$b$ , м . . . . .	2,8	3	3,2	3,5

Пример 1. Определить теоретическую производительность станка НКР100М с пневмоударником ПП 105—2,4 [М48] при  $d=105$  мм;  $L=20$  м;  $f=10$ ;  $\beta=0,0004$  м<sup>-1</sup>

$$v_{\text{н}} = \frac{80 \cdot 93 \cdot 28}{105^2 \cdot 10} = 1,9 \text{ мм/с} = 114 \text{ мм/мин} = 0,114 \text{ м/мин};$$

$$Q_{\text{т}} = 60 \left( 0,114 - 0,0004 \frac{20}{2} \right) = 6,6 \text{ м/ч.}$$

Пример 2. Определить техническую производительность станка НКР100М при  $k_{\text{г}}=0,9$ ;  $v_{\text{н}}=6,6$  м/ч;  $L=20$  м;  $t_{\text{н}}=0,5$  мин;  $t_{\text{р}}=1$  мин;  $T_{\text{з}}=4$  мин;  $B=12$  м;  $T_{\text{нп}}=4$  мин;  $T_{\text{зб}}=1$  мин;  $T_{\text{п}}=20$  мин;  $m=12$ .

$$Q_{\text{тск}} = \frac{60 \cdot 0,9}{\frac{1}{0,114 - 0,0004 \frac{20}{2}} + \left( \frac{20}{12} + 1 \right) \frac{0,5 + 1}{2 \cdot 1} + \frac{4}{12} + \frac{4 + 1}{20}} = 4,62 \text{ м/ч.}$$

Пример 3. Определить эксплуатационную производительность бурения для условий предыдущей задачи при  $T_{\text{см}}=360$  мин;  $T_{\text{пз}}=20$  мин;  $T_{\text{оп}}=10$  мин;  $T_{\text{п}}=20$  мин;  $m=12$ .

$$Q_{\text{тех}} = \frac{(360 - 20 - 10) \cdot 0,9}{\frac{1}{0,114 - 0,0004 \frac{20}{2}} + \left( \frac{20}{12} + 1 \right) \frac{0,5 + 1}{2 \cdot 1} + \frac{4}{12} + \frac{20 + (4 + 1) 12 \cdot 20}{12 \cdot 20}} = 18,43 \text{ м/смену.}$$

Для полного веера скважин  $m = 2\pi L/b$ , где  $b$  — расстояние между концами скважин. Если бурят часть веера, то берут число скважин в секторе.

Если нужно определить производительность агрегата в тоннах отбитой руды  $Q_{\text{т}}$ , то величину  $Q_{\text{с}}$  умножают на выход руды с 1 м скважины  $\lambda$ .

В табл. 5.2 приведена производительность станков на открытых горных разработках в зависимости от коэффициента крепости пород.

Коэффициент крепости пород	Сменная производительность, м		Коэффициент крепости пород	Сменная производительность, м	
	СБУ-100 ( $d = 105$ мм)	СБУ-125 ( $d = 125$ мм)		СБУ-100 ( $d = 105$ мм)	СБУ-125 ( $d = 125$ мм)
8—10	20	48	14—16	18	18
10—12	22	40	16—18	12	16
12—14	20	36			

### 5.9. Основные зависимости при бурении пневмоударниками

Многочисленные исследования влияния частоты вращения бурового снаряда на производительность бурения показывают, что наиболее рациональные частоты вращения для крепких пород составляют  $0,4—0,8$  с<sup>-1</sup> и для слабых пород  $1,2—1,5$  с<sup>-1</sup>. Причиной циклического изменения скорости бурения являются периодически повторяющиеся оптимальные условия разрушения горной породы. Эти условия создаются при определенном соотношении числа ударов поршня за один оборот инструмента.

Оптимальный угол поворота инструмента за один удар (по Г. А. Красавину)

$$\psi_0 = 360mB/(\pi d),$$

где  $m$  — число лезвий на долоте;  $B$  — ширина кратера разрушения при единичном ударе;  $d$  — диаметр скважины.

Промышленность выпускает сейчас станки с частотой вращения  $1,2$  с<sup>-1</sup>.

Большое влияние на производительность установок оказывает осевое усилие. Установлено, что для бурения крепких пород осевое усилие следует поддерживать из расчета диаметра долота  $7,5—15$  Н/мм, для абразивных пород средней крепости  $20—30$  Н/мм и для слабо абразивных пород  $50—70$  Н/мм [48].

Очень важно выдержать правильный зазор между диаметром пневмоударника и диаметром долота. При малом зазоре между стенкой скважины и корпусом затрудняется вынос бурового шлама, повышается сопротивление движению воздуха, а при большом зазоре увеличивается объем породы, подлежащий разрушению. Рекомендуется, чтобы отношение диаметра долота к диаметру корпуса пневмоударника находилось в пределах  $1,15—1,25$ . Скорость бурения с увеличением глубины скважины уменьшается. Причиной этого является падение давления воздуха у пневмоударника и возрастание противодавления отработанного воздуха, который движется по зазору между стенкой скважины и буровой штангой.

У станка НКР100М скорость бурения на глубине скважины  $50$  м снижается на  $10\%$  от первоначальной скорости.

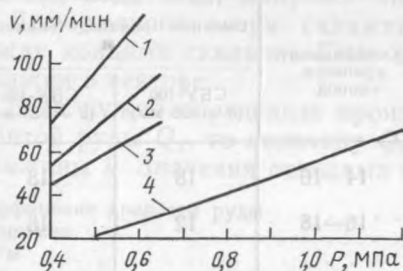


Рис. 5.17. Зависимость скорости бурения  $v$  от давления сжатого воздуха в сети  $P$ :

1 — каолинизированные слениты ( $f=8$ );  
2 — гранулированные скарны ( $f=9$ ); 3 — магнетиты ( $f=10 \div 12$ ); 4 — кварцованные сланцы ( $f=16 \div 18$ )

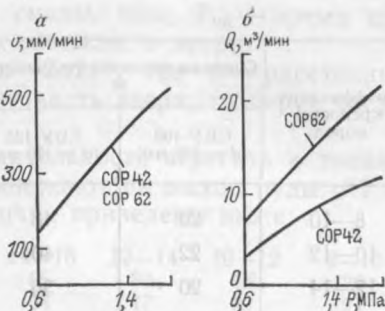


Рис. 5.18. Зависимость скорости бурения  $v$  (а) и расхода сжатого воздуха  $Q$  (б) от давления в сети

С увеличением давления сжатого воздуха в сети скорость бурения пневмоударниками возрастает, как и при бурении перфораторами [48]. Испытания, проведенные в 1957 г. под руководством д-ра техн. наук Б. В. Суднишникова, показывают, что зависимость  $v=f(P)$  имеет линейный характер (рис. 5.17). Отсюда следует, что наличие высокого давления является непрерывным условием повышения производительности пневмоударников. Последние исследования также подтверждают эти рекомендации [49].

За рубежом фирма «Мишн» выпускает пневмоударники для работы на давлении 1,7 МПа. Сравнивали работу пневмоударника серии 250 при давлении 0,7—1,7 МПа. Скорость бурения при этом возрастает в два раза, а проходка на долото — в три раза. Фирма «Ингерсол Рэнд» выпускает пневмоударники для работы на давлении 0,7; 0,8 и 1,7 МПа.

Производительность пневмоударников COP42 и COP62 при бурении по гранитам возрастает со 150 до 520 мм/мин при увеличении давления сжатого воздуха с 0,6 до 1,8 МПа; расход воздуха при этом возрастает с 6,9 до 21 м<sup>3</sup>/мин (рис. 5.18).

Существенным средством повышения производительности бурения пневмоударниками является также применение регуляторов осевого усилия. Как показали испытания, они позволяют увеличить механическую скорость бурения на 15—20 % и одновременно снизить расход долот.

### 5.10. Расходные показатели при бурении станками с погружными пневмоударниками

При бурении изнашиваются долото, пневмоударник и штанги, расходуются сжатый воздух, вода, смазочные материалы, электроэнергия. Решающим фактором расхода долот является соответ-

вие инструмента конкретным условиям эксплуатации. При бурении в крепких породах может получиться так, что пластина твердого сплава или штыри будут ломаться. В этих условиях необходимо применить пусть менее производительные, но более прочные долота или менять пневмоударник.

Пневмоударник изнашивается по внешнему диаметру, т. е. в нем изнашивается поверхность цилиндра. Для снижения износа цилиндра с внутренней стороны рекомендуется заботиться о чистоте воды и внутренней поверхности штанг. Применяются также газожидкостные сепараторы, которые отделяют от воздушно-водяной смеси воду и твердые частицы, выбрасывают смесь в затрубное пространство. Стойкость ударников повышается при этом как минимум на 10—15 %. Считается, что срок службы пневмоударников составляет 115—130 ч машинного времени.

Расход основных материалов приведен ниже.

Коэффициент крепости пород . . . . .	6—8	8—10	10—12
Расход долот на 1000 м скважин, шт. . . . .	8/5	14/8	25/10
Расход пневмоударников на 1000 м скважин, шт. . . . .	1,5/2	1,8/3	2/4
Расход буровых штанг, кг/м . . . . .	0,08/0,025	0,12/0,02	0,15/0,03
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /м . . . . .	200/170	230/220	250/240
Расход электроэнергии, МДж/м . . . . .	36/11,3	50,4/14,65	62,3/16,6
Расход воды, л/мин . . . . .	510/250	570/320	620/360
Расход смазочных материалов, кг/м . . . . .	0,08/0,25	0,14/0,35	0,25/0,4
Расход дизельного топлива, кг/м . . . . .	—/0,6	—/7,9	—/11

Коэффициент крепости пород . . . . .	12—14	14—16	16—18
Расход долот на 1000 м скважин, шт. . . . .	40/15	53/28	71/37
Расход пневмоударников на 1000 м скважин, шт. . . . .	2,4/5	2,8/8	3/11
Расход буровых штанг, кг/м . . . . .	0,17/0,04	0,19/0,06	0,22/0,08
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин . . . . .	250/240	280/380	310/540
Расход электроэнергии, МДж/м . . . . .	68,4/19,4	72/25,2	78,5/39,6
Расход воды, л/м . . . . .	660/430	700/550	740/850
Расход смазочных материалов, кг/м . . . . .	0,36/0,5	0,54/0,6	0,6/0,7
Расход дизельного топлива, кг/м . . . . .	—/13,5	—/17	—/21

В числителе приведен расход при диаметре скважины 105 мм, в знаменателе — при диаметре 155 мм.

## 6. СТАНКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК

### 6.1. Общие сведения

К станкам вращательного бурения, применяемым для открытых горных разработок, относятся станки шарошечного бурения и станки вращательного бурения режущими долотами.

Шарошечное бурение получило в настоящее время широкое распространение в горной промышленности.

В 1950 г. в научно-исследовательском институте свинцово-цинковой промышленности (НИГРИС) инж. И. М. Бирюков и М. Ф. Надион разработали долото, у которого вместо фрезерованных зубьев были поставлены штыри из твердого сплава ВК15. При осевом усилии 15—18 кН и частоте вращения шпинделя 2,5—3 с<sup>-1</sup> скорость бурения в три раза превысила скорость дробового бурения. Зубки из твердого сплава затуплялись почти в 40 раз медленнее, чем фрезерованные зубья. Бурение на Лениногорском комбинате этими долотами было начато с 1951 г. сначала на станках ЗИВ-150, а в последующем — станками СБ-4 (главный конструктор И. Э. Наринский).

## 6.2. Станки шарошечного бурения для открытых горных работ

Принцип шарошечного бурения заключается в следующем: от станка через буровой став шарошечному долоту передаются крутящий момент и осевое усилие. При вращении шарошки (конусы или цилиндры с зубками), свободно сидящие на осях цапф долота, перекатываются по забою, при этом зубки внедряются в породу и разрушают ее. Удаление продуктов разрушения с забоя скважины производят сжатым воздухом или водой, поступающими к забою через буровой став.

Станки шарошечного бурения для открытых горных работ состоят из следующих основных узлов: ходовой базы, мачты, машинного отделения и кабины машиниста. Ход может быть гусеничным или пневмоколесным. Все серийно выпускаемые отечественные станки имеют гусеничный ход. Мачты бывают открытые и закрытые. Они могут иметь центральное или консольное расположение. При консольном расположении мачты для создания осевого усилия используется всего 50—60 % массы станка (при центральном — до 80 %), но такое расположение мачты позволяет бурить скважины вблизи борта уступа. Все отечественные станки имеют закрытый тип мачты и консольное расположение.

Для выполнения операций по обуриванию забоя станки имеют механизмы для перемещения станка, установки его в рабочее положение (горизонтирование), подъема и опускания мачты, вращения бурового става, создания осевого усилия, спуска и подъема бурового става, его наращивания и разборки. Имеются также системы очистки забоя скважины, пылеподавления и кондиционирования.

Шарошечные станки, выпускаемые до 1 января 1988 г., должны иметь основные показатели технического уровня и качества, приведенные ниже.

Условный диаметр скважины, мм . . . . .	200	250
Глубина бурения вертикальных скважин, м, не менее	32; 40	32; 55
Угол наклона скважин к вертикали, градус . . . . .	0; 15; 30	
Ресурс до первого капитального ремонта, ч, не менее . . . . .	11 000	

Их техническая производительность по породам различной крепости должна быть не меньше, чем приведенная ниже.



Коэффициент крепости пород . . . . .	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16	16—18
Минимальная техническая производительность, м/ч, для станков:						
СБШ-200—32 . . . . .	24	22	16	14	—	—
СБШ-200—40 . . . . .	22	18	14	12	—	—
СБШ-250—32 . . . . .	—	—	—	15	12	10
СБШ-250—55 . . . . .	26	22	18	—	—	—

В настоящее время выпускается шесть типоразмеров станков шарошечного бурения. Все станки СБШ-200 спроектированы СКБ ИГД им. А. А. Скочинского (главный конструктор Ю. А. Нанкин), а типа СБШ-250 — СКБ самоходного горного оборудования Минтяжмаша (конструкторы А. А. Вуккерт, В. Д. Чугунов, И. Э. Наринский, В. И. Антошенко, В. А. Солдатов). Станок имеет следующие отличительные особенности.

Станок 2СБШ-200-40 (рис. 6.1) смонтирован на ходовой тележке 1, состоящей из гусеничного хода с индивидуальными приводами каждой гусеницы и платформы. На передней части платформы находится разъемная мачта 13, состоящая из двух частей: основания и собственно мачты. На мачте монтируют узлы рабочего органа 12. В ее основании установлена коробка передач 3, которая при наличии сменной пары шестерен обеспечивает четыре диапазона частоты вращения бурового инструмента. В качестве привода рабочего органа используют электродвигатель постоянного тока, который обеспечивает бесступенчатое регулирование частоты вращения в пределах каждого диапазона. Крутящий момент и осевое усилие передаются на буровой инструмент посредством гидропатрона 6. Два напорных гидроцилиндра 5 производят подачу бурового инструмента на забой. К мачте крепят кассету 9, в которой размещают комплект буровых штанг. Поворот кассеты осуществляют гидроцилиндром. На коробке передач смонтирован механизм свинчивания-развинчивания 4, состоящий из гидроцилиндра и кранового механизма. Спуско-подъемные операции производят при помощи лебедки 8 и вертлюга 11, подвешенного на талевом блоке и перемещающегося по направляющим мачты. К вертлюгу подвешивают буровой став 10. Смену долот производят с помощью приспособления 2, прикрепленного к основанию мачты. Подъем и опускание мачты производят двумя гидроцилиндрами 15, оснащенными гидрозамками. Горизонтирование станка осуществляют тремя гидроцилиндрами 17. Буровую мелочь из скважины удаляют с помощью пневмосистемы 14. Запыленный воздух очищают пылеулавливающей установкой 7. Управление станком осуществляют из кабины 16. Буровой став состоит из комплекта буровых штанг и шарошечного долота, наружный диаметр штанг 180 мм.

Гидросистема станка оборудована двумя насосами с подачей 35 и 18 л/мин, пневмосистема — компрессором. Кинематическая схема рабочего органа станка 2СБШ-200Н показана на рис. 6.2.

По желанию заказчика станок может поставляться с установкой для подавления пыли воздушно-эмульсионной смесью.

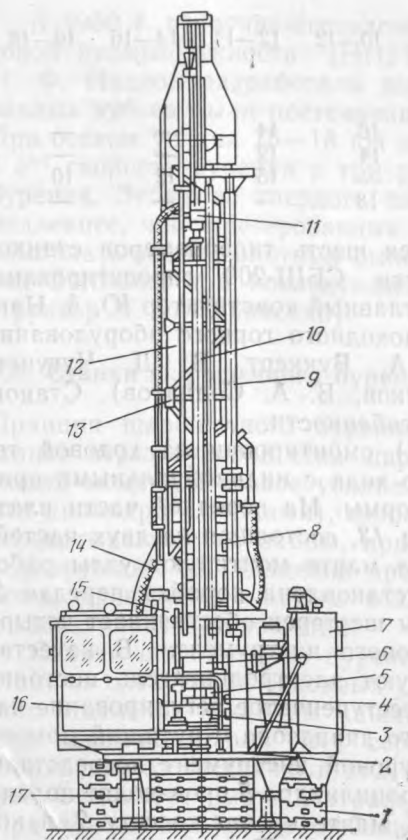


Рис. 6.1. Буровой станок 2СБШ-200-40

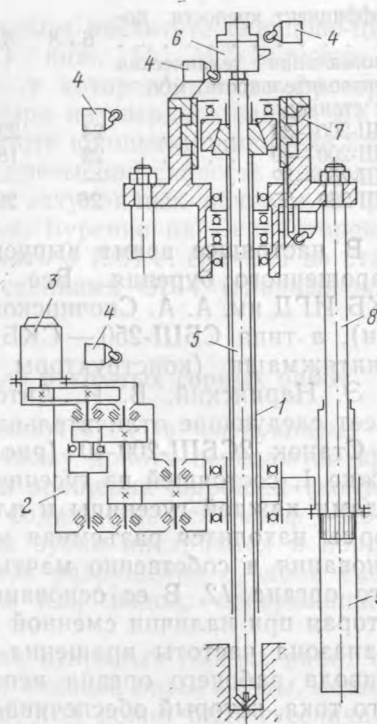


Рис. 6.2. Кинематическая схема рабочего органа станка 2СБШ-200Н:

1 — шестигранный пустотелый шпindel; 2 — редуктор; 3 — электродвигатель; 4 — концевые выключатели; 5 — буровой снаряд; 6 — вертлюг; 7 — гидравлический патрон; 8 — шток; 9 — гидроцилиндр

Отличительной особенностью станка 3СБШ-200-60 является способность бурить направленные (вертикальные и наклонные) скважины на глубину до 60 м, что позволяет расширить область применения наиболее экономичной бестранспортной системы разработки с частичной перевалкой пород вскрыши взрывом во внутренние отвалы и повысить эффективность использования крупных драглайнов.

С целью увеличения производительности, повышения технического уровня и обеспечения комфортных условий в конструкцию станка заложен ряд прогрессивных решений, основными из которых являются:

реализация комплекса конструктивных мероприятий, направленных на сокращение затрат времени на выполнение вспомогательных операций, в том числе увеличение длины буровых штанг до 12 м, применение электропривода вертлюга для одновременного свинчивания верхнего и нижнего концов буровой штанги при

наращивании, а также в процессе развинчивания при разборке бурового става, увеличение подачи насосов гидропривода для уменьшения длительности холостого хода гидropатрона при бурении и продолжительности выполнения операций другими исполнительными органами;

применение тиристорного электропривода в механизме вращателя с высоким качеством механических характеристик во всем диапазоне регулирования;

использование более мощного электродвигателя ДЭВ-808 в приводе вращателя рабочего органа позволило исключить коробку передач;

применение на станке системы автоматического управления процессом бурения позволяет регулировать частоту вращения бурового инструмента и осевое усилие на забой в зависимости от крепости горных пород, что снижает вибрацию и защищает станок от перегрузок;

амортизация кабины, улучшающая гигиенические условия труда оператора;

применение в приводе хода тиристорных станций управления ТСУ-РИ обеспечивает необходимую плавность пуска при трогании с места, способствуя тем самым уменьшению динамических нагрузок в металлоконструкциях в механизме хода;

установка кабельного барабана облегчает обслуживание станка при его эксплуатации;

использование на станке нового комплектного тиристорного устройства, блочное исполнение системы управления, основанной на использовании интегральных микросхем и оснащенной устройством диагностирования отказов, обеспечивает ее компактность, удобство обслуживания, минимальные затраты времени на поиск и устранение неисправностей;

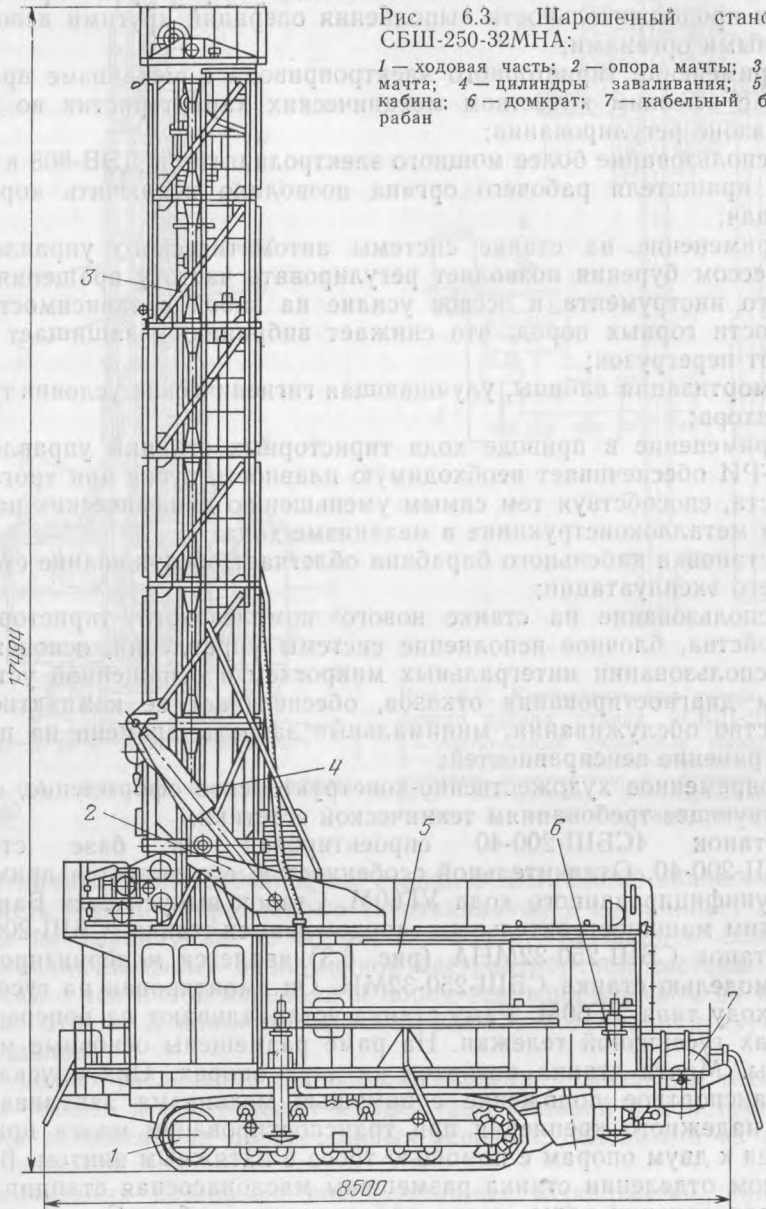
современное художественно-конструкторское оформление, соответствующее требованиям технической эстетики.

Станок 4СБШ-200-40 спроектирован на базе станка 2СБШ-200-40. Отличительной особенностью его является применение унифицированного хода УГ60М. Станок выпускается Барвенковским машиностроительным заводом взамен станка 2СБШ-200-32.

Станок СБШ-250-32МНА (рис. 6.3) является модернизированной моделью станка СБШ-250-32МН. Он смонтирован на гусеничном ходу типа УГ60М. Раму станка устанавливают на поперечных балках гусеничной тележки. На раме размещены основные механизмы. Мачта станка покоится на двух опорах. Она опускается в транспортное положение с помощью механизма заваливания. Для надежного крепления при транспортировании мачта прижимается к двум опорам с помощью троса с натяжным винтом. В машинном отделении станка размещены маслonaсосная станция, насос для закачки воды, насос для орошения забоя. Станок имеет винтовой компрессор 6ВКМ-25/8. Для хранения запаса воды в передней части станка имеется емкость объемом 2,7 м<sup>3</sup> с электрическим подогревом. С левой стороны станка находится кабина

Рис. 6.3. Шарошечный станок  
СБШ-250-32МНА:

1 — ходовая часть; 2 — опора мачты; 3 —  
мачта; 4 — цилиндры заваливания; 5 —  
кабина; 6 — домкрат; 7 — кабельный ба-  
рабан



17194

8500

управления механизмами, которая оборудована кондиционером для улучшения санитарно-гигиенических условий труда оператора. Раму станка при бурении вывешивают на трех домкратах. С задним домкратом блокируют гидроцилиндр подъема вентилятора, который воздушной струей отбрасывает буровой шлам, выходящий из скважины от станка.

Каркас мачты представляет собой пространственную ферму, внутри которой размещены вращатель с буровым снарядом, сепаратор с буровыми штангами, механизм подачи, механизм свинчивания и разборки бурового снаряда, приспособление для наклонного бурения и другое оборудование. Станок снабжен наддолотным влагоотделителем для разделения водовоздушной смеси. На верхней обвязке мачты установлены опоры блоков механизма подачи с блоком троса натяжной каретки гирлянды. На нижней обвязке мачты смонтированы два гидроцилиндра механизма подачи, механизм развинчивания штанг и верхний ключ. К средней обвязке прикреплены полуоси, на которых поворачивается мачта. К задней стороне мачты крепят на подшипниковых опорах сепаратор. Вдоль всей мачты проходят направляющие, по которым перемещают вращатель и натяжную каретку гирлянды.

Механизм подачи (рис. 6.4) состоит из двух гидроцилиндров 1 и двух четырехкратных канатно-полиспастных систем 4. При ходе штока цилиндра 2 м ход бурового снаряда равен 8 м, т. е. длине штанги. Натяжение гирлянды осуществляют кареткой 3 и двукратной канатно-полиспастной системой 2.

Вращатель бурового снаряда состоит из электродвигателя постоянного тока ДПВ-52 с независимым возбуждением мощностью 60 кВт, вентиляционной установки для охлаждения электродвигателя и двуступенчатого редуктора с передаточным числом 11,05.

Система позволяет изменять частоту вращения бурового снаряда от 0,5 до 2,5 с<sup>-1</sup>. Для защиты от вибрации в системе привода установлена шинно-зубчатая муфта. Маслонасосная станция имеет три насоса Н-403, 35Г12-24 и 18БГ12—22 с электроприводом и контрольно-регу-

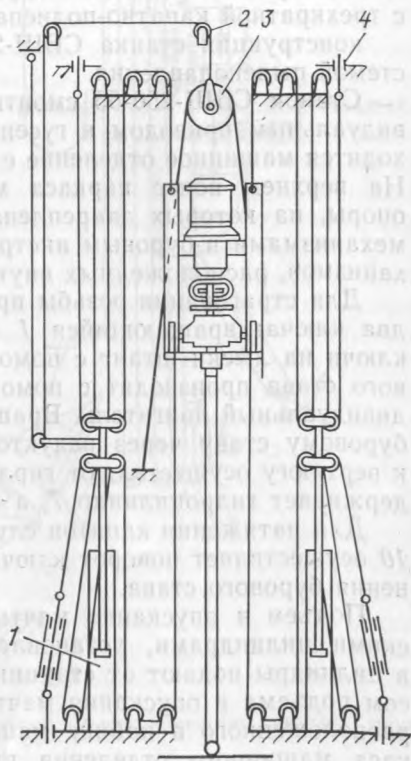


Рис. 6.4. Механизм подачи станка СБШ-250-32МНА



лирующей аппаратурой. Усилие на забой бурового става регулируют изменением давления в гидроцилиндрах подачи и контролируют с помощью манометра.

Питание станка электроэнергией осуществляют от сети через гибкий кабель КРШК=3×150+1×50. От шкафа управления питание идет через тиристорный преобразователь к двигателю вращателя. Остальные 17 двигателей питаются переменным током напряжением 380 В.

Станок СБШ-250-55 предназначен для бурения вертикальных и наклонных скважин в породах с  $f=4\div 14$ , глубиной до 55 м, для работы в диапазоне температур от +40 до -50 °С.

Основные конструктивные особенности:

применение мачты с двумя сепараторами, которая позволяет бурить взрывные скважины на карьерах с высотой уступов до 50 м; использование торцевого привода вращения бурового става с двигателем постоянного тока;

между опорным узлом и вращателем установлена упругая зубчатая муфта, которая предотвращает передачу вибрации на узлы вращателя и улучшает работу долота;

подачу става на забой осуществляют двумя лебедками подачи с трехкратной канатно-полиспастной системой;

конструкция станка СБШ-250-55 снабжена водовоздушной системой пылеподавления.

Станок СБШ-250-55 смонтирован на гусеничном ходу с индивидуальным приводом к гусеничным тележкам. На осях хода находится машинное отделение с гидроэлектрическим оборудованием. На верхнем поясе каркаса машинного отделения установлены опоры, на которых закреплена мачта с вращательно-подающими механизмами и буровым инструментом. Кинематическая схема механизмов, расположенных внутри мачты, показана на рис. 6.5.

Для страгивания резьбы при разборке бурового става имеются два ключа: вращающийся 1 и невращающийся 2. Надвигаются ключи на лыски штанг с помощью гидроцилиндров. Подачу бурового става производят с помощью лебедок 3, которые имеют индивидуальный двигатель. Вращатель 4 передает крутящий момент буровому ставу через редуктор. Подачу воздушно-водяной смеси к вертлюгу осуществляют гирляндой 5. Верхний подшипник 6 поддерживает гидроцилиндр 7, а подшипник 8 служит его опорой.

Для натяжения канатов служит гидроцилиндр 9. Гидроцилиндр 10 осуществляет поворот ключа при страгивании замкового соединения бурового става.

Подъем и опускание мачты осуществляют двумя гидравлическими цилиндрами, установленными на опорах мачты. Масло в цилиндры подают от станции гидропривода. Управление процессом подъема и опускания мачты производят с пульта управления, расположенного в кабине машиниста. К нижней платформе каркаса машинного отделения прикреплены четыре домкрата: два впереди — с помощью кронштейнов и два сзади — с помощью поперечной балки. При горизонтировании домкраты включаются

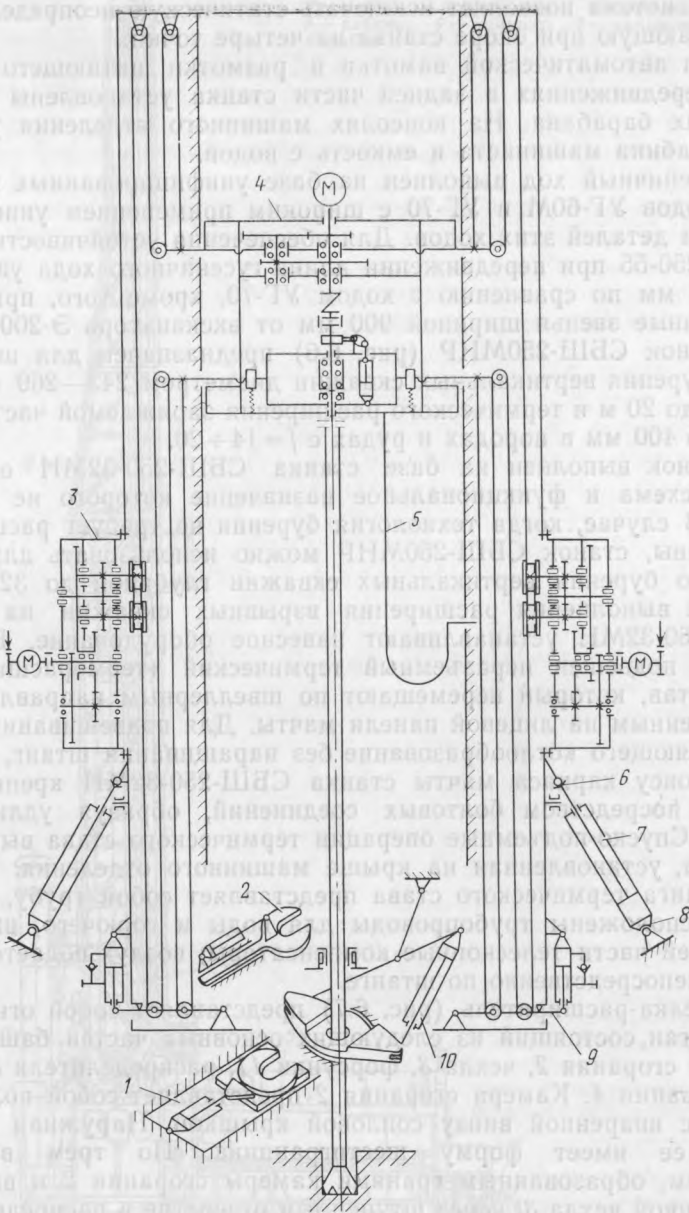


Рис. 6.5. Кинематическая схема механизмов, расположенных внутри мачты станка СБШ-250-55

попарно: два правых или два левых, два передних или два задних. Такая система позволяет исключать статическую неопределимость, возникающую при опоре станка на четыре точки.

Для автоматической намотки и размотки питающего кабеля при передвижениях в задней части станка установлены два кабельных барабана. На консолях машинного отделения установлена кабина машиниста и емкость с водой.

Гусеничный ход выполнен на базе унифицированных гусеничных ходов УГ-60М и УГ-70 с широким применением унификации узлов и деталей этих ходов. Для обеспечения устойчивости станка СБШ-250-55 при передвижении длина гусеничного хода увеличена на 300 мм по сравнению с ходом УГ-70, кроме того, применены гусеничные звенья шириной 900 мм от экскаватора Э-2003.

Станок СБШ-250МНР (рис. 6.6) предназначен для шарошечного бурения вертикальных скважин диаметром 243—269 мм, глубиной до 20 м и термического расширения заряжаемой части скважин до 400 мм в породах и рудах с  $f = 14 \div 20$ .

Станок выполнен на базе станка СБШ-250-32МН основные узлы, схема и функциональное назначение которого не изменились. В случае, когда технология бурения не требует расширения скважины, станок СБШ-250МНР можно использовать для шарошечного бурения вертикальных скважин глубиной до 32 м.

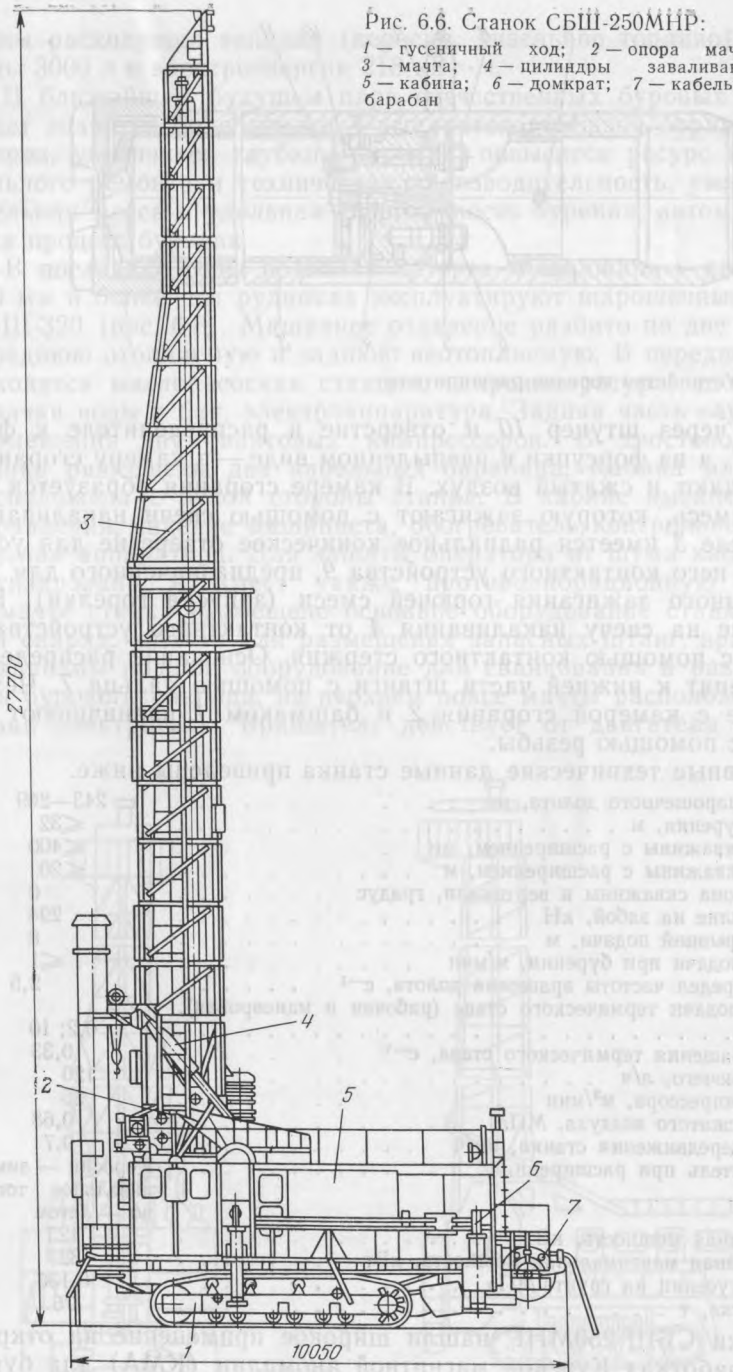
Для выполнения расширения взрывных скважин на станок СБШ-250-32МН устанавливают навесное оборудование. Впереди станка подвешен неразъемный термический (терморасширительный) став, который перемещают по швеллерным направляющим, приваренным на лицевой панели мачты. Для подвешивания става, выполняющего котлообразование без наращивания штанг, к верхнему поясу каркаса мачты станка СБШ-250-32МН крепят надставку посредством болтовых соединений, образуя удлиненную мачту. Спуско-подъемные операции термического става выполняет лебедка, установленная на крыше машинного отделения.

Штанга термического става представляет собой трубу, в которой расположены трубопроводы для воды и горючего, имеющие в нижней части телескопные компенсаторы; воздух подается к горелке непосредственно по штанге.

Горелка-расширитель (рис. 6.7) представляет собой огнеструйный орган, состоящий из следующих основных частей: башмака 1, камеры сгорания 2, чехла 3, форсунки 11, распределителя 5, свечи накаливания 4. Камера сгорания 2 представляет собой полый цилиндр с вваренной внизу сопловой крышкой. Наружная поверхность ее имеет форму шестигранника. По трем входным полостям, образованным гранями камеры сгорания 2 и внутренней стенкой чехла 3, через штуцер 6 и отверстие в распределителе 5 подают воду. Вода служит для охлаждения деталей горелки-терморасширителя и пылеподавления путем выброса воды в затрубное пространство через отверстия в чехле 3, расположенные на трех выходных полостях камеры сгорания 2. Распределитель 8 имеет штуцер для подключения трубопровода горючего. Горючее

Рис. 6.6. Станок СВШ-250МНР:

- 1 — гусеничный ход; 2 — опора мачты;
- 3 — мачта; 4 — цилиндры заваливания;
- 5 — кабина; 6 — домкрат; 7 — кабельный барабан



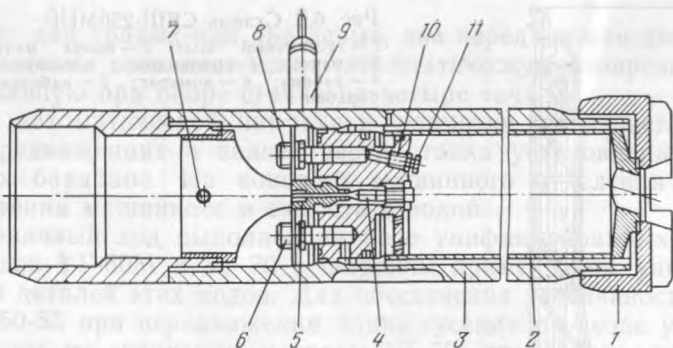


Рис. 6.7. Устройство горелки-расширителя

подают через штуцер 10 и отверстие в распределителе к форсунке 11, а из форсунки в распыленном виде — в камеру сгорания, куда подают и сжатый воздух. В камере сгорания образуется горючая смесь, которую зажигают с помощью свечи накалывания 4. В чехле 3 имеется радиальное коническое отверстие для установки в него контактного устройства 9, предназначенного для дистанционного зажигания горючей смеси (запуска горелки). Напряжение на свечу накалывания 4 от контактного устройства 9 подают с помощью контактного стержня. Основание распределителя крепят к нижней части штанги с помощью пальца 7. Чехол 3 вместе с камерой сгорания 2 и башмаком 1 навинчивают на штангу с помощью резьбы.

Основные технические данные станка приведены ниже.

Диаметр шарошечного долота, мм	243—269
Глубина бурения, м	≤32
Диаметр скважины с расширением, мм	≤400
Глубина скважины с расширением, м	≤20
Угол наклона скважины к вертикали, градус	0
Осевое усилие на забой, кН	294
Ход непрерывной подачи, м	8
Скорость подачи при бурении, м/мин	≤1
Верхний предел частоты вращения долота, с <sup>-1</sup>	2,5
Скорость подачи термического става (рабочая и маневровая), м/мин	0,2; 10
Частота вращения термического става, с <sup>-1</sup>	0,33
Расход горючего, л/ч	120
Подача компрессора, м <sup>3</sup> /мин	25
Давление сжатого воздуха, МПа	0,68
Скорость передвижения станка, км/ч	0,7
Энергоноситель при расширении	Керосин — зимой, дизельное топливо — летом
Установленная мощность, кВт	423
Одновременная максимальная мощность, кВт	327
Давление гусениц на грунт, МПа	0,136
Масса станка, т	76

Станки СБШ-250МНР нашли широкое применение на открытых разработках Курской магнитной аномалии (КМА) для бурения скважин в железистых кварцитах. На 1 м<sup>3</sup> расширяемой сква-



жины расходуется топлива (керосин, дизельное топливо) 160 кг, воды 3000 л и электроэнергии 218 кВт·ч.

В ближайшем будущем парк отечественных буровых станков будет значительно обновлен. Расширится диапазон буримых диаметров, увеличится глубина бурения, повысится ресурс до капитального ремонта и техническая производительность, уменьшится удельная масса и удельная энергоемкость бурения, автоматизируется процесс бурения.

В последние годы появился интерес к скважинам диаметром 320 мм и более. На рудниках эксплуатируют шарошечный станок СБШ-320 (рис. 6.8). Машинное отделение разбито на две части — переднюю отопляемую и заднюю неотапливаемую. В передней части находятся маслонасосная станция, гидроаппаратура, насосы для закачки воды в бак, электроаппаратура. Задняя часть служит для размещения двух винтовых компрессоров. В хвостовой части станка размещены два кабельных барабана. Кабина машиниста расположена с левой стороны станка. В кабине имеются пульт управления, сидение машиниста, обогреватель, контрольно-измерительная аппаратура. Для защиты оператора от шума кабина герметизирована и имеет также противовибрационную защиту. В мачте станка размещено основное оборудование станка: буровой снаряд, кассета для размещения запасных штанг, вращатель, механизмы подачи, оборудование для свинчивания и развинчивания бурового снаряда, на верхнем поясе мачты расположена грузовая электроталь. Вращатель действует от двигателя постоян-

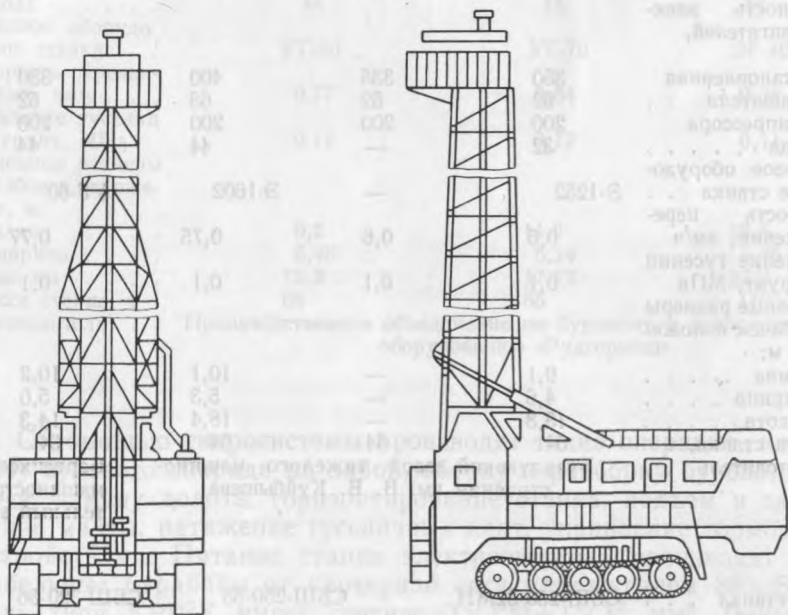


Рис. 6.8. Общий вид шарошечного бурового станка СБШ-320

ного тока. Крутящий момент к шпинделю передается через редуктор.

Тип станка	2СБШ-200-32	2СБШ-200-40	3СБШ-200-60	4СБШ-200-40
Условный диаметр скважины, мм	200	200	200; 250	200; 250
Диаметр долота, мм	215,9; 244,5	215,9; 244,5	215,9; 244,5	215,9; 244,5
Глубина бурения скважин, м, не более	32	40	60	40
Направление бурения к вертикали, градус	0	0; 15; 30	0; 15; 30	0; 15; 30
Длина буровой штанги, м	8	8	12	8
Ход непрерывной подачи, м	1	1	1	1
Осевое усилие, МН, не более	0,3	0,3	0,3	0,3
Скорость подачи бурового става, м/с	0,25/0,48	0,025/0,51	0,033/0,4	0,025/0,51
Максимальная частота вращения долота, с <sup>-1</sup>	2,5	2,5	2,5	2,5
Максимальный крутящий момент на вращателе, кН·м	6,65	6,65	6	5,2
Подача компрессора, м <sup>3</sup> /с	0,417	0,417	0,417	0,417
Мощность электродвигателей, кВт:				
установленная	350	335	400	380
вращателя	52	52	68	52
компрессора	200	200	200	200
хода	32	—	44	44
Ходовое оборудование станка	Э-1252	—	Э-1602	УГ-60
Скорость передвижения, км/ч	0,6	0,6	0,75	0,77
Давление гусениц на грунт, МПа	0,1	0,1	0,1	0,1
Основные размеры в рабочем положении, м:				
длина	9,1	—	10,1	10,2
ширина	4,6	—	5,3	5,0
высота	13,8	—	18,4	14,3
Масса станка, т	54	54	64	64
Изготовитель	Бузулукский завод тяжелого машиностроения им. В. В. Куйбышева			Барвенковский машиностроительный завод

Тип станка	СВШ-250-32МН	СВШ-250-55	СВШ-320-36
Условный диаметр скважины, мм	250	250	320

Диаметр долота мм . . . . .	244,5; 269,9	244,5; 269,9	320
Глубина бурения скважин, м, не более . . . . .	32	55	36
Направление бу- рения к вертикали, градус . . . . .	0; 15; 30	0; 15; 30	0
Длина буровой штанги, м . . . . .	8	10	17,5
Ход непрерывной подачи, м . . . . .	8	11,5	17,5
Осевое усилие, МН, не более . . . . .	0,3	0,3	0,6
Скорость подачи бурового ста- ва, м/с . . . . .	0,017/0,61	0,025/0,63	0,014/0,22
Максимальная ча- стота вращения долота, с <sup>-1</sup> . . . . .	2,5	2,5	2,1
Максимальный крутящий момент на вращателе, кН·м . . . . .	4,2	4,2	8,7
Подача компрес- сора, м <sup>3</sup> /с . . . . .	0,417	0,417	0,834
Мощность элект- родвигателей, кВт:			
установленная	400	400	712
вращателя . . . . .	68	68	100
компрессора	200	200	2×200
хода . . . . .	44	44	44
Ходовое оборудо- вание станка . . . . .	УГ-60	УГ-70	ЭГ-400
Скорость передви- жения, км/ч . . . . .	0,77	0,84	0,33
Давление гусениц на грунт, МПа	0,12	0,12	0,11
Основные размеры в рабочем положе- нии, м:			
длина . . . . .	9,2	11,2	12,5
ширина . . . . .	5,45	5,24	5,45
высота . . . . .	15,3	17,73	25,2
Масса станка, т	66	85	110
Изготовитель . . . . .	Производственное объединение по буровому и транспортному оборудованию «Рудгормаш»		

С помощью гидросистемы производят такие операции, как подачу бурового снаряда на забой, сборку и разборку бурового снаряда, замену долота, горизонтирование станка, подъем и заваливание мачты, натяжение гусеничных лент, управление тормозными устройствами. Питание станка электроэнергией производят через кабельные барабаны от карьерной сети напряжением 380 В. Кабель типа КРШК имеет сечение 3×120+1×35 мм<sup>2</sup>. Двигатели вращателя и подающих лебедок питаются по системе ТП-Д.

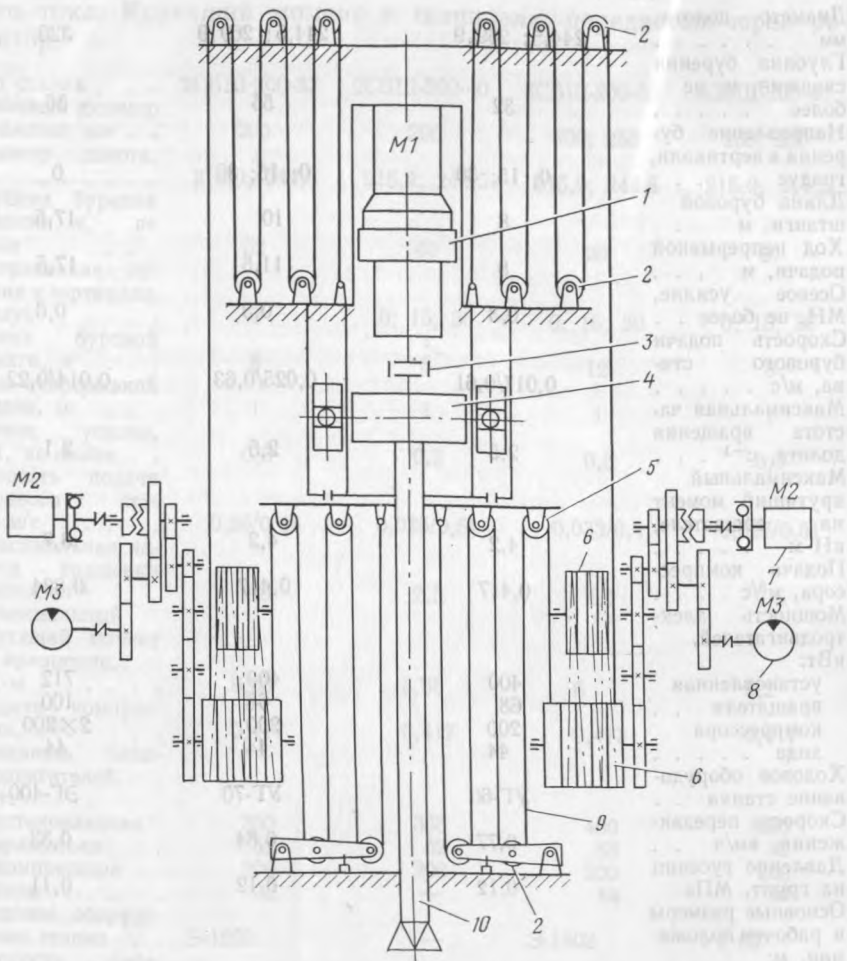


Рис. 6.9. Кинематическая схема подачи бурового става станка СБШ-320:  
 1 — редуктор; 2 — неподвижные блоки; 3 — шинно-зубчатая муфта; 4 — опорный узел; 5 — подвижные блоки; 6 — желобчатые барабаны; 7 — электродвигатель; 8 — гидродвигатель; 9 — канаты; 10 — буровой став

Схема подачи бурового става станка СБШ-320 показана на рис. 6.9. Лебедки подачи при бурении получают вращение от гидродвигателей, а при спуско-подъемных операциях — от электродвигателей [38].

### 6.3. Буровые станки для подземных горных выработок

С появлением долот малого диаметра стало возможным применение шарошечного бурения для подземной отбойки руд. Работы по созданию станков и улучшению конструкций долот были начаты в 1952 г. Экспериментальной базой являлись рудники Лениногор-

ского комбината. В 1954 г. во ВНИИцветмете был спроектирован станок СБ-4. Станком бурили скважины диаметром 145 мм, глубиной до 40 м. Позднее были разработаны станки БАШ-150, П-23 М, БШ-145М, которые успешно эксплуатировали на рудниках Казахстана.

Используя накопленный опыт, во ВНИПИрудмаше в Кривом Роге сконструировали станок БШ-200С, который готовится к выпуску Благовещенским заводом «Амурский металлист». Станок позволяет бурить скважины диаметром до 243 мм на глубину до 80 м в породах с  $f=6\div 20$  в шахтах, не опасных по газу или пыли. Машина состоит из двух самоходных агрегатов на гусеничном ходу. Первый агрегат является собственно буровым станком, второй — предназначен для перевозки и хранения буровых штанг. Буровой станок монтируют на ходовой раме. Вращатель станка приводят в действие от гидродвигателя. Раскрепляют раму податчика в кровлю и почву выработки с помощью гидроцилиндров распора. Для подачи и снятия штанг от податчика служит манипулятор с захватом. Имеется ключ для развинчивания штанг. На первой установке также смонтированы пульт управления и гидросистема.

Ниже приведены основные сведения о станке.

Диаметр буримых скважин, мм	<250
Глубина бурения скважин, м	80
Направление бурения	Снизу вверх
Размеры горной выработки, м:	
ширина	3
высота	3,3
Максимальное усилие подачи, кН	450
Частота вращения бурового става, $c^{-1}$	1,2
Производительность, м/смену (по породам с $f = 15\div 20$ )	10—15
Установленная мощность двигателей, кВт	52
Способ подавления пыли	Водо-воздушная смесь
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин	7
Расход воды, л/мин	50
Основные размеры станка, м:	
<i>в рабочем положении</i>	
длина	4,15
ширина	1,54
высота	3,05
<i>в транспортном положении</i>	
длина	4,15
ширина	1,54
высота	1,8
Масса станка, т	14,5
Масса в комплекте, т	35

#### 6.4. Интенсификация процесса бурения скважин шарошечными станками \*

Многочисленными исследованиями установлено, что наложение вибраций на долото повышает скорость бурения скважин. Генератором таких вибраций может быть магнитостриктор. Магнито-

\* Подраздел написан канд. техн. наук В. О. Мальченком.



стриктор в сочетании с буровым снарядом, амортизатором и блоком питания образует электровибробур.

Техническая характеристика электровибробуров приведена ниже.

Тип электровибробура	ЭВБМ-220	ЭВБМ-273
Наружный диаметр, мм	220	273
Диаметр долота, мм	269	320
Номинальная рабочая частота, Гц	400	400
Размах колебаний, мм	1,3	1,3
Мощность, кВт	60	90
Энергия единичного импульса в дискретном режиме, Дж	<2000	<3200
Частота дискретного режима, Гц	25	25
Электромеханический коэффициент полезного действия	0,7	0,8
Механоакустический » » »	0,8	0,8
Средний модуль упругости, МПа	$1,98 \times 10^5$	$1,98 \times 10^5$
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	$8,34 \times 10^3$	—
Волновое сопротивление, кг/м·с <sup>-1</sup>	$4,4 \times 10^7$	—
Масса, кг	1466	1940

Схема устройства магнитострикционного электровибробура, предназначенного для бурения взрывных скважин шарошечными долотами, показана на рис. 6.10.

Электровибробур состоит из двух шихтованных металлических стержней 13 с однослойными обмотками возбуждения 14, между витками которых расположены теплопроводные алюминиевые шины переводников 6 и 4. Стержни помещены в стальной трубчатый корпус 15, который предварительно сжат и плотно контактирует внутренней поверхностью с теплопроводными шинами. Стержни под высоким давлением (до 20 МПа) залиты эпоксидным компаундом.

Корпус сварными швами 7 соединен с переводниками. Компаунд, будучи жидким, в момент заливки равномерно обжимает стержни и обмотку. После отверждения создается прочная связь между компаундом и остальными элементами конструкции. Стержни помещены в стальной защитный корпус 8, который сварными швами 2 соединен через переводники 5 и 11, резьбовую втулку 3 с переводниками преобразователя 6 и 4. На переводник навинчен наддолотный переводник 1 с долотом 12. Сжатый воздух подают по кольцевому зазору 10 между основным корпусом 9 и защитным корпусом 8. Таким образом, электровибробур состоит из двух жестко-соединенных параллельно-колеблющихся систем:

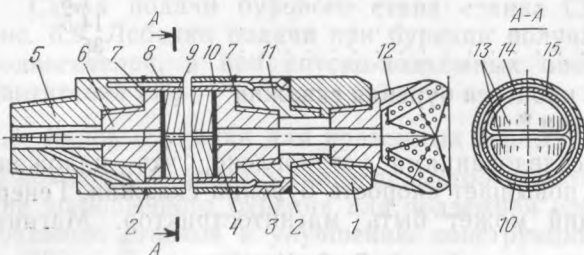


Рис. 6.10. Схема устройства электровибробура

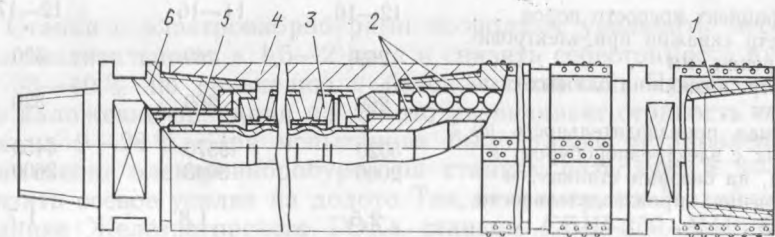


Рис. 6.11. Амортизатор к электровибробуру

из внутреннего неизнашиваемого преобразователя и сменяемого по мере износа внешнего защитного корпуса. При подключении обмоток возбуждения вибратора к источнику переменного тока в магнитострикционных стержнях благодаря магнитным и электрическим силам возникают переменные напряжения, под действием которых стержни меняют свою длину. Преобразование энергии из электрической в механическую форму в виде возвратно-поступательных движений совершается без механических преобразователей.

Для эффективного бурения основную часть генерируемой энергии нужно подвести к рабочему концу вибратора и свести к минимуму ее утечку через буровые штанги. Для этого на верхнем конце вибратора создают условия возможно более полного отражения упругих волн. Эту роль выполняет амортизатор.

Амортизатор (рис. 6.11) состоит из корпуса 4, вала с шариковой моментопередающей муфтой 2, пакета пружин 3, переходника 6 с замковой конической резьбой. На нижнем конце амортизатора имеется муфта 1 с конической замковой резьбой, через которую амортизатор соединяют с вибратором. Вал амортизатора 5 полый, в нем располагают кабельную секцию с ртутным контактом, через который питается электровибробур.

Промышленные испытания электровибробуровых снарядов проводили в 1973—1977 и 1984 гг. Местом испытаний были определены: рудник «Центральный» комбината «Апатит», Ждановский рудник комбината «Печенганикель», Михайловский рудник Железнодорожного горно-обогатительного комбината и Оленегорский рудник. В процессе испытаний было пробурено 20 000 м скважин и отбито 600 000 м<sup>3</sup> горной массы.

Электровибробуры устанавливали на станках СВШ-250 МНА-32. Станки имеют мощность на вращателе 54 кВт. Электровибробур позволяет дополнительно подвести мощность 60 кВт. Таким образом, мощность на вращателе удваивается и составляет почти 120 кВт. Увеличение мощности позволяет увеличить механическую скорость бурения во столько же раз.

Результаты испытаний приведены ниже.

Комбинат . . . . .	Оленегорский	Апатит	Печенганикель
Тип станка . . . . .	СВШ-250 МН	СВШ-250 МН	СВШ-320
Тип электровибробура . . . . .	ЭВБ-219	ЭВБ-219	ЭВБ-273

Коэффициент крепости пород . . .	12—16	11—16	12—17
Диаметр скважин при электровибробурении, мм . . . . .	269	269	320
Диаметр скважин на базовых станках, мм . . . . .	269	269	320
Месячная производительность на станках с электровибробуром, м	5020	5570	4450
То же, на базовых станках, м	2000	3043	2600
Увеличение производительности, раз . . . . .	2,5	1,8	1,7
Техническая производительность на станках с электровибробуром, м/ч . . . . .	27,6	23,6	25,8
То же, на базовых станках, м/ч	9,6	10,1	14,6
Увеличение технической производительности, раз . . . . .	2,8	2,3	1,8
Опытно-расчетная себестоимость 1 м скважин, руб.:			
на базовом станке . . . . .	12	5,08	13,04
на станке с электровибробуром	9,64	3,43	9,45
Уменьшение стоимости, % . . . . .	27	48	42
Проходка на долото, м:			
с электровибробуром . . . . .	60,3	228	120
на базовом станке . . . . .	47	187	86,7
Увеличение стойкости, %, на станках с электровибробуром . . . . .	28	22	38

Комбинат . . . . .	Оленегорский	Железногорский	Оленегорский
Тип станка . . . . .	СВШ-250 МН	СВШ-250 МН	СВШ-250 МН
Тип электровибробура . . . . .	ЭВБ-219	ЭВБ-219	ЭВБ-219
Коэффициент крепости пород . . . . .	12—16	12—16	12—16
Диаметр скважин при электровибробурении, мм . . . . .	269	490	244,5
Диаметр скважин на базовых станках, мм . . . . .	243	243	244,5
Месячная производительность на станках с электровибробуром, м	3019	—	2610
То же, на базовых станках, м	2045	—	1680
Увеличение производительности, раз . . . . .	1,47	—	1,5
Техническая производительность на станках с электровибробуром, м/ч . . . . .	17,3	11,2	18,8
То же, на базовых станках, м/ч	12,2	11,8	11
Увеличение технической производительности, раз . . . . .	1,4	0,99	1,7
Опытно-расчетная себестоимость 1 м скважин, руб.:			
на базовом станке . . . . .	6,79	8,83	—
на станке с электровибробуром	6,37	15,02	—
Уменьшение стоимости, % . . . . .	6	—	—
Проходка на долото, м:			
с электровибробуром . . . . .	116	67	47
на базовом станке . . . . .	88	—	43
Увеличение стойкости, %, на станках с электровибробуром . . . . .	32	—	9

Станки с электровибробурами позволяют увеличить месячную производительность в 1,5—2 раза и снизить себестоимость бурения на 30—40 % по сравнению с базовой техникой. Примечательно, что наложение вибрации на долото увеличивает стойкость последних на 9—28 %. При испытаниях было также установлено, что применение электровибробуров на станках позволяет в 3—5 раз снизить осевое усилие на долото. Так, например, на Михайловском руднике Железногорского ГОКа станком СБШ-250 МН бурили взрывные скважины диаметром 490 мм с осевым усилием 0,1—0,15 МН. При этом была достигнута техническая производительность 11 м/ч, что соответствует производительности бурения скважин обычными станками диаметром 243 мм с осевым усилием 0,2—0,25 МН.

Указанное обстоятельство говорит о возможности создания облегченных буровых станков, оснащенных электровибробурами для бурения скважин долотами диаметром 244,5 и 269,9 мм. Измерения вибраций на станках показали, что при бурении с электровибробурами уровень вибраций на станке ниже, чем при обычном бурении. Эта важная особенность, присущая высокочастотным вибробурам, и создает благоприятные условия для машиниста станка и снижает динамические нагрузки на сам станок и его основные узлы.

Статистические сведения при испытании станков с электровибробурами позволили построить графики производительности бурения для пород различной крепости (рис. 6.12).

Как видно из графиков, механическая скорость бурения электровибробуром в зависимости от крепости пород изменяется от 16 до 40 м/ч, а приращение механической скорости бурения по отношению к вращательному возрастает от 1,56 до 3 раз. Графики показывают, что наибольшая эффективность достигается при бурении электровибробуром в более крепких породах.

Дальнейшие работы целесообразно выполнять в направлениях повышения надежности электровибробуров и создания встроенной станции питания. Эффективность электровибробуров может быть значительно повышена, а стоимость значительно снижена благодаря применению новых сплавов с повышенными магнитоотрицательными свойствами.

Достигнутые показатели надежности (500 ч наработки на отказ) позволяют уже теперь приступить к изготовлению серии стан-

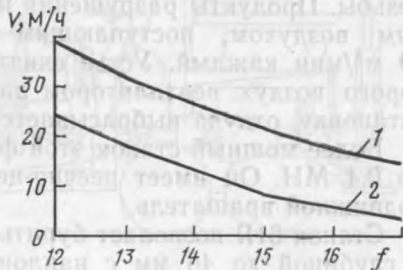


Рис. 6.12. Графики зависимости механической скорости бурения  $v$  шарошечными станками от коэффициента крепости пород  $f$ :

1 — с электровибробуром; 2 — без электровибробура

ков с электровибробурами. Станки целесообразно выполнять на автомобильном ходу. Они будут мобильными, что позволит работать на нескольких уступах, уменьшится масса станков, так как для них не нужно создавать большое осевое усилие, повысится возможность эффективно бурить наклонные скважины, вплоть до горизонтальных, с высокими показателями по производительности.

## 6.5. Шарошечные станки зарубежных фирм

Ведущими фирмами, выпускающими станки шарошечного типа, являются «Бьюсайрус-Ири», «Джой», «Марион», «Роббинс», «Гарднер Денвер», «Ингерсол Рэнд», «Шрамм». Всего выпускается около 80 моделей.

Станки фирмы «Бьюсайрус Ири» 10R, 30R, 40R, 45R, 47R, 50R, 60R, 61R, 62BE имеют наибольшее распространение. Цифра означает массу станка в тоннах, буква — вращательное бурение. Станок 50R является основным. Он предназначен для бурения скважин диаметром 229—311 мм.

Рама станка представляет собой сварную конструкцию, к которой на стойках приварены подшипники трансмиссионных валов. Раму горизонтируют на трех домкратах. Домкраты имеют цилиндры двухстороннего действия диаметром 178 мм с максимальным ходом 1,37 м.

Рама жестко связана с гусеничными тележками в передней части и шарнирно в задней части, что обеспечивает наиболее полное соприкосновение гусеничных лент с грунтом при передвижении по неровной поверхности. Гусеничные тележки имеют индивидуальный привод от двигателя постоянного тока мощностью 20 кВт.

Буровая мачта имеет высоту над рамой станка 12,19 м. Это позволяет применять штанги длиной 9,77 м. Высота станка с поднятой мачтой 16,5 м. Подача на станке реечная. Рейки расположены с двух противоположных сторон мачты по всей ее длине.

Вращатель состоит из двигателя постоянного тока мощностью 55 кВт, редуктора со шпинделем, служащим для соединения штанг, напорного барабана с валом, на обоих концах которого установлены шестерни в постоянном зацеплении с зубчатыми рейками. На мачте станка установлен сепаратор, в котором находится четыре штанги. Имеется механический ключ для строгивания резьбы. Продукты разрушения и охлаждения долота удаляют сжатым воздухом, поступающим от двух компрессоров подачей 30 м<sup>3</sup>/мин каждый. Устье скважины ограждено колпаком, от которого воздух вентилятором засасывается в пылеулавливающую установку, откуда выбрасывается в атмосферу.

Более мощный станок этой фирмы 60R развивает осевое усилие до 0,4 МН. Он имеет реечно-цепной механизм подачи и верхний подвижной вращатель.

Станок 61R позволяет бурить скважины диаметром 311—444 мм и глубиной до 46 м с наклоном от 0 до 30°, а станок СД120



фирмы «Гарднер Денвер» — скважины диаметром до 558 мм. Масса этого станка 135 т, осевое усилие 0,67 МН.

Фирма широко рекламирует станок 47R, которым бурят скважины диаметром 171—311 мм. Для вращения бурового става установлено два электродвигателя постоянного тока. Усилие подачи достигает 408 кН. Для очистки скважин подается воздух от компрессора подачей до 3,3 м<sup>3</sup>/с. Масса станка 108,8 т.

Фирма «Джой» выпустила станок 965 ВН, предназначенный для бурения вертикальных и наклонных скважин (до 30° к вертикали); стрела консольная на полноповоротной платформе. Станок позволяет бурить скважины диаметром 270 мм, глубиной до 46 м.

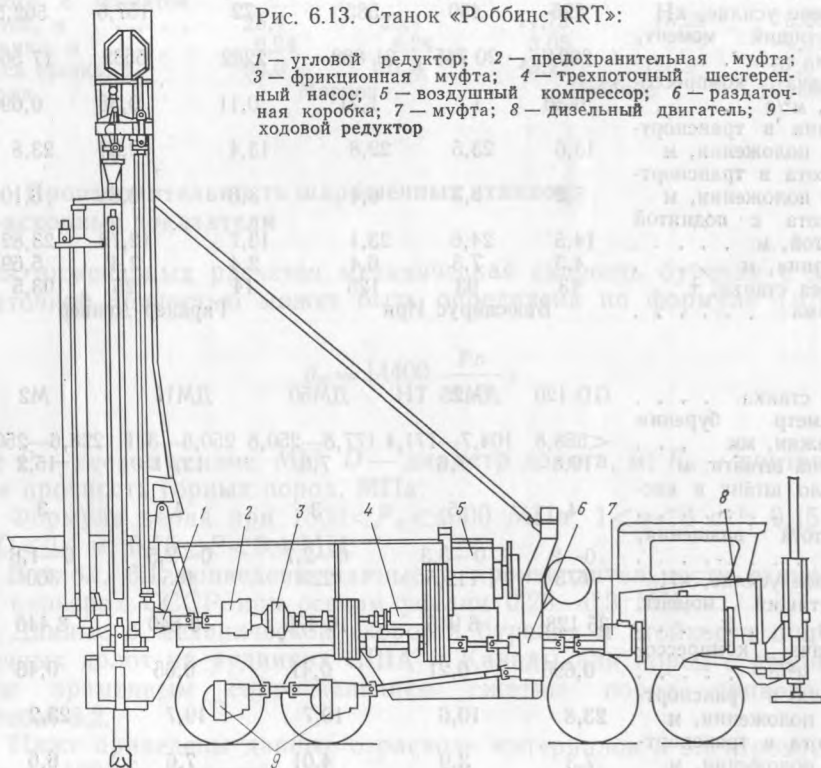
Фирма «Марион» также выпускает мощные станки шарошечного бурения на гусеничном ходу для бурения скважин диаметром 311—381 мм.

Основное внимание уделяется модернизации буровых станков. Станок М-4 фирмы «Марион» позволяет бурить скважины диаметром 252—381 мм за один проход глубиной 19,8 м и максимальной глубиной 59,5 м.

На станках устанавливают систему автоматического управления режимом бурения. Станки позволяют бурить наклонные (до 30°) скважины. Двигатели хода гидравлические.

Рис. 6.13. Станок «Роббинс RRT»:

1 — угловой редуктор; 2 — предохранительная муфта; 3 — фрикционная муфта; 4 — трехшестеренный насос; 5 — воздушный компрессор; 6 — раздаточная коробка; 7 — муфта; 8 — дизельный двигатель; 9 — ходовой редуктор



Появился интерес к станкам на автомобильном ходу (рис. 6.13). Высокая их мобильность позволяет бурить скважины на разных уступах, тем самым уменьшается общее число станков на карьере. Вместе с тем уменьшаются и запасы обуренной горной массы, что уменьшает оборотные средства. Станки легко удаляются от места взрыва, их ремонт производится в центральных мастерских, а не в условиях карьера, благодаря чему повышается качество ремонта.

Появилась общая тенденция в горном машиностроении к замене электродвигателя гидродвигателем [38, 47, 49].

Для ознакомления с моделями станков зарубежных фирм приведем данные о моделях, имеющих наибольшее применение на карьерах США и Канады (данные Е. М. Воробьевой).

Тип станка	40R	55R	61R	RDC 168-SP	GD 251 35c-PR	GD 100
Диаметр бурения скважин, мм	152—228	228—311	311—445	76—130	152—222	<444
Длина штанги, м	12	18	19,5	11,6	7,6	19,8
Число штанг в кассете	4	2	3	1	6	4
Частота вращения, с <sup>-1</sup>	0—1,4	0—1,6	0—2	0—4,1	0—2,7	0—2
Осевое усилие, кН	225	450	585	72	157,6	562,5
Крутящий момент, Н·м	2904	20 745	31 888	2282	5532	17 564
Подача компрессоров, м <sup>3</sup> /с	0,36	1	1,21	0,11	0,36	0,696
Длина в транспортном положении, м	13,6	23,5	22,8	13,4	12,04	23,8
Высота в транспортном положении, м	5,2	8,3	6,4	3,6	3,84	6,10
Высота с поднятой мачтой, м	14,5	24,6	23,1	13,7	12,72	23,82
Ширина, м	4,3	7,3	6,4	2,4	2,4	5,69
Масса станка, т	43	93	125	14	26	103,5
Фирма	Бьюсайрус Ири			Гарднер Денвер		

Тип станка	GD 120	DM25 TH	DM50	DMH	M2
Диаметр бурения скважин, мм	<558,8	104,7—171,4	177,8—250,8	250,8—311	228,6—250,8
Длина штанги, м	19,8	7,6	7,6	13,71	15,2
Число штанг в кассете	4	5	3	4	3
Частота вращения, с <sup>-1</sup>	0—2	0—3,3	0—2,7	0—2,5	0—1,8
Осевое усилие, кН	675	112,5	225	405	360
Крутящий момент, Н·м	35 128	6 915	10 476	13 840	8 446
Подача компрессоров, м <sup>3</sup> /с	0,696	0,21	0,41	0,65	0,46
Длина в транспортном положении, м	23,8	10,6	10,7	19,7	23,2
Высота в транспортном положении, м	7,3	3,9	4,01	7,6	6,6

Высота с поднятой мачтой, м . . . . .	23,82	10,51	10,97	22,65	23,1
Ширина, м . . . . .	6	3,98	3,98	7,11	5,9
Масса станка, т . . . .	135	22,5	34,4	94,5	74,25
Фирма . . . . .	Гарднер Денвер		Ингерсол Рэнд		Марион

Тип станка . . . . .	M4	M5	RRT-60	RR-15E	C-912
Диаметр бурения скважин, мм . . . . .	228—381	250,8—444,7	171,4—250,6	269,8—381	269,8
Длина штанги, м . . . .	15,2	15,2	7,6	9,75	11,6
Число штанг в кас- сете . . . . .	3	3	5	5	4
Частота вращения, с <sup>-1</sup> . . . . .	0—1,8	0—1,8	0—2,4	0—2	0—2,1
Осевое усилие, кН . . . .	472,5	540	270	540	315
Крутящий момент, Н·м . . . . .	13 138	24 834	9 335	33 132	10 487
Подача компресси- ров, м <sup>3</sup> /с . . . . .	0,6	0,6	0,46	1,09	0,56
Длина в транспортном положении, м . . . . .	25,5	25,7	12,7	15,2	16,96
Высота в транспорт- ном положении, м . . . .	6,6	6,6	4,03	7,57	4,97
Высота с поднятой мачтой, м . . . . .	25,4	25,4	11,73	18,29	16,86
Ширина, м . . . . .	6,24	6,24	3,05	5,79	4,89
Масса станка, т . . . . .	90,0	101,3	43,2	126,9	57,6
Фирма . . . . .	Марион		Роббинс		Шрамм

## 6.6. Производительность шарошечных станков и расходные показатели

Для инженерных расчетов механическая скорость бурения с достаточной точностью может быть определена по формуле (м/ч)

$$v_m = 14400 \frac{Pn}{P_k D},$$

где  $P$  — осевое усилие, МН;  $D$  — диаметр долота, м;  $P_k$  — контактная прочность горных пород, МПа.

Формула верна при  $1500 < P_k < 4000$  МПа;  $1 < n < 3$  с<sup>-1</sup>;  $0,15 < D < 0,4$  м;  $0,15 < P < 0,4$  МН.

В табл. 6.1 приведены данные о производительности станков на карьерах СССР при осевом усилии 0,25—0,3 МН.

Данные о механической скорости бурения и стойкости шарошечных долот на рудниках США и Канады для пород с различным временным сопротивлением сжатию пород приведены в табл. 6.2.

Ниже приведены данные о расходе материалов и электроэнергии на 1000 м скважин.

Тип станка	Предприятие	Коэффициент крепости породы	Тип долота	Диаметр долота, мм	Частота вращения, с <sup>-1</sup>	Расход воздуха на продувку, м <sup>3</sup> /мин	Проходка на долото, м	Механическая скорость бурения, м/ч	Производительность, м/смену
СВШ-250МН	ЮГОК	16-18	ОК-ПВ	244,5	2,5	25	121,6	7,9	59,8
СВШ-250МН	Михайловский (КМА)	15-16	ОК-ПВ	244,5	1,3-2	25	84,4	9,7	72,8
СВШ-250МН	Лебедянский ГОК	16-18	ОК-ПВ	244,5	1,3-1,7	25	64,7	4,9	36,9
СВШ-250МН	Ждановский ГОК	14-16	К-ПВ	244,5	1,7-2,17	25	164,3	8,92	66,9
СВШ-250МН	Ингулецкий ГОК	16-18	ОК-ПВ	244,5	1,35	25	102	7,02	62,7
СВШ-250МН	Коунрадский рудник	10	К-ПВ	244,5	1,7-2,5	25	241,6	11,2	84
СВШ-250МН	Рудник «Медвежий ручей» (Норильск)	12-16	ОК-ПВ	244,5	3	25	124,5	7,8	58,6
СВШ-250МН	Анновский карьер	12-14	ОК-ПВ	244,5	1,3-2,6	25	180	8,4	63,2
СВШ-250МН	Гайский ГОК (карьер № 1)	12-14	Т-ПВ	244,5	0,5-2,5	25	232	6,02	45,2
СВШ-250МН	Учалынский ГОК	12-14	ОК-ПВ	243	1,3	25	136	6,76	50,7
СВШ-250МН	Оленегорский ГОК	14-16	ОК-ПВ	244,5	1,3-2	25	116	9,29	69,7
СВШ-250МН	Сарбайский рудник	12-18	К-ПВ	269,9	1,3-2	25	180	13,2	80
СВШ-250МН	Соколовский рудник	10-14	К-ПВ	243	1,35	25	160	13,1	72
СВШ-250МН	Джеггаринский рудник	8-12	Т-П	243	1,35	20	120	13,2	78
СВШ-320	Ингулецкий ГОК	10-12	ОК-П	320*	1,3	50	273	20	101
СВШ-320	Ингулецкий ГОК	12-14	ОК-П	320*	1,3	50	199	17,3	86
СВШ-320	Ингулецкий ГОК	16-18	ОК-П	320*	1,3	50	96	12,1	58
СВШ-320	Ингулецкий ГОК	18-20	ОК-П	320*	1,3	50	62	9,2	45
2СВШ-200Н	Томусинский разрез ПО «Кемеровоуголь»	9-10	Т-ПВ	215,9	2-2,67	18	292	16,05	120,4
СБР-160	Азейский разрез ПО «Востсибуголь»	3	НПИ-6	215,9	—	—	97,9	19,9	162

\* При осевом усилии на долото 0,5МН.

\*\* При осевом усилии на долото 0,08МН.

		2СВШ-200 (диаметр скважины 214 мм)					
Тип станка	Кoeffициент крепости пород	6	8	10	12	14	16
Штыревые шарошечные долота, шт.		1,5	2,5	4	7	10	12
Буровые штанги, кг		105	180	220	280	320	380
Горючие и смазочные материалы, кг		170	190	220	250	280	300
Вода, м <sup>3</sup>		—	—	—	—	—	—
Электроэнергия, кВт·ч		21 800	26 800	—	39 000	50 000	68 000

		СВШ-250 (диаметр скважины 243 мм)			
Тип станка	Кoeffициент крепости пород	10	12	14	16
Штыревые шарошечные долота, шт.		5,5	6,3	8,3	17
Буровые штанги, кг		230	305	380	460
Горючие и смазочные материалы, кг		180	250	370	400
Вода, м <sup>3</sup>		24	24	24	24
Электроэнергия, кВт·ч		21 000	30 000	6 100	73 000

ТАБЛИЦА 6.2

Временное сопротивление пород сжатию, МПа	Скорость бурения скважин диаметром 250 мм, м/ч, станком		Проходка на долото, м	Временное сопротивление пород сжатию, МПа	Скорость бурения скважин диаметром 250 мм, м/ч, станком		Проходка на долото, м
	50R	60R			50R	60R	
105	9,5	16	400	245	5,5	10	210
140	8	14	320	280	5	9,2	190
175	6,8	12,2	280	315	4,5	8,5	180
210	6,1	11	240	350	4,2	8,4	170

### 6.7. Станки шнекового бурения

Согласно ГОСТ 26698—85, станки с применением долот режущего типа должны иметь начиная с 1 января 1988 г. параметры, приведенные ниже.

Условный диаметр скважины, мм	160	200
Глубина бурения вертикальных скважин, м	24; 32	32
Угол наклона скважины от вертикали, градус	0; 15; 30	
Ресурс до первого капитального ремонта, ч, не менее	7 500	10 500
Техническая производительность, м/ч, при коэффициенте крепости пород:		
$f_1 = 1 \div 3$	70; 120	120
$f_1 = 3 \div 6$	35; 60	60

Станки этого типа широко применяют в угольной промышленности при бурении скважин в мягких породах. Механизм разрушения пород при вращательном бурении носит характер периодического скола с резкими колебаниями усилий на лезвиях инструмента. Промышленность выпускает станки СВБ-2М; 2СБР-



125-30 и СБР-160А-24. Остановимся на последнем, как на наиболее современном.

Буровой станок СБР-160А-24 (рис. 6.14) имеет увеличенные крутящий момент, принудительное давление на забой. Скважины бурят диаметром 160 мм на глубину до 24 м. Станок имеет обогрев и может эксплуатироваться при температуре до  $-40^{\circ}\text{C}$ . Мачта имеет длину 11 м, что позволяет применять штанги длиной 8,2 м. Она выполнена в виде пространственной фермы прямоугольной формы сечения. Внутри мачты по направляющим перемещается вращатель, который служит для создания крутящего момента буровому ставу. Вращатель состоит из двухскоростного асинхронного электродвигателя и редуктора. Внутри мачты помещают кассету с запасными буровыми штангами. В нижней части мачты имеется штанговый захват, который состоит из вилки и

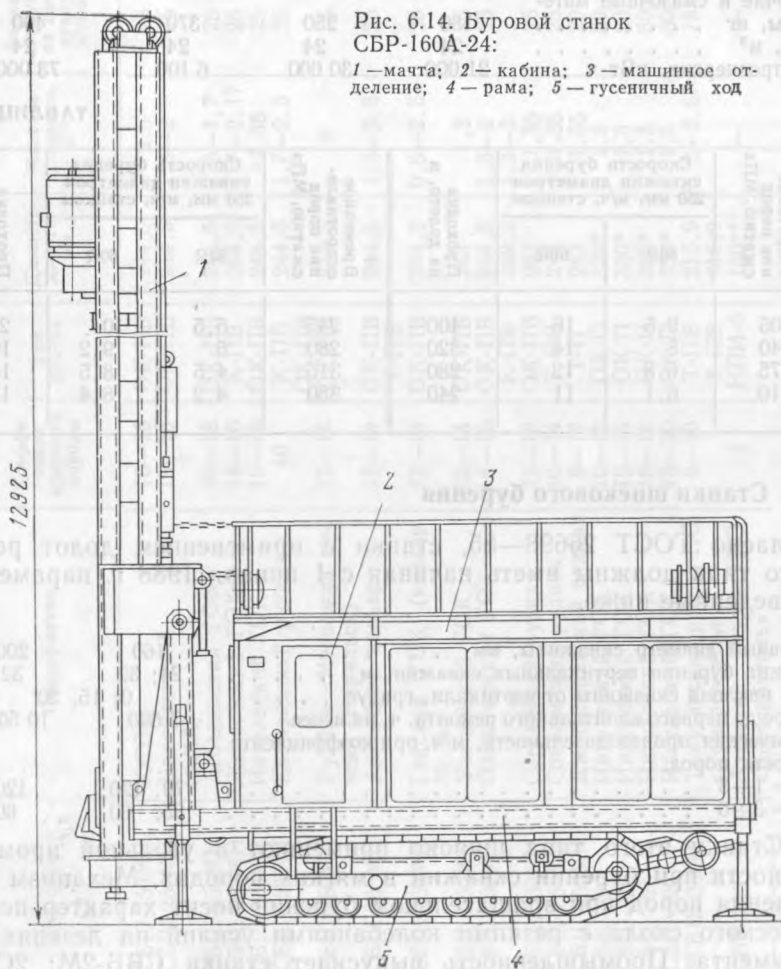


Рис. 6.14. Буровой станок СБР-160А-24:

1 — мачта; 2 — кабина; 3 — машинное отделение; 4 — рама; 5 — гусеничный ход

гидроцилиндра. Вилка перемещается в направляющих пазах нижнего люнета.

Станок СБР-160А-24 имеет канатную систему подачи, а барабан лебедки — два привода, один из которых с системой плавного регулирования. Лебедка подъема вращателя оборудована электрическим тормозом, электромагнитной муфтой и электродвигателем постоянного тока П-41. Подъем и опускание мачты производят с помощью электрогидравлической системы, которая обеспечивает выполнение следующих операций: подъем и опускание мачты, горизонтирование станка, перемещение штанг, захват штанг, работу гидроцилиндров вращателя. Станок на гусеничном ходу от экскаватора Э-303. Каждая гусеница имеет индивидуальный привод от электродвигателя АОС2-61-4, крутящий момент от которого передается ходовым звездочкам через цилиндрический редуктор с передаточным отношением 180. Производительность станка при бурении скважины диаметром 160 мм составляет 100 м/смену в породах с  $f=6$ , а в породах более мягких (с  $f=2\div 4$ ) — 120—240 м/смену.

Станок СБР-200-50 (СБШ-12-200-50) позволяет бурить скважины режущим инструментом и шарошками. Первыми бурят скважины в породах с  $f < 6$ , а шарошками — в породах с  $f = 4\div 10$ . Применяется он главным образом на угольных разрезах для бурения вертикальных и наклонных скважин с углом наклона до  $30^\circ$ . На станке установлен вращатель с высокомоментным гидродвигателем. Подачу бурового става на забой осуществляют с помощью двух гидроцилиндров. Штоки гидроцилиндров связаны с гидравлическим захватом. Инструмент подают шагами с величиной хода 1 м, причем перехват снаряда осуществляют автоматически. Станок снабжен гидравлическим механизмом строгания резьбы для разборки бурового снаряда.

Продукты разрушения удаляют шнеком, сжатым воздухом или в комбинации того и другого с использованием системы сухого пылеподавления. Аппаратура управления станком размещена в кабине. Последняя выполнена с максимальными комфортными условиями: имеет защиту от шума и калориферную установку для обогрева. Для предотвращения попадания пыли в кабину предусмотрен наддув атмосферного воздуха.

Станок выпускает Бузулукский завод тяжелого машиностроения им. В. В. Куйбышева.

Ниже приведены сведения о шнековых станках.

Тип станка	2СБР-125-30	СВБ-2М
Условный диаметр бурения скважин, мм	115; 125	160
Глубина бурения скважин, м, не более	30	25
Частота вращения инструмента, $c^{-1}$	4,2	2; 3,3
Крутящий момент, кН·м	1,8	10
Скорость подачи, м/с	0—0,25	0—0,016
Усилие подачи, кН, не более	40	50
Длина штанги, м	1,85	1,85
Диаметр шнековой (числитель) и гладкой (знаменатель) штанги, мм	107/57; 120/65	155/76

Продолжение

Скорость передвижения станка, км/ч . . . . .	1,3	1,36
Давление на грунт, МПа . . . . .	0,08	0,05
Установленная мощность, кВт:		
двигателей . . . . .	98	61
вращателя . . . . .	40	40
ходового оборудования . . . . .	26	14
Преодолеваемый уклон, градус . . . . .	15	18
Основные размеры в рабочем положении, мм:		
длина . . . . .	5200	4300
ширина . . . . .	3250	2850
высота . . . . .	7200	3070
Масса, т . . . . .	10	9,25
Тип станка . . . . .	СБР-160А-24	СБР-200-50 (СВШК-200-50)
Условный диаметр бурения скважин, мм . . . . .	160; 200	160; 200
Глубина бурения скважин, м, не более . . . . .	24	50
Частота вращения инструмента, с <sup>-1</sup> . . . . .	1,7; 2,3; 3,3	0,05—3
Крутящий момент, кН·м . . . . .	12	4,4—9,7
Скорость подачи, м/с . . . . .	0—0,5	0,03—0,48
Усилие подачи, кН, не более . . . . .	65	200
Длина штанги, м . . . . .	8,25	12
Диаметр шнековой (числитель) и гладкой (знаменатель) штанги, мм . . . . .	155/70	208/108
Скорость передвижения станка, км/ч . . . . .	0,9	0,8
Давление на грунт, МПа . . . . .	0,06	0,1
Установленная мощность, кВт:		
двигателей . . . . .	105	337
вращателя . . . . .	36; 40; 50	Нет данных (н. д.)
ходового оборудования . . . . .	2×14,5	Н. д.
Преодолеваемый уклон, градус . . . . .	15	12
Основные размеры в рабочем положении, мм:		
длина . . . . .	7 080	10 300
ширина . . . . .	3 400	4 900
высота . . . . .	12 925	18 200
Масса, т . . . . .	25	48,2

Производительность шнековых станков СВБ-2М приведена в табл. 6.3.

ТАБЛИЦА 6.3

Карьер	Породы	Кoeffициент крепости пород	Глубина бурения скважин, м	Производительность станка, м/смену
Рождественский	Известняки	10	12	30
Южный вскрышной	Алевролиты	1—2	10—12	100
ПО «Вахрушевуголь»				
То же	Аргиллиты	3—4	10—12	83
» »	Аргиллиты, песчаники	5—6	10—12	56,3
Карадагский	Трещиноватые известняки	2—3	18—20	70—75
Веневский	Известняки	5—6	4—5	35
Шуровский	Трещиноватые доломиты	5—6	5—6	30—35
Северный вскрышной	Известняки	6—10	10—12	15
ПО «Вахрушевуголь»				

Расход бурового инструмента станком СВБ-2М на 1000 м скважин и его производительность в зависимости от коэффициента крепости пород приведены ниже.

Коэффициент крепости пород	1—2	3	4	5
Долото, шт.	0,5—0,7	1—1,2	4—5	5—6,7
Штанги, шт.	0,25—0,3	1,2—1,6	4—5	5—6,7
Производительность, м/смену	160	100	50	25

Производительность станков СБР-160 в породах с  $f=3$  составляет 162 м/смену.

## 7. БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ

### 7.1. Материалы для изготовления бурового инструмента

Буровой инструмент при работе подвергается большим знакопеременным нагрузкам. Его изготавливают из легированных сталей. Породоразрушающие элементы (лезвия) армируют твердыми сплавами и алмазами.

В табл. 7.1 приведены марки и химический состав применяемых сталей.

Армирование инструмента производят вольфрамо-кобальтовыми сплавами типа ВК. В табл. 7.2 сосредоточены сведения о физико-механических свойствах твердых сплавов (ГОСТ 3882—74).

Области применения различных марок сплавов приведены ниже.

ВК4В	Бурение электро- и пневмосверлами углей, антрацитов, неокварцованных сланцев, калийных и каменных солей; бурение ручными и колонковыми электросверлами горных пород с $f < 8$ ; армирование шарошечных долот
ВК6	Вращательное бурение шпуров и скважин в монолитных и абразивных горных породах с $f < 8$
ВК6В	Ударно-поворотное бурение шпуров в горных породах с $f < 8$ , зарубка крепких каменных углей с незначительным включением твердых пород
ВК8	Вращательное бурение шпуров и скважин в трещиноватых абразивных горных породах с $f < 8$ ; распиловка мрамора, известняка и т. д.
ВК8ВК	Шарошечное бурение скважин в крепких и очень крепких абразивных горных породах с $f < 18$
ВК8В	Ударно-поворотное, ударно-вращательное и вращательно-ударное бурение шпуров и скважин в крепких горных породах с $f < 14$ ; зарубка крепких каменных углей с включением твердых пород; обработка гранитов и подобных по крепости горных пород
ВК10КС	Ударно-поворотное, ударно-вращательное, вращательно-ударное бурение шпуров и скважин в средней крепости и крепких абразивных горных породах с $f < 18$
ВК11ВК	Шарошечное бурение шпуров и скважин в вязких, средней крепости и крепких абразивных горных породах с $f < 10$
ВК11В	Ударно-поворотное, ударно-вращательное, вращательно-ударное бурение шпуров и скважин в очень крепких и абразивных горных породах с $f < 18$
ВК15	Ударно-поворотное, ударно-вращательное бурение шпуров и скважин в высшей степени крепких горных породах при работе пневматическими молотками

Инструмент	Страна	Марка стали	Содержание элементов, %						
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	U
Перфораторные коронки	СССР	35ХГСА 20Х2Н4А	0,32—0,39	1,1—1,4	0,8—1,1	1,1—1,4	0,4	—	—
			0,16—0,22	0,17—0,37	0,3—0,6	1,25—1,65	3,25—3,65	—	—
	СССР	18Х2Н4МА	0,14—0,2	0,17—0,37	0,25—0,55	1,35—1,65	4—4,4	0,3—0,4	—
	Швеция	—	0,3 0,5	0,23 0,23	0,56 0,56	1,18 1	2,9 0,5	0,35 1	— 0,1
	Швеция	—	0,22	1,5	1,3	0,35	1,8	0,35	—
	Финляндия	—	0,36	0,18	0,4	1,26	1,25	0,2	—
	ФРГ	—	0,45	0,46	0,62	1,35	1,05	0,08	—
	Япония	—	0,45	0,23	0,52	0,56	3,2	0,38	—
Соединительные муфты для перфораторного	СССР	12ХНЗА	0,09—0,16	0,17—0,37	0,3—0,6	0,6—0,9	2,45—3,15	—	—
	Швеция	—	0,32	0,27	0,52	1	2,89	0,4	—

бурения	Финляндия	—	0,37	0,22	0,58	1,7	3,93	0,36	—
	СССР	Сталь 35	0,32—0,39	0,17—0,37	0,5—0,8	—	—	—	—
Штанги для станков шарошечного бурения	СССР	30ХГСА	0,32—0,39	1,1—1,4	0,8—1,1	0,8—1,4	—	—	—
	СССР	40Х	0,37—0,45	0,17—0,37	0,5—0,8	0,8—1,1	0,25	—	—
	СССР	40ХН	0,37—0,45	0,17—0,37	0,5—0,8	0,45—0,75	1—1,4	—	—
Пневмоударные коронки	СССР	45ХН	0,42—0,50	0,17—0,37	0,5—0,8	0,45—0,75	1,0—1,4	—	—
Шарошечные долота	СССР	20ХНЗА	0,18—0,24	0,17—0,37	0,3—0,6	0,6—0,9	2,8—3,2	—	—
Штанги для перфораторного бурения	СССР	55С2	0,47—0,55	1,5—2	0,6—0,9	0,3	0,4	—	—
	СССР	28ХГНЗМ	0,24—0,34	0,2—0,4	1—1,3	0,8—1,1	2,75—3,15	0,2—0,4	—
	Швеция	—	0,2	0,3	0,5	0,5	1,8	0,35	—
	Швеция	—	0,35	0,2	0,5	1,2	3	0,35	—
	Швеция	—	0,95	0,2	0,3	1	—	0,2	—
США	—	0,17—0,22	0,2—0,35	0,45—0,65	0,4—0,6	1,35—2	0,2—0,3	—	
Япония	—	0,23—0,29	0,25—0,29	0,5—0,54	0,42—1,33	3—3,2	0,25	—	



ТАБЛИЦА 7.2

Марка	Содержание основных компонентов в смеси порошков, %		Физико-механические свойства		
	карбид вольфрама	кобальт	предел прочности при изгибе, МПа, не менее	плотность, г/см <sup>3</sup>	твёрдость, НРА, не менее
ВК4В	96	4	14	14,9—15,2	88
ВК6	94	6	15	14,6—15	88,5
ВК6В	94	6	15,5	14,6—15	87,5
ВК8	92	8	16	14,4—14,8	87,5
ВК8В	92	8	17,5	14,4—14,8	86,5
ВК8ВК	92	8	17,5	14,5—14,8	87,5
ВК10КС	90	10	17,5	14,2—14,6	85
ВК11В	89	11	18	14,1—14,4	86
ВК11ВК	89	11	18	14,1—14,4	87
ВК15	85	15	18	13,9—14,1	86

ТАБЛИЦА 7.3

Страна, фирма, марка припоя	Содержание элементов, %							Температура плавления, °С
	Cu	Mn	Si	Ni	Ag	Zn	Co	
СССР, № 4	49	1	0,1	8	—	41	0,9	955
СССР, Л63	63	—	—	—	—	37	—	905
Швеция, коронки диаметром до 51 мм:								
Сандвик Коромант	97	—	0,5	2,5	—	—	—	1120
Фагерста Секорок	87	10	—	—	—	—	3	1020
Швеция, коронки диаметром свыше 64 мм:								
Сандвик Коромант	38	9,5	—	5,5	27	20	—	840
Фагерста Секорок	16	7,5	—	4,5	49	23	—	690

Формы изделий из металлокерамических сплавов для горного инструмента регламентируются ГОСТ 3882—74, ГОСТ 880—75.

Пластинки из твердых сплавов крепят в пазах корпусов разрушающего инструмента с помощью припоев (табл. 7.3).

## 7.2. Буровой инструмент для электросверл

Буровой инструмент для электросверл состоит из резцов и штанг. Резцы в гнезде штанги крепят с помощью шпильки. Промышленностью выпускается два типа резцов: угольные РУ и породные РП.

Резцы (рис. 7.1) состоят из корпуса 5, хвостовика 6, предназначенного для крепления резца в штанге, и двух перьев 4. Резцы для мягких пород и углей имеют длинные перья, у породных резцов перья укороченные, а корпус имеет массивную форму.

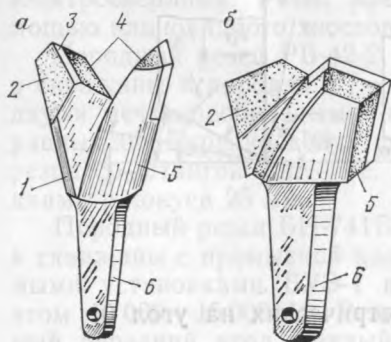


Рис. 7.1. Угольный (а) и породный (б) резцы

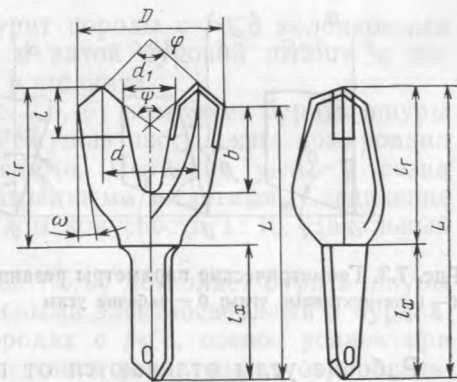


Рис. 7.2. Основные размеры резцов:  $D$  — диаметр резца;  $d$  — диаметр расщепки;  $d_1$  — диаметр раствора;  $b$  — глубина раствора;  $l$  — длина армировки;  $l_{Г}$  — длина головки резца;  $l_{Х}$  — длина хвостовика;  $L$  — длина резца;  $\omega$  — угол конусности;  $\varphi$  — угол при вершине резца;  $\psi$  — угол расщепки

Передняя грань резца 1 обращена в сторону вращения и армируется пластинкой твердого сплава 2. Задняя грань 3 обращена в сторону забоя шпура. Пересечение передней и задней граней образует главную режущую кромку.

Обозначение размеров и углов резцов показано на рис. 7.2. Плоскость резания — плоскость, проходящая через рабочее лезвие резца. Конструктивные углы определяют форму рабочей части инструмента [30].

Угол заострения  $\delta$  (рис. 7.3) — угол между передней и задней гранями резца. Для горных сверл этот угол обычно равен  $65$ — $90^\circ$ .

Задний угол  $\alpha$  — угол между плоскостью резания и касательной к задней поверхности резца. Величина угла обычно принимается равной  $5$ — $20^\circ$ .

Угол резания  $\gamma$  — угол между передней поверхностью (гранью) резца и плоскостью резания. При величине угла  $\gamma = 50 \div 70^\circ$  обеспечивается минимальная энергоёмкость для бурения шпуров в слабых породах. Для бурения в крепких породах применяют резцы с углами резания  $70$ — $115^\circ$ .

Передний угол  $\beta$  — угол между передней поверхностью инструмента и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания и проведенной через главную режущую кромку. Передние углы бывают положительными, отрицательными и нулевыми. Положительные углы применяют в резцах, предназначенных для бурения в слабых породах. Для бурения в крепких породах применяют резцы с отрицательными передними углами.

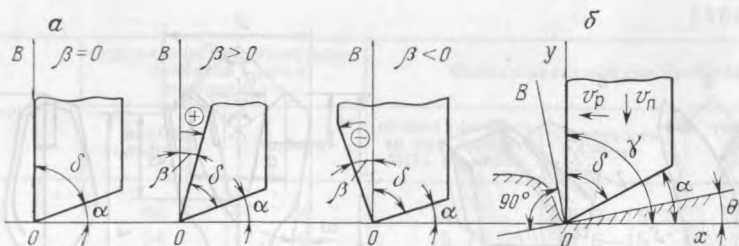


Рис. 7.3. Геометрические параметры резания:  
 а — конструктивные углы; б — рабочие углы

Рабочие углы отличаются от геометрических на угол  $\theta$ .

$$\theta = \arctg \frac{v_n}{v_p},$$

где  $v_n$  — поступательная скорость перемещения резца;  $v_p$  — скорость резания.

Хвостовики угольных резцов выполняют плоскими. Породные резцы имеют пустотелые хвостовики для бурения с промывкой или трубчатые с конусным соединением.

В табл. 7.4 приведена область применения резцов, выпускаемых промышленностью.

Резец РУ-4М (рис. 7.4, а) применяют при бурении шпуров в углях, не имеющих породных включений, и в некрепких породах ручными сверлами.

Резец РУ-13М (рис. 7.4, б) предназначен для бурения шпуров в более крепких породах (с  $f=4\div 6$ ). Он имеет асимметричные режущие кромки с углами 45 и 30°, что способствует снижению усилия подачи.

Резец РУ6-1 (рис. 7.4, в) имеет между перьями угловую расщелку.

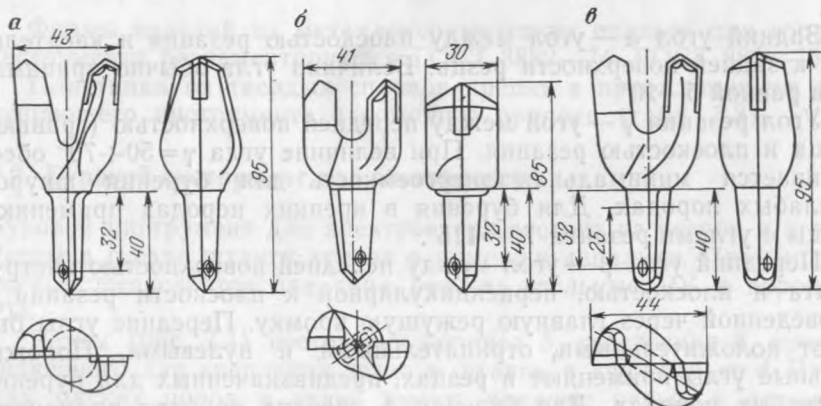


Рис. 7.4. Угольные резцы

Резцом РП-7 (рис. 7.5, а) бурят породы с  $f \leq 8$  колонковыми электросверлами. Резец крепят в витой буровой штанге с помощью клиновидного хвостовика и шплинта.

Породный резец РБ-42-2 (рис. 7.5, б) позволяет бурить шпур и скважины в породах с  $f = 10$ . Режущая часть резца армирована двумя чечевицеобразными вставками. Передние углы у резца равны  $20^\circ$ . Бурение ведут шестигранными штангами. Соединение резца со штангой конусное, с углом конусности 1:15. Начальный диаметр конуса 25 мм.

Породный резец БИ-741В (рис. 7.5, в) позволяет бурить шпур и скважины с промывкой колонковыми электросверлами и бурильными установками БУЭ-1 в породах с  $f < 8$ , осевое усилие при этом 10 000—15 000 Н. Режущая часть резца имеет отрицательный передний угол, равный  $15^\circ$ . Штанги применяют шестигранные. Соединение конусное, с углом конусности  $5^\circ$ . Начальный диаметр конуса 22 мм.

Для бурения шпуров в крепких породах выпускается резец РП-42. Угол заострения резца  $60^\circ$ , передний отрицательный угол составляет 10— $20^\circ$ . Резец применяют при осевом усилии до 20 кН.

Перспективными являются резцы РП-43 (рис. 7.5, г), которые способствуют повышению механической скорости бурения в 1,5—2 раза и снижают расход резцов в 2—2,5 раза [37], а также дифференциальные резцы [30].

Буровые штанги применяют витые, шестигранные и круглые. Для изготовления витых штанг используют прокат из стали У7

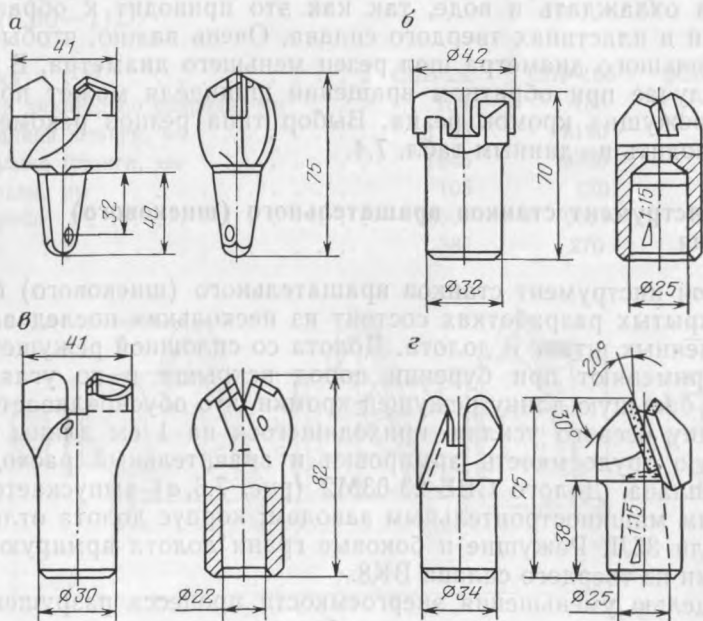


Рис. 7.5. Породные резцы

ТАБЛИЦА 7.4

Резец	Машины или механизмы для бурения шпуров	Область применения
РМС-43	Ручные и колонковые сверла	Калийные соли и мягкие породы с $f = 1 \div 3$
РУ-4М; РУ-6; БИ-525 РУ-13М	Ручные сверла	Уголь любой крепости и породы с $f = 1,5 \div 3$
РП-7; БИ-741В	Ручные и колонковые сверла	Уголь любой крепости и породы с $f = 2 \div 6$
РБ-42-2 РП-42	Колонковые сверла и буровые каретки	Породы с $f = 4 \div 8$
	Колонковые электросверла и буровые каретки	Породы с $f = 8 \div 12$

ромбического сечения. Размеры диагоналей ромба  $18 \times 36$  мм, шаг спирали 60—80 мм. При бурении с промывкой применяют витые штанги с центральным осевым каналом. На установках БУЭ-1 используют штанги диаметром 32 мм, имеющие конусное соединение с резцом и шпинделем бурильной машины.

Расход резцов во многом зависит от их соответствия буримым углям и породам. Бурить следует хорошо заточенными резцами. Применение тупых резцов ведет к увеличению осевого усилия и отсюда к повышению расхода электроэнергии. При заточке резцы нельзя охлаждать в воде, так как это приводит к образованию трещин в пластинах твердого сплава. Очень важно, чтобы за резцом большого диаметра шел резец меньшего диаметра. В противном случае при обратном вращении шпинделя может произойти скол режущих кромок резца. Выбор типа резцов рекомендуется производить по данным табл. 7.4.

### 7.3. Инструмент станков вращательного (шнекового) бурения

Буровой инструмент станков вращательного (шнекового) бурения на открытых разработках состоит из нескольких последовательно соединенных штанг и долота. Долота со сплошной режущей кромкой применяют при бурении пород вскрыши и по углям. Они имеют большую длину режущей кромки, что обуславливает малую величину осевого усилия, приходящегося на 1 см длины лезвия, высокую трудоемкость армировки и значительный расход твердого сплава. Долото СВБ-23-03М2 (рис. 7.6, а) выпускается Карпинским машиностроительным заводом; корпус долота отливается из стали 35Л. Режущие и боковые грани долота армируют пластинками из твердого сплава ВК8.

С целью уменьшения энергоемкости процесса разрушения породы на забое скважины целесообразно создавать разрыв сплошности забоя. В этом отношении весьма показательны долота со



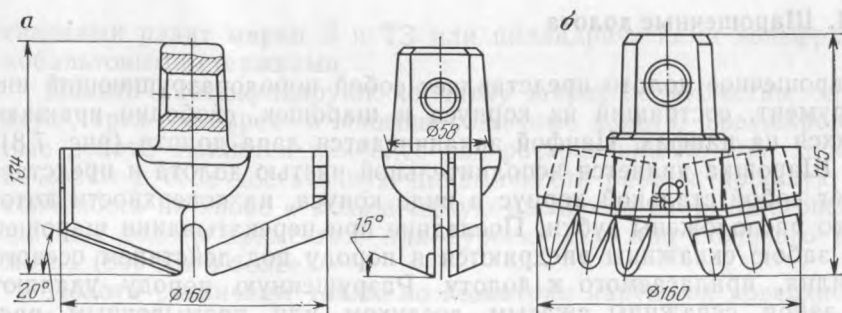


Рис. 7.6. Долота со сплошными лезвиями и съемными резцами

съемными резцами (рис. 7.6, б). Каждое долото армируют шестью-восемью резцами.

Штанги буровых станков передают крутящий момент на резец, осевое усилие на забой и выдают из скважины буровую мелочь. Штанга (рис. 7.7) представляет собой металлическую трубу, на которую по винтовой линии наварены металлические полосы.

Шаг спирали шнека выбирают в зависимости от частоты вращения штанг. Для пород мягких и влажных шаг спирали  $l = (0,5-0,7)D$ , где  $D$  — диаметр шнека. Для сухих и крепких пород  $l = (0,86-1)D$ .

Тип станка	СВБ-2м	СБР-160	2СБР-125
Наружный диаметр по спирали, мм	155	155	120
Рабочая длина штанги, мм	1785	8190	4200
Полная длина штанги, мм	1845	8250	4290
Шаг спирали, мм	105	120	96
Размер трубы	76×7	70×10	55×8
Масса, кг	38	270	48

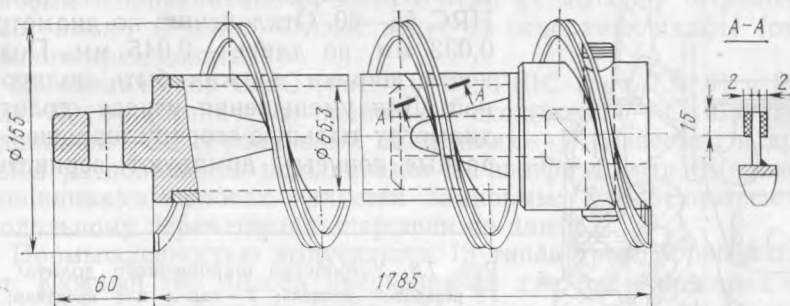


Рис. 7.7. Шнековая штанга

## 7.4. Шарошечные долота

Шарошечное долото представляет собой породоразрушающий инструмент, состоящий из корпуса и шарошек, свободно вращающихся на цапфах. Цапфой заканчивается лапа долота (рис. 7.8).

Шарошка является исполнительной частью долота и представляет собой стальной корпус в виде конуса, на поверхности которого расположены зубки. Последние при перекачивании шарошек по забою скважины внедряются в породу под действием осевого усилия, прилагаемого к долоту. Разрушенную породу удаляют с забоя скважины сжатым воздухом или промывочным раствором.

Верхняя часть корпуса долота заканчивается резьбовым ниппелем, с помощью которого долото соединяется с бурильными трубами. При вращении бурильных труб будут вращаться корпус долота и шарошки. При этом частота вращения шарошки будет больше частоты вращения долота во столько раз, во сколько раз диаметр долота больше диаметра основания шарошки.

Величина сил, возникающих в зубьях, пропорциональна давлению на долоте и частоте вращения. Эта величина тем больше, чем дальше расположен зубок от оси скважины. Зубья, расположенные на вершине шарошек, работают почти в безударном режиме и разрушают породу благодаря смятию и срезу при проскальзывании. Зубья, расположенные у основания конуса шарошек, имеют наибольшую энергию удара и разрушают породу ударом и скалыванием.

Шарошки изготавливают из легированных малоуглеродистых цементуемых конструкционных сталей. Для увеличения твердости поверхности шарошек цементируют на глубину 1,5—2 мм, а затем закаливают до твердости HRC 57—62. После термической обработки беговые дорожки шлифуют, для того чтобы устранить деформации, возникающие в процессе закалки.

Для подшипников долот применяют ролики и шарики, которые изготавливают на подшипниковых заводах из стали марки 55СМА, 55СМ5ФА и 50ХН. Твердость закаленных роликов HRC 55—60. Отклонения: по диаметру — 0,033 мм, по длине — 0,045 мм. Поверхность шарика должна быть полированной. Для уменьшения износа долот по диаметру тыльную сторону шарошек (обратные конусы) армируют зернистыми

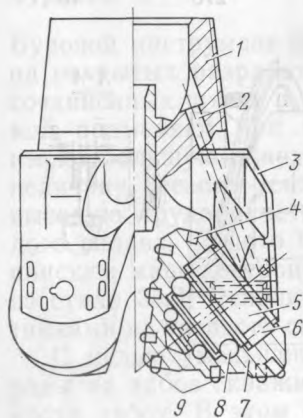


Рис. 7.8. Устройство шарошечного долота:

1 — резьбовой ниппель; 2 — канал для продувки; 3 — лапа; 4 — штыри твердого сплава в обратном конусе; 5 — цапфа; 6 — роликовые подшипники; 7 — шарошка; 8 — замковый шариковый подшипник; 9 — штыри в основных конусах

сплавами рэлит марки З и ТЗ или цилиндрическими вольфрамо-кобальтовыми стержнями.

Долота классифицируют по числу шарошек. Известны одно-, двух-, трех-, четырех- и многошарошечные долота. Трехшарошечные долота являются наиболее распространенными. Они хорошо сочетают в себе достаточную динамичность работы, хорошую устойчивость на забое и механическую прочность опор. Многошарошечные долота применяют для бурения скважин большого диаметра (600 мм и более).

Долота различают также по геометрии наружной поверхности шарошек. Имеются долота с одно- и многоконусными шарошками, самоочищающегося и несамоочищающегося типа, со смещенными осями и без смещения осей. В долотах самоочищающегося типа зубчатый венец одной шарошки входит в углубление второй шарошки. Такая конструкция долота позволяет сделать шарошки большого диаметра и разместить в них более прочные опоры. Кроме того, самоочищающиеся долота хорошо работают в вязких, склонных к слипанию породах.

В зависимости от условий применения выпускают зубчатые, зубчато-штыревые и штыревые долота. Зубчатые долота разрушение породы на забое скважины производят стальными зубьями, выфрезерованными в теле шарошек, штыревые долота — штырями из твердого сплава, запрессованными или впаянными в тело шарошек.

Зубчато-штыревые долота представляют собой комбинированный инструмент. Их армируют штырями. Штыри для армирования выпускаются промышленностью трех форм: Г25, Г26, Г54. Для оснащения обратного конуса шарошек с целью предохранения конуса от интенсивного износа в процессе бурения применяют штыри формы Г54.

Шарошки свободно вращаются на цапфах. На цапфе расположены беговые дорожки, на которых размещают ролики и шарики подшипников. Шарошки долот малого диаметра вращаются на подшипниках скольжения с одним шариковым замковым рядом. В шарошках долот большого диаметра предпочтение отдают роликовым подшипникам. В связи с этим схемы опор шарошечных долот имеют индексы. Отсчет ведут от основания цапфы (от наружного края долота).

На схемах опор СШС (рис. 7.9, а), РШС (рис. 7.9, б) и РШШ (рис. 7.9, в) обозначены: подшипник скольжения — С, шариковый подшипник — Ш и роликовый подшипник — Р. Известны и другие схемы расположения подшипников на цапфе долота. Шариковый подшипник в долотах является замковым. Замок препятствует продольному перемещению шарошки по цапфе.

Промышленностью выпускается 13 типов трехшарошечных долот. Каждый тип долота предназначен для бурения пород с определенными свойствами (табл. 7.5).

Для удобства клеймения и шифровки долот каждому заводу-изготовителю присвоены условные обозначения: Бакинскому ма-

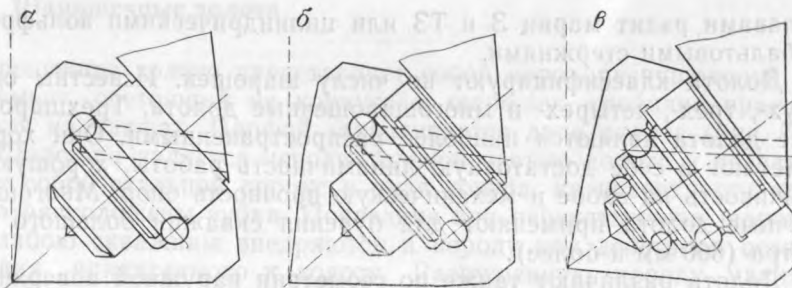


Рис. 7.9. Схемы опор шарошечных долот

ТАБЛИЦА 7.5

Индекс типа долота и его назначение	Горные породы, для бурения в которых предназначено долото	Ориентировочный коэффициент крепости пород
М, мягкие породы	Легкая песчанистая глина, мел, гипс	1—2
МЗ, мягкие абразивные породы	Слабосцементированные песчаники, мергель	2—3
МС, мягкие породы с пропластками средней твердости	Мел с прослойками песчаников, каменная соль с прослойками ангидридов	4—6
МСЗ, мягкие абразивные породы с твердыми пропластками	Песчано-глинистые сланцы, плотные глины с прослойками песчаников	4—6
С, средней твердости породы	Плотные глины, глинистые сланцы, известняки средней твердости	4—6
СЗ, средней твердости абразивные породы	Песчаники, песчаные сланцы	4—6
СТ, средней твердости породы с пропластками крепких пород	Песчаники с прослойками гипса, известняки с прослойками гипса, ангидриды	4—6
Т, твердые породы	Плотные известняки, твердые сланцы, аргиллиты	6—8
ТЗ, твердые абразивные породы	Доломитизированные окварцованные известняки, плотные песчаники, сиениты, вторичные кварциты	8—12
ТК, твердые породы с пропластками крепких	Известняки с пропластками доломитов, известняково-глинистые сланцы, магнетиты	8—10
ТКЗ, твердые абразивные породы с пропластками крепких	Окварцованные известняки с пропластками окремеленых пород, доломитизированные известняки	10—12
К, крепкие породы	Окремеленые известняки, доломиты, перидотиты, гранодиориты, средние граниты	10—12
ОК, очень крепкие породы	Граниты, кварциты, диабазы, базальты, джеспилиты	12—20

шиностроительному заводу им. С. М. Кирова — Б; Верхне-Сергинскому долотному заводу — В; Куйбышевскому долотному заводу — К; Сарапулскому машиностроительному заводу им. Ф. Э. Дзержинского — Д; Дрогобычскому долотному заводу — У; экспериментальному заводу ВНИИБТ — Н; Востокмашзаводу — Ш; Поваровскому опытному заводу — Р. Индексы ставят на долоте и в паспорте на него. Шифр долота также имеет дополнительные индексы, означающие способ удаления продуктов разрушения с забоя скважины: продувка сжатым воздухом или аэрированной жидкостью — П; гидромониторная промывка — Г.

В шифре шарошечного долота первые цифры указывают конструктивную модель, буквы — завод-изготовитель, следующие цифры — диаметр долота в миллиметрах, последующими буквами обозначен тип долота. Затем ставят буквы, указывающие способ удаления продуктов разрушения. Пример шифровки долота 13Р-214ОКП: 13 — порядковый номер модели; Р — индекс, присвоенный заводу-изготовителю (в данном примере Поваровскому опытному заводу); 214 — диаметр шарошечного долота (мм); ОК — тип шарошечного долота; П — для бурения с продувкой воздухом.

Введено также новое обозначение долот (по ГОСТ 20692—75). Долота, выполненные с телами качения, имеют индекс В, на одном подшипнике качения — М, на двух и более подшипниках скольжения — А, с центральной продувкой — П, с боковой продувкой — ПГ, цифра III указывает количество шарошек. Пример обозначения: III-244,5 ОК-ПГВ — долото трехшарошечное, диаметром 244,5 мм, для особо крепких пород с боковой продувкой, подшипники с телами качения.

Верхне-Сергинский завод выпускает долота диаметром от 76 до 244,5 мм; ПО «Куйбышевбурмаш» — диаметром 190,5 и 215,9 мм; Дрогобычский долотный завод — диаметром 244,5; 269,9; 320 мм; Востокмашзавод — диаметром 112; 146; 320 мм; Поваровский опытный завод — диаметром 215,9; 222,3; 244,5; 250,8; 269,9 мм; экспериментальный завод ВНИИБТ — долота диаметром 76 — 320 мм.

Долота больших размеров (диаметром 350 мм и более), как правило, изготавливают с целым корпусом, к которому приваривают лапы с шарошками. Такие долота называют корпусными. Долота меньших размеров сваривают из отдельных лап. Они не имеют специального корпуса, поэтому называются бескорпусными или секционными.

В табл. 7.6 приведены шифры шарошечных долот, выпускаемых промышленностью.

Зубчатые долота изготавливают для бурения в мягких, средних и твердых породах. В зависимости от твердости пород изменяется геометрическая форма шарошек и самих зубьев.

Долота типа М и МС предназначены для бурения в самых мягких несцементированных или слабосцементированных породах, а также в мерзлых грунтах с  $f=1\div 3$ . Долота типа С и СТ пред-



ТАБЛИЦА 7.6

Диаметр долота, мм	Тип шарошечных долот				
	С	СЗ	СТ	Т	ТЗ
76	—	—	—	Ш-76Т	Ш-76ТЗ
93	2В-93С	—	—	1В-93Т	В-93ТЗ
97	В-97С	—	—	В-97Т	В-97ТЗ
112	2В-112С	—	—	1В-112ТЗ	Ш-112ТЗ
118	2В-118С	—	—	2В-118Т	В-118ТЗ
132	1В-132С	—	—	1В-132Т	В-132ТЗ
140	4В-140С	—	—	4В-140Т	—
145	В-145С	—	—	3В-145Т	Ш-145ТЗ
151	1В-151С	—	—	1В-151Т	—
161	В-161С	В-161СЗГ	1В-161СТ	1В-161Т	1В-161ТЗ
190	В-161СГ	—	—	—	—
	4В-190С	3В-190СЗГ	В-190СТ	В-190Т	2К-190ТЗ
	В-190СГ	2В-190СЗГ	1К-190СТ	В-190ТП	2Р-190ТЗП
214	1АН2190, 5СГ	—	1К-190СТГ	1К-190Т	В-190ТЗ
	—	—	2К-190СТП	—	2К-190ТЗГ
	5К-214СГ	1К-214СЗГ	2К-214СТГ	1К-214ТП	1К-214ТЗП
	1АН-215,9 СГ	—	2К-214СТ	2К-214Т	1К-214ТЗ
243	—	—	1К-214СТП	1АВ-215,9	—
	Б-243С	Б-243СЗГ	—	2К-214ТГ	—
	2У-243С	—	1У-243СТ	1У-243Т	У-243ТЗ
269	1У-243СГ	—	—	1У-243ТП	Р-243ТЗП
	Б-269С	2АН-269,9 СЗГ	1У-269СТ	2У-269СТ	1У-243ТЗП
	Б-269СГ	—	1АН269, 9СТГ	1АН-269, 9Т	1У-269ТЗ
295	1АН-269, 9СГ	Б-269СЗГ	—	1У-269ТП	1АВ-269, 9ТЗ
	2АН-269, 9СГ	1АН-269, 9СЗГ	—	—	—
295	2У-295С	1У-295СЗГ	1У-295СТ	1У-295Т	1АВ-295, 3ТЗ
320	1У-295СГ	—	—	—	2У-295ТЗ
320	21Д-320СГ	—	—	Д-320ТГ	—

Продолжение табл. 7.6

Диаметр долота, мм	Тип шарошечных долот			
	ТК	ТКЗ	К	ОК
76	—	—	Ш-76К	Ш-76ОК
93	—	—	В-76К	—
97	—	—	4В-93К	—
112	—	—	—	В-97ОК
132	—	—	Ш-112К	Ш-112ОК
140	—	—	В-132К	—
145	—	—	—	—
151	—	—	Ш-145К	В-145ОК
161	—	—	—	Ш-145ОК
151	—	—	3В-151К	—
161	7В-161ТК	1В-161ТКЗ	3В-161К	—

Диаметр долота, мм	Тип шарошечных долот			
	ТК	ТКЗ	К	ОК
190	1К-190К	2К-190ТКЗ 1К-190ТКЗП	В-190К 2К-190К	1Р-190ОКП 2К-190ОК 2К-190КП 3К-214ОК 3К-214ОКП
214	2К-214ТК 1К-214КП 2К-214КГ	1К-214ТКЗ	2К-214К	
243	2У-243ТК 1У-243ТКП	—	2У-243К —	Р-243ОКП 3У-243ОКП 1В-243ОКП 2У-269ОКП 3Н-269ОКП
269	1У-269КП 2У-269ТК	—	2У-269К 1АВ-269, 9К 269,9К	
295	—	—	—	У-295ОКП
320	1У-295ТК		1У-295К	Р-320ОКП Ш-320ОКП У-320ОКП

назначены для бурения в пластичных и хрупкопластичных породах с  $f=3\div 5$ . Так как эти породы требуют для разрушения больших удельных нагрузок, зубьям этой группы придают большую прочность. Их делают более массивными, меньшими по высоте и с углом заострения  $45-50^\circ$ .

Чтобы улучшить калибровку скважины и уменьшить износ долота по диаметру, периферийным зубьям на одной или двух шарошках придают Г или Т-образную форму, а тыльные конуса шарошек покрывают твердым сплавом.

Долота типа СЗ по конструкции сходны с долотами типа С, но отличаются от них вооружением: у них вместо фрезерованных зубьев в шарошки запрессованы твердосплавные зубки с клиновидной рабочей частью. Благодаря такому вооружению, этими долотами можно бурить скважины в абразивных породах средней твердости.

Долота типа Т предназначены для бурения в твердых скальных породах сравнительно небольшой абразивности, характеризующихся упругохрупким разрушением, и с  $f=6\div 8$ . Для разрушения таких пород необходимо ударно-дробящее действие зубьев долота при минимально возможном проскальзывании по забою. Поэтому долота типа Т выпускают с минимальным углом наклона цапф ( $52-50^\circ$ ), шарошки делают одноконусными и располагают их в долоте с минимальным смещением осей с таким расчетом, чтобы забой принимал почти плоскую форму, а зубья при работе шарошек не имели проскальзывания по забою. Зубья делают массивными и прочными с углом заострения  $50-60^\circ$ . Иногда на периферийных венцах запрессовывают в тело шарошек штыри из

твердого сплава ВК8В. Такие долота называют зубчато-штыревыми. Для бурения крепких пород выпускают штыревые шарошечные долота.

Долота типа МЗ армированы штырями с клиновидной рабочей частью. Опоры у шарошек шариковые, шарошки самоочищающиеся со смещенными осями. Применяют их в том случае, когда долота типа М имеют высокий износ вооружения.

Долота типа МСЗ по конструктивным параметрам аналогичны долотам типа МС, но в шарошки вместо литых зубьев запрессованы твердосплавные зубцы с клиновидной рабочей поверхностью. Их применяют для бурения в абразивных мягких породах с прослойками средней твердости.

Долота типа ТЗ отличаются от долот типа Т тем, что у них шарошки оснащены зубками из твердого сплава с клиновидной рабочей частью. Они предназначены для бурения в абразивных породах.

Долота типа К применяют для бурения скважин в самых твердых и крепких абразивных породах. Шарошки долота — одноконусные, самоочищающиеся, с зубками с полусферической поверхностью. Долота выпускают в двух вариантах: для бурения с промывкой или продувкой сжатым воздухом.

Долота типа ОКП (рис. 7.10, а) предназначены для бурения в особо крепких горных породах. Шарошки имеют большее число

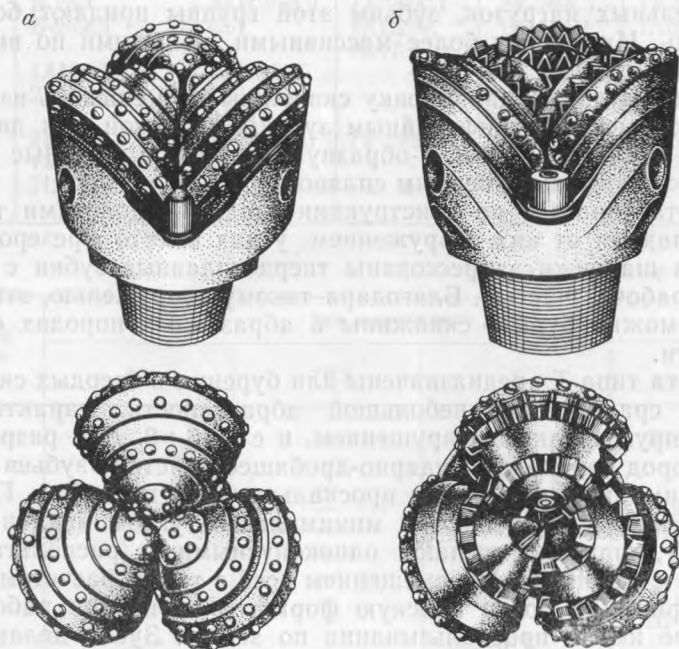


Рис. 7.10. Шарошечные долота

штырей, чем долота типа К. При увеличении диаметра долота увеличивают и диаметр штырей. Вылет штырей у долот типа ОК меньший, чем у долот типа К. В обратный конус шарошек запрессованы зубки из твердого сплава с плоской рабочей частью. Такое решение позволяет на более длительное время сохранить диаметр долота. Подвод воздуха к забою скважины у долот этого типа осуществляется через центральное отверстие. Часть воздуха поступает в опоры шарошек, омывает подшипники и выходит наружу. Такое техническое решение улучшает охлаждение опор и предотвращает попадание шлама в подшипники долота.

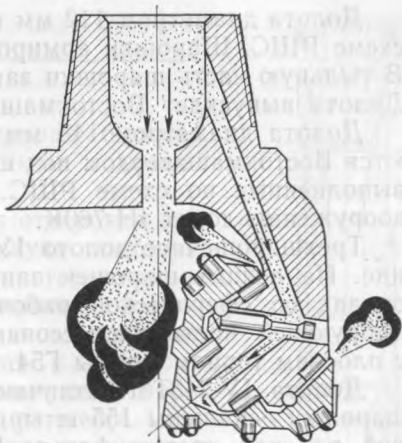


Рис. 7.11. Схема продувочных устройств долот типа ОК

Долота типа ТКП (рис. 7.10, б) имеют комбинированное зубчато-штыревое вооружение. У них периферийные венцы на всех шарошках оснащены твердосплавными зубками, а вершина и средние венцы шарошек — стальными фрезерованными зубьями призматической формы.

На рис. 7.11 показана принципиальная схема продувочных устройств долот типа ОК.

В некоторых долотах типа ТК стальные фрезерованные зубья чередуются с твердосплавными зубками с полусферической формой поверхности. Вылет штырей у шарошек увеличен благодаря фрезерованным основаниям для штырей. Долота с таким вооружением наиболее эффективно разрушают породы, состоящие из чередующихся крепких и пластичных пропластков.

Долота типа ТКЗ имеют более усиленное вооружение, чем долота ТК. У этих долот зубья чередуются с полусферическими и клиновидными рабочими поверхностями. Зубья у них представлены штырями из твердого сплава клиновидной формы. Штыри имеют увеличенный вылет над телом шарошки.

При подземной разработке рудных месторождений, а также на карьерах при заоткоске бортов уступов, при экранировании массовых взрывов, а также для селективной отбойки руды и при эксплуатационной разведке применяют скважины диаметром 76—145 мм.

Долота Ш-76ОК диаметром 76 мм серийно выпускает Востокмашзавод. Они имеют подшипники, выполненные по схеме СШС. Шарошки армированы штырями (77 шт.) диаметром 4 и 5 мм. Шаг зубков 8,5—10 мм, вылет зубков 1,5—2 мм.

Долота В-970К диаметром 97 мм освоены Верхне-Сергинским заводом и по конструкции аналогичны долотам 2Н-760К.

Долота диаметром 112 мм имеют подшипники, выполненные по схеме РШС. Шарошки армированы штырями диаметром 5—6 мм. В тыльную часть шарошки запрессованы штыри диаметром 4 мм. Долота выпускает Востокмашзавод под шифром Ш-1120К.

Долота диаметром 145 мм разработаны ВНИИБТ и выпускаются Востокмашзаводом под шифром Ш-1450К. Они имеют опоры, выполненные по схеме РШС. Вооружение шарошек аналогично вооружению долот 4Н-760К.

Трехшарошечное долото 1У-2430КП имеет усиленное вооружение. На венцах шарошек запрессовано 270 штырей из твердого сплава со сферической рабочей поверхностью. На тыльной калибрующей части запрессованы заподлицо с шарошкой штыри с плоским торцом формы Г54.

Долота 1У-243ТЗП отличаются от долот типа Т вооружением: шарошки оснащены 155 штырями из твердого сплава с клиновидной рабочей частью формы Г25. Тыльную калибрующую часть шарошек армируют твердым сплавом рэлит. В секциях просверлено по одному каналу, которые служат для продувки полости с целью предотвращения попадания в них частиц шлама или породы.

Долота 8Н-214ТКЗ состоят из чередующихся штырей твердого сплава с полусферическими и клиновидными вершинами. На периферийных венцах шарошек запрессованы штыри большего диаметра, чем на венцах основного конуса шарошки.

Самые крепкие породы бурят, как правило, долотами типа ОК. Но если на карьере встречаются породы более слабые, то целесообразно подобрать долото с большим вылетом зуба, т. е. перейти на долота ТЗП. При очень абразивных породах вершины шарошек быстро изнашиваются, образуется так называемая «сахарная голова». В этом случае подбирают долото с усиленным вооружением средней части (долота ОКП). При бурении в породах средней крепости иногда бывает выгодно отказаться от армированных долот и перейти к зубчатым долотам (Т и ТК). Эти долота будут иметь меньшую проходку на долото, но зато механическая скорость бурения больше, а стоимость и удельные затраты будут меньшими.

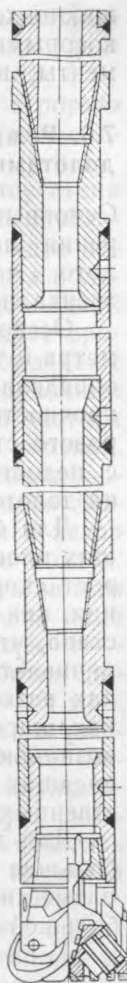
На карьере надо иметь несколько типов долот. Применяя их в соответствующих породах, можно получать минимальные затраты на бурение.

При бурении обводненных пород для повышения долговечности долот применяют обратные клапаны. Для улучшения смазки опор устанавливают маслоотражательные втулки [47].

## 7.5. Буровой став для шарошечного бурения

Буровой став (рис. 7.12) состоит из долота, наддолотного амортизатора и буровых штанг. Если амортизатор не применяют, то в комплект входят концевая и основные буровые штанги. Концевая штанга состоит из трубы с ввернутыми и приваренными нип-





пелями — нижним и верхним. Основная буровая штанга состоит из трубы с ввернутыми и приваренными муфтой и ниппелем.

Муфты и ниппели имеют внутри отверстия для прохода воздуха, а также коническую замковую резьбу. С помощью резьбы буровые штанги свинчивают одна с другой. Снаружи ниппели имеют лыски для захвата штанги ключом или секторами кассеты. Иногда для подсоединения к буровому ставу долот разных диаметров пользуются переходниками, которые изготавливают на месте.

Для ремонта бурового инструмента на руднике необходимо иметь трубонарезной станок (обычно для этой цели используется станок типа 91114С Тбилисского станкостроительного завода им. Кирова).

Для изготовления ниппелей и переходников применяют сталь 40ХН (ГОСТ 4543—71). Трубы изготавливают из стали марок 35, 30ХГСА, 40Х (ГОСТ 8732—78). Размеры штанг приведены в табл. 7.7.

Амортизатор представляет собой упругую систему. Его устанавливают между штангами и долотом. Если нет амортизатора, то при работе долота на забое возникает вибрация, которая передается буровому ставу. Амортизатор, давая возможность долоту совершать колебательные движения, вместе с тем передает буровому ставу колебания с уменьшенной амплитудой. Уменьшение вибрации бурового снаряда благоприятно сказывается как на работе долота, так и на работе механизмов станка. Износостойкость долота при этом возрастает на 20—25 %, а ресурс работы механизмов вращения возрастает на 30—40 %, что уменьшает простои станков и затраты на ремонт. Амортизатор состоит из двух переме-

простои станков и затраты на ремонт. Амортизатор состоит из двух переме-

ТАБЛИЦА 7.7

Диаметр долота, мм	Диаметр штанги, мм		Длина штанги, мм	Масса штанги, кг
	наружный	внутренний		
244,5	200	159	8 000	700
244,5	206	100	8 000	1461 (утяжеленная)
320	270	213	18 477	3224

щающихся относительно друг друга концентрических труб, между которыми в обоймах расположены эластичные резиновые элементы, воспринимающие энергию вибрации [38].

## 7.6. Режимы бурения скважин шарошечными долотами

Основными факторами, определяющими рациональный режим бурения шарошечными долотами, являются: осевое усилие на долото, частота вращения инструмента и количество рабочего агента, подаваемого для очистки забоя от шлама.

Осевое усилие зависит от категории крепости породы, диаметра и типа долота. Максимальное значение осевого усилия определяется следующими факторами: прочностью зубьев долота, прочностью опор долота, продольной устойчивостью колонны бурового става, частотой вращения долота (табл. 7.8). При работе с недостаточным осевым усилием резко уменьшается проходка на долото.

Для большинства пород осадочного происхождения, обладающих пластичностью, с увеличением частоты вращения долота прирост скорости бурения уменьшается. Увеличение частоты вращения, как правило, влечет за собой повышение вибрации бурового става, что приводит к поломке зубьев или штырей долота и увеличивает износ опор; также при больших динамических нагрузках резко возрастают контактные напряжения в беговых дорожках шарошек и цапф. Особенно опасны резонансные колебания, возникающие тогда, когда частота возмущающих колебаний, зависящая от конструкции долота, равна или кратна частоте собственных колебаний бурового става.

Для долот большого диаметра можно допустить и значительно большие осевые усилия. Долота большого диаметра позволяют разместить более мощные шарошки с большим числом зубьев и большей удельной нагрузкой на забой.

ТАБЛИЦА 7.8

Диаметр долота, мм	Наружный диаметр бурильных труб, мм	Осевое усилие на долото, кН		Частота вращения, с <sup>-1</sup>		Расход продувочного агента	
		М, С, Т, ТК	МЗ, ТЗ, К, ОК	М, С, Т, ТК	МЗ, ТЗ, К	сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /с	воды, л/с
161	127	100—130	130—150	2,5—2	2—1	0,2—0,25	0,05—0,08
215,9	180	140—180	160—200	2,5—2	2—1	0,3—0,45	0,08—0,12
244,5	203	180—220	180—250	2,5—1,3	2—0,83	0,45—0,5	0,012—0,015
269,9	219	200—270	250—300	2,5—1,3	2—0,83	0,6—0,7	0,015—0,017
320	273	300—350	300—500	2,5—1,3	2—0,83	0,83—1	0,017—0,02

На каждом руднике целесообразно разработать оптимальные режимы эксплуатации имеющегося парка буровых станков с шарошечными долотами.

Шарошечные долота требуют тщательного ухода и строгого соблюдения правил эксплуатации. Наиболее важные из них следующие.

Новое долото должно быть осмотрено на предмет отсутствия важнейших дефектов (трещины, излом отдельных деталей, смятие резьбы). Для защиты резьбы от повреждения на каждое долото наворачивают колпак с проушиной. При подъеме долота пользуются лебедкой, канат которой снабжают карабином, последний захватывает проушину. Перед навинчиванием долота следует проверить, плавно ли вращаются шарошки на опорах, не задевают друг друга зубья шарошек, осмотреть, не забиты ли продувочные каналы в лапах долота. Обычно полость подшипников, а часто и каналы на долотных заводах заполняют консистентной смазкой. Рекомендуется после навинчивания долота на буровой став включить компрессоры и продуть долото на весу, проворачивая шарошки вручную до тех пор, пока у каждой из шарошки в зазор между шарошкой и козырьком лап не будет проходить воздух. Только в этом случае можно начинать бурение. Бурить новым долотом и забуривать каждую новую скважину обязательно надо начинать при уменьшенных нагрузках на забой (не более 15—25 % от рабочих нагрузок). Продолжительность приработки долота к забою или время забуривания должно быть 10—15 мин. Нагрузку на долото надо увеличивать постепенно, без резких рывков и ударов. Категорически запрещается вначале давать нагрузку на долото, а затем включать вращатель. При вынужденных перерывах в бурении рекомендуется тщательно продуть скважину и поднять буровой став. При спуске става следует избегать ударов долота о забой скважины, так как это может привести к поломке зубьев и разрушению опор.

Перед началом бурения новой скважины надо промыть опоры шарошек и смазать их жидким маслом или дизельным топливом. Нельзя начинать бурить новую скважину с невращающимися шарошками. Заклинивание опор шарошек, сильный износ элементов опоры хотя бы одной из шарошек сопровождается большой вибрацией, вращением инструмента рывками, а также снижением скорости бурения.

По каждому долоту, находящемуся в работе, ведется запись в буровом журнале. Форма записи регламентируется соответствующей инструкцией.

## 7.7. Буровые коронки для перфораторов

Наибольшее распространение в горнодобывающей промышленности получили коронки следующих типов:

долотчатые, армированные призматическими твердосплавными пластинками с клиновидной породоразрушающей поверхностью,

которые целесообразно применять в монолитных породах малой и средней абразивности и любой крепости;

крестовые, армированные призматическими твердосплавными пластинками с клиновой породоразрушающей поверхностью, которые применяются в трещиноватых породах средней и высокой крепости, а также в абразивных породах, когда выше износ коронок по диаметру;

трехперые, армированные цилиндрическими твердосплавными вставками (штырями) с клиновой породоразрушающей поверхностью, имеющие повышенную прочность твердосплавного вооружения, которые целесообразно применять в крепких породах средней и высокой абразивности;

коронки с цилиндро-сферическим твердосплавным вооружением, у которого породоразрушающие поверхности выполнены в виде сферы; эти коронки имеют преимущество перед другими типами вследствие повышенного ресурса между заточками и, следовательно, меньших потерь времени на смену затупленного инструмента. Однако эти коронки нельзя использовать из-за уменьшения скорости бурения в вязких породах и породах невысокой крепости.

При бурении коронками диаметром 65—70 мм и больше за рубежом часто вместо крестовой формы головки применяют X-образную, которая лучше обеспечивает круглое сечение скважины.

Формы головок показаны на рис. 7.13.

В мировой практике применяются коронки диаметром 32—127 мм. Коронки, серийно выпускаемые в СССР, приведены в табл. 7.9.

Объем выпуска коронок в СССР по типам: долотчатых — 55—60 %, крестовых — 15—20 %, трехперых — 15—20 %, специальных (для вращательно-ударного бурения, бурения в мягких породах, расширителей и т. д.) — 10 %. Коронки с цилиндросферическим вооружением находятся на стадии освоения отечественной промышленностью.

По диаметрам коронки распределяются следующим образом: 32—36 мм — 10 %, 40—46 мм — 85 %, 52—65 мм — 5 %.

За рубежом выпускается большое количество цельных буров диаметром 24—41 мм с долотчатыми и крестовыми головками.

Пластинки формы Г11 и 2121 применяют для армирования долотчатых коронок, формы Г12 и 2171 — для крестовых. Форма Г14 предназначена для штыревых коронок, а форма Г26 — для коронок с цилиндро-сферическими вставками.

Существуют конусное и резьбовое соединения коронок с штангами (рис. 7.14). Конусное соединение применяют при бурении перфораторами с энергией удара до 120 Дж, т. е. для переносных и телескопных. Угол конусности колеблется от  $2^{\circ}36'$  до  $6^{\circ}$  на сторону. В СССР применяют угол конусности  $3^{\circ}30'$ . Плотное прилегание посадочных поверхностей коронки и штанги при коническом соединении уменьшает возможность преждевременной поломки корпуса коронки и конического конца штанги. Поэтому по-

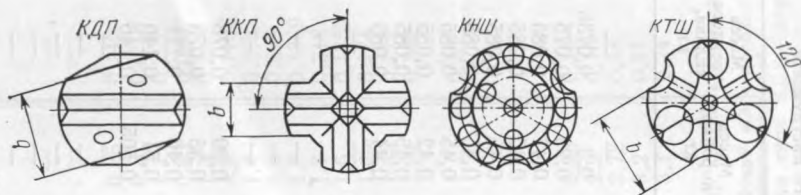
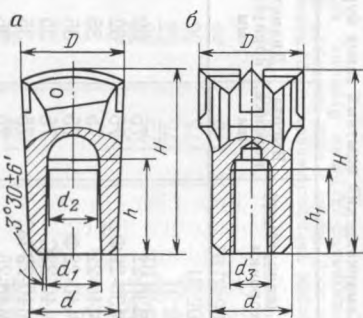


Рис. 7.13. Формы головок различных типов буровых коронок

Рис. 7.14. Соединения коронок со штангами:

*a* — конусное; *б* — резьбовое; *D* — диаметр коронки; *d* — диаметр основания; *d*<sub>1</sub> — диаметр основания конуса; *d*<sub>2</sub> — диаметр верхней части конуса; *d*<sub>3</sub> — диаметр резьбы; *H* — высота коронки; *h* — высота конуса; *h*<sub>1</sub> — длина нарезки



садочный конус коронки подвергают при изготовлении шлифовке до шероховатости 12,5 мкм, а угол конусности имеет допуск  $\pm 6'$ .

Иногда коронки с конусным соединением комплектуют медными или латунными втулками для компенсации погрешностей изготовления конической пары.

Резьбовое соединение применяют для мощных перфораторов. К резьбовым соединениям предъявляют следующие требования: легкое разъединение элементов, наименьшие потери импульса при прохождении через соединение, достаточно высокая прочность и износостойкость.

Промышленностью освоены коронки-расширители. Они нужны для образования врубов параллельными скважинами. Врубы предусматривают бурение разрезной скважины увеличенного диаметра в центре забоя. Разрезную скважину бурят в два приема. Первоначально получают шпур диаметром 32—45 мм, а затем его расширяют до размеров скважины диаметром 65—125 мм.

Корпуса коронок подвергают после пайки термической обработке с целью повышения прочности и получения твердости 35—45 НРС.

Призматические пластинки соединяют с корпусом коронки при помощи пайки, цилиндрические — при помощи пайки и запрессовки. Нагрев при пайке производят токами высокой частоты. Вследствие того что коэффициент линейного расширения твердого сплава значительно меньше, чем у стали при охлаждении после пайки в припое, в твердом сплаве и стали возникают большие остаточные напряжения. Для уменьшения этих напряжений увеличивают толщину паяльного шва и применяют припой, имеющие высокие пластичные свойства.



Соединение	Форма головки	Кузнецкий машиностроительный завод					Самаркандский опытный завод бурового инструмента					
		Шифр (типоразмер) коронки	Высота коронки, мм	Диаметр кордуса, мм	Масса коронки, кг	Масса твердого сплава, кг	Шифр (типоразмер) коронки	Высота коронки, мм	Диаметр кордуса, мм	Масса коронки, кг	Масса твердого сплава, кг	
Конусное	Долотчатая	КДП 32-19	65	28	0,3	0,0522	—	—	—	—	—	
		—	—	—	—	—	БКПМ36-22	75	32	0,3	0,0736	
		—	—	—	—	—	БКПМ36-22Ф	75	32	0,29	0,075	
		—	—	—	—	—	БКПМ40-22	75	35	0,47	0,085	
		—	—	—	—	—	БКПМ40-22Ф	75	35	0,45	0,085	
		КДП 40-25	75	35	0,45	0,0845	БКПМ40-22С	75	35	0,46	0,085	
		—	—	—	—	—	БКПМ40-22ФС	75	35	0,45	0,085	
		—	—	—	—	—	БКПМ40-25	75	35	0,45	0,085	
		—	—	—	—	—	БКПМ40-25Ф	75	35	0,42	0,085	
		—	—	—	—	—	БКПМ40-25С	75	35	0,45	0,085	
—	—	—	—	—	БКПМ40-25ФС	75	35	0,44	0,085			
Трехперая	Крестовая	КДП 43-25	75	35	0,49	0,0912	—	—	—	—	—	
		КТШ 36-22	70	32	0,43	0,122	—	—	—	—	—	
		КТШ 40-25	75	35	0,51	0,132	—	—	—	—	—	
		КТШ 43-25	75	37	0,632	0,132	—	—	—	—	—	
		КТШ 52-25	80	40	0,75	0,15	—	—	—	—	—	
		КЛ 38-25	60	32	0,23	—	БКПМ36-22КМ	78	32	0,39	0,078	
		—	—	—	—	—	БКПМ36-25КМ	78	32	0,38	0,078	
		ККП 40-25	75	35	0,475	0,024	БКПМ40-25КМ	78	35	0,46	0,111	
		—	—	—	—	—	БКПМ42-25КМ	78	35	0,51	0,146	
		—	—	—	—	—	БКПМ42-26КМ	78	37	0,505	0,146	
Крестовая	Крестовая	ККП 43-25	75	35	0,59	0,031	—	—	—	—	—	
		БУ 43-25	78	34	0,42	0,086	—	—	—	—	—	
		КУВШ 43-25	82	34	0,45	0,074	—	—	—	—	—	
		КДГ 46	73	28	0,37	0,086	—	—	—	—	—	
		БУ 52	80	34	0,55	0,098	—	—	—	—	—	
		КДГ 56	78	33	0,57	0,108	—	—	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Резьбовое	Одноперая	КСП 46-31К	105	40	0,793	0,1126	—	—	—	—	—	—	—
	Трехперая	КТШ 46-31К КТШ 65-31К	110 110	40 45	0,75 1,413	0,0501 0,173	—	—	—	—	—	—	—
	Крестовая	—	—	—	—	—	БР 45-31 БР45-31А БР50-31 БР50-31А БР55-32 БР55-32А БР60-31 БР65-31 БР65-31А БР65-38 БР65-38А БР65-31Ш БР65-38Ш БР70-38	120 120 120 120 120 120 120 120 120 120 120 120 120 120 120	41 41 44 44 48 48 48 48 48 48 48 48 48 55	0,146 0,0807 0,221 0,0807 0,258 0,1103 0,282 0,318 0,1369 0,318 0,1369 0,174 0,174 0,342			
Конусное	Коронки-расширители	—	—	—	—	—	КРР65-25	175	35	1,1	0,13	—	—
Резьбовое	—	—	—	—	—	—	КРК85-31 КРК85-31Ш КРК95-31 КРК105-31 КРК105-31Ш	175 175 175 175 175	56 56 56 56 56	2,25 2,25 2,78 3,2 3,1	0,18 0,16 0,18 0,21 0,24	—	—

Примечания. 1. Первая цифра в шифре коронки обозначает ее диаметр в миллиметрах, вторая — наибольший размер конуса и диаметр резьбы в миллиметрах.

2. В шифре коронки Самарканского завода буква «Ф» означает усиленное на периферии твердосплавное вооружение, буква «С» — коронки для бурения с пылесосом, буква «А» — шаг модернизации, буква «Ш» — твердосплавное вооружение в виде цилиндрико-сферических штырей.

3. Коронки Кузнецкого завода БУ 43, БУ 52 и КУВШ 43-25 предназначены для вращательно-ударного бурения, коронки типа КДГ — для бурения с гидростатической мерзлотой пород.

4. Коронку КД 38-25 изготавливают из легированной стали и не имеет твердосплавного вооружения.

5. Коронка Кузнецкого завода КСП 46-31К имеет твердосплавное вооружение в виде цилиндрико-сферических штырей.

В процессе нагрева твердый сплав легко окисляется. Для очистки твердосплавных вставок и корпусов коронок от окислов используют флюсы (чаще всего прокаленную буру). Для предотвращения окисления твердого сплава используют методы пайки без доступа воздуха (чаще всего в защитной среде, например, в среде азота).

## 7.8. Буры для перфораторов

Бур служит для передачи силового импульса в породу и для передачи крутящего момента от машины к лезвиям инструмента. Он состоит из хвостовика, штанг, соединительных муфт и коронки (рис. 7.15). Для переносных перфораторов штанга и хвостовик представляют собой одно целое.

В зависимости от мощности перфоратора и глубины бурения буры изготавливают из шестигранной стали с диаметром вписанной окружности 19; 22; 25; 28; 32; 35 мм и круглой стали диаметром 32; 38; 44; 51 мм. Размеры выпускаемой в СССР буровой стали представлены в табл. 7.10. За рубежом применяются также «облегченные» штанги, у которых концы высажены и соединительный элемент имеет диаметр больше, чем тело штанги. С хвостовиком и между собой штанги соединяют с помощью резьбы и муфт.

Фирма «Комета» (Финляндия) разработала новый тип штанг «Комета MF», при соединении которых не требуется отдельных муфт. Применение таких штанг снижает потери энергии, повышает износостойкость резьбы и уменьшает трудоемкость при наращивании и разборке. Этот тип штанг позволяет автоматизировать спуско-подъемные операции.

В настоящее время применяют в основном два типа резьбы (рис. 7.16). Круглая резьба (ГОСТ 17196—77) более технологична при изготовлении, но быстрее изнашивается при большой энергии удара поршня перфоратора (более 200 Дж). В табл. 7.10 приведены рекомендации по применению диаметров штанг и типов резьбы в зависимости от диаметра шпуров и скважин. В табл. 7.11 приведены параметры круглой резьбы различного диаметра. Буровую сталь получают методом горячей прокатки.

ТАБЛИЦА 7.10

Диаметр бурения шпура или скважины, мм	Диаметр штанги, мм	Резьба	Диаметр бурения шпура или скважины, мм	Диаметр штанги, мм	Резьба
35—38	22	Круглая	64—89	38	Трапециевидная
41—45	25		76—115	44	
48—64	32				
64—89	38				
89—127	51				

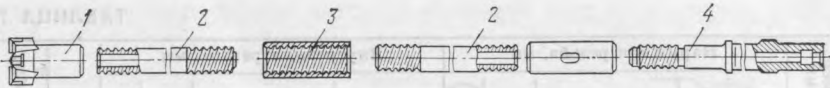


Рис. 7.15. Составной бур:

1 — коронка; 2 — штанга; 3 — соединительные муфты; 4 — хвостовик

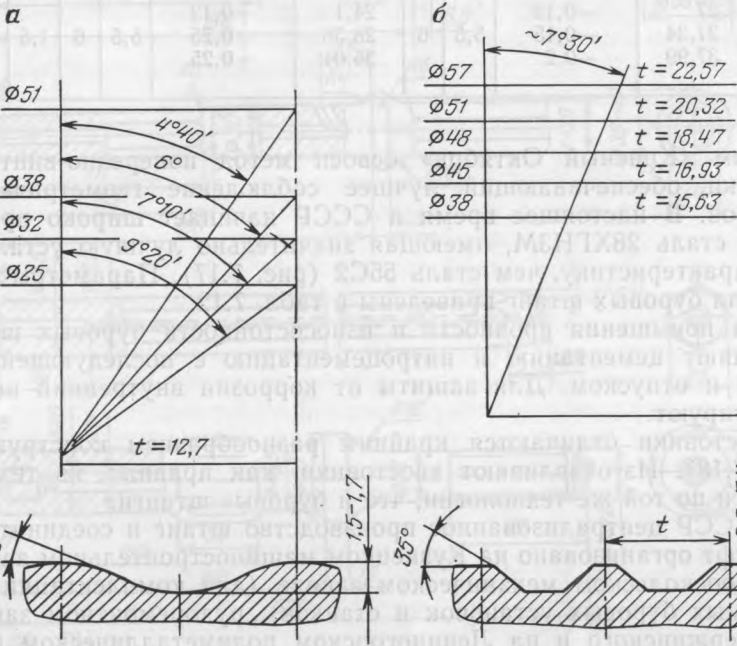


Рис. 7.16. Типы резьб:

а — круглая; б — фасонная ( $t$  — шаг резьбы, в градусах — угол наклона винтовой линии)

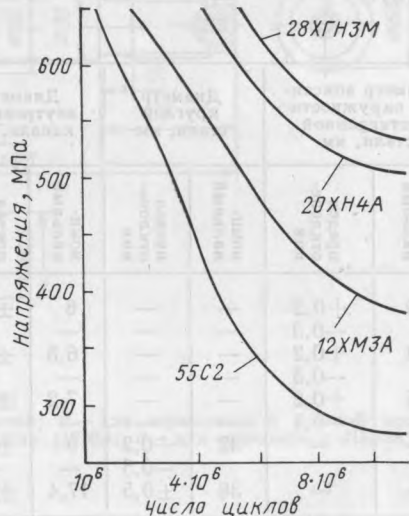


Рис. 7.17. Усталостные характеристики буровых сталей при испытаниях частотой 15 кГц

ТАБЛИЦА 7.11

Номиналь- ный размер резьбы, мм	Наружная резьба, мм				Внутренняя резьба, мм				h, мм	Шаг резьбы, мм
	номиналь- ный диа- метр d	предельное отклонение диаметра d	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	номиналь- ный диа- метр d	предельное отклонение диаметра d	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>		
27	27	-0,13			24,1	+0,13				
31	31,34	-0,15	5,5	6	28,36	+0,25	5,5	6	1,5	12,7
38	37,99	-0,2			35,01	+0,25				

Заводом «Красный Октябрь» освоен метод поперечно-винтовой прокатки, обеспечивающий лучшее соблюдение геометрических размеров. В настоящее время в СССР начинает широко применяться сталь 28ХГНЗМ, имеющая значительно лучшую усталостную характеристику, чем сталь 55С2 (рис. 7.17). Параметры проката для буровых штанг приведены в табл. 7.12.

Для повышения прочности и износостойкости буровых штанг применяют цементацию и нитроцементацию с последующей закалкой и отпуском. Для защиты от коррозии внутренний канал фосфатируют.

Хвостовики отличаются крайним разнообразием конструкций (рис. 7.18). Изготавливают хвостовики, как правило, из тех же сталей и по той же технологии, что и буровые штанги.

В СССР централизованное производство штанг и соединительных муфт организовано на Кузнецком машиностроительном заводе и Старооскольском механическом заводе (для комплектации выпускаемых буровых установок и станков), рудоремонтном заводе им. Дзержинского и на Лениногорском полиметаллическом комбинате.

ТАБЛИЦА 7.12

Диаметр вписанной окружности шестигранной стали, мм		Диаметр круглой стали, мм		Диаметр внутреннего канала, мм		Радиус скругления грани, мм		Смещение канала относительно оси прутка, мм	Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Масса 1 м стали, кг
номи- нальный	предел отклоне- ния	номи- нальный	предел отклоне- ния	номи- нальный	предел отклоне- ния	номи- нальный	предел отклоне- ния			
19	+0,2 -0,3	—	—	6	±0,5	2	+1	0,75	285	2,2
22	+0,2 -0,3	—	—	6,5	±0,6	2,5	+1	0,75	390	3,1
25	+0,2 -0,4	—	—	7,2	±0,8	2,5	+1	0,75	500	3,9
—	—	32	+0,2 -0,5	9	±0,9	—	—	0,75	742	5,8
—	—	38	±0,5	17,4	±0,2	—	—	—	920	7,2



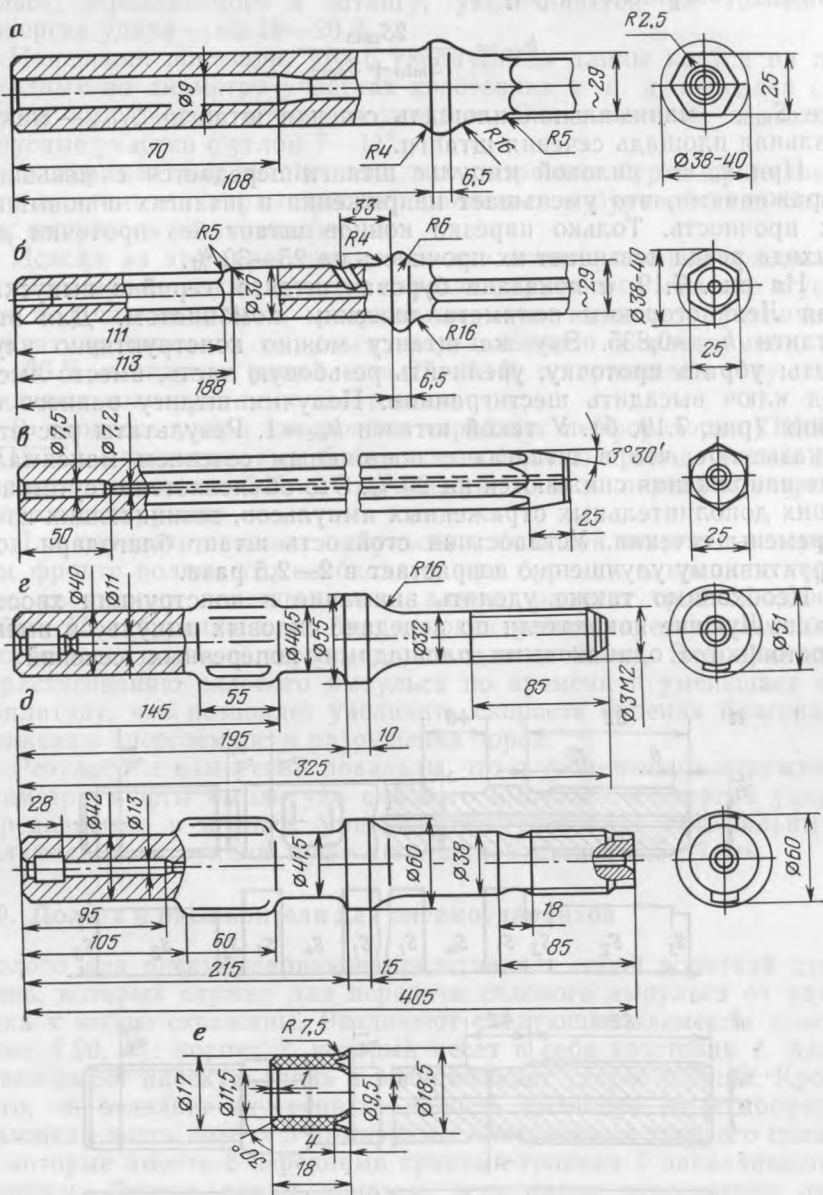


Рис. 7.18. Хвостовики для перфораторов:

*a* — для переносных с центральной промывкой; *б* — для переносных с боковой промывкой; *в* — для телескопных; *г* — для колонковых ПК60А; *д* — для колонковых ПК75А; *е* — манжета для хвостовиков

Для оценки качества буров предложено коэффициент конструктивного совершенства [24]

$$k_{\text{КС}} = \frac{2S_{\text{min}}}{S_{\text{min}} + S_{\text{max}}},$$

где  $S_{\text{min}}$  — минимальная площадь сечения штанги;  $S_{\text{max}}$  — максимальная площадь сечения штанги.

При  $k_{\text{КС}} \approx 1$  силовой импульс штанги передается с меньшими отражениями, что уменьшает напряжения в штангах и повышает их прочность. Только нарезка концов штанг без проточки для выхода резца повышает их прочность на 25—30 %.

На рис. 7.19, а показана буровая штанга, серийно выпускаемая Лениногорским полиметаллическим комбинатом. Для этой штанги  $k_{\text{КС}} = 0,835$ . Эту же штангу можно конструктивно улучшить: убрать проточку, увеличить резьбовую часть, вместо лысок под ключ высадить шестигранник. Получим штангу равного сечения (рис. 7.19, б). У такой штанги  $k_{\text{КС}} \approx 1$ . Результаты расчетов показывают, что в штангах с постоянным сечением максимальные напряжения снижаются на 20 %. Это объясняется отсутствием в них дополнительных отраженных импульсов, возникающих из-за перемены сечения. Усталостная стойкость штанг благодаря конструктивному улучшению возрастает в 2—2,5 раза.

Необходимо также уделять внимание и конструкции хвостовиков. Лучшие показатели по передаче силовых импульсов имеют хвостовики с одинаковыми площадями поперечных сечений их

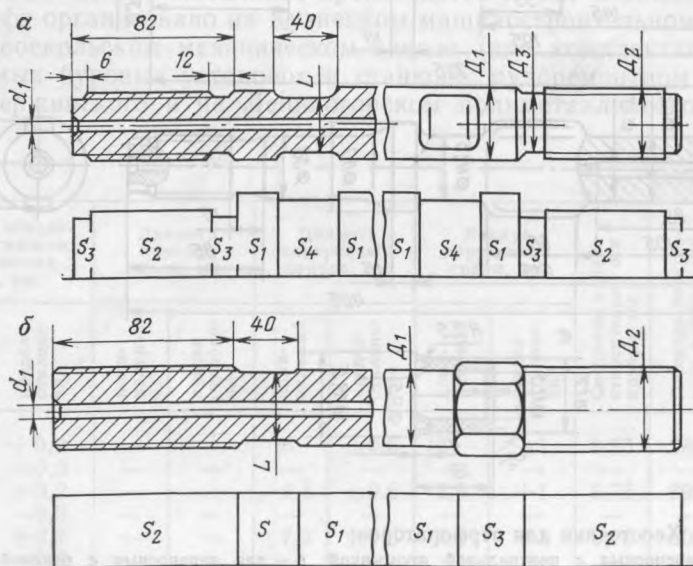


Рис. 7.19. Буровые штанги и их приведенные сечения ( $S$  — приведенное сечение)

ударного и резбового концов, при этом амплитуда силового импульса, передаваемого в штангу, увеличивается на 10—15 %, а энергия удара — на 18—20 %.

Измерения показали, что с увеличением длины конуса на переходных по диаметру участках хвостовика к. п. д. передачи силового импульса в штангу возрастает. Оптимальными являются конусные участки с углом 7—11°.

Экспериментами установлено, что разрезные бурты существенного влияния на параметры передаваемых в буровой став силовых импульсов не оказывают.

Исходя из этого рекомендуется все конструктивные элементы на хвостовиках, служащие для передачи крутящего момента и усилия подачи, выполнять разрезными, что позволяет увеличить амплитуду силового импульса, передаваемого в инструмент, на 22—26 %, а энергию удара — на 27—30 % по сравнению с существующими конструкциями хвостовиков.

В процессе удара хвостовики серийных перфораторов ПК60А и ПК75А отскакивают от бойка после первого прохода волны деформации по длине бойка, что снижает к. п. д. передачи энергии удара в инструмент.

Для передачи силовых импульсов с большей энергией в переднем фронте волны, что необходимо при бурении в крепких породах, хвостовики должны иметь длину, равную тройной длине бойка. При бурении в слабых породах рекомендуется применять хвостовики, длина которых меньше длины бойка. Это приводит к растягиванию силового импульса по времени и уменьшает его амплитуду, что позволяет увеличить скорость бурения благодаря снижению энергоемкости разрушения пород.

Результаты измерений показали, что с увеличением наружного диаметра муфты амплитуда силового импульса и энергия удара, передаваемая в штангу, уменьшаются, при этом оптимальными являются конструкции муфт с толщиной стенок 5,5—7 мм.

## 7.9. Долота и расширители для пневмоударников

Долото для пневмоударников представляет собой короткий стержень, который служит для передачи силового импульса от ударника к забюю скважины. Различают следующие элементы долота (рис. 7.20, а): корпус 2, который несет в себе хвостовик 1. Хвостовик имеет плоскую грань и воспринимает удары поршня. Кроме того, он отделяет внутреннюю полость цилиндра от атмосферы. Головная часть долота 3 армируется пластинками твердого сплава 4, которые вместе с передними гранями головки 5 заканчиваются лезвием. Лезвие, таким образом, есть линия пересечения двух граней.

Типы долот определяют числом и расположением лезвий. Различают однолезвийное долото, крестовое, с тремя боковыми лезвиями и центральным опережающим. Появились долота с центральным отстающим лезвием. Армируются долота пластинками

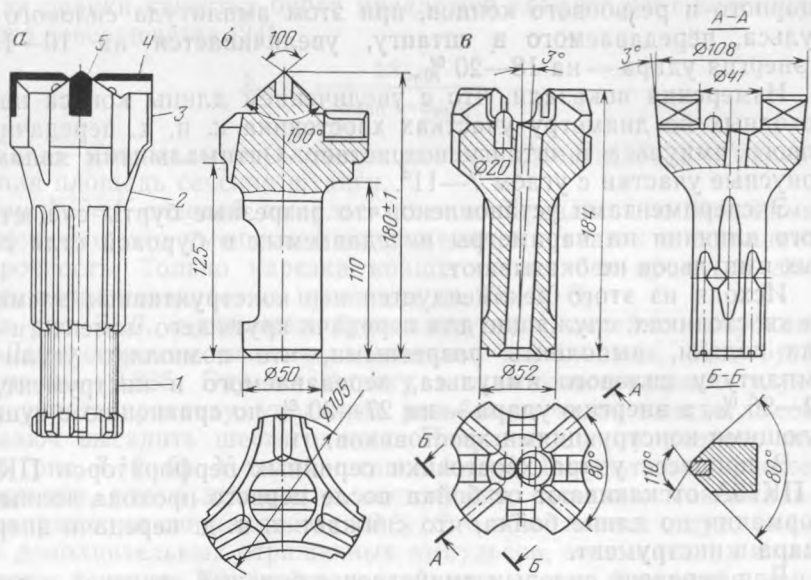


Рис. 7.20. Пневмоударные долота:  
 а — элементы долота; б — долото К100В; в — долото К105К

твердого сплава или штырями. В СССР наибольшее распространение для подземных работ получили долота с тремя боковыми лезвиями и центральным опережающим. Для бурения на карьерах применяется Х-образное долото с отстающей центральной частью.

Долото, армированное штырями твердого сплава, показано на рис. 7.21. Материал корпуса долота подбирается таким образом, чтобы по мере износа штырей изнашивалась и рабочая поверхность долота, обнажая штыри. Периодически головку штырей шлифуют для удаления микротрещин.

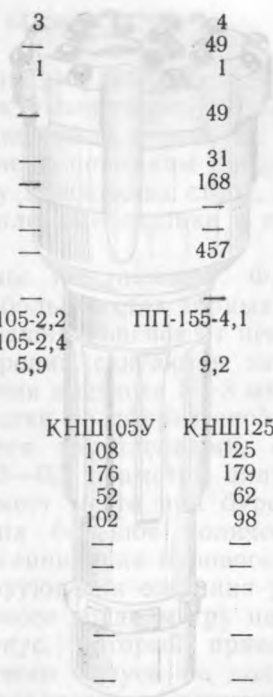
По роду удаления бурового шлама из забоя скважины долото подразделяют на долота с центральной, внецентральной и внешней продувкой. При внешней продувке долото не имеет внутренних каналов. Первые две системы предусматривают наличие каналов.

Крепят долота в корпусе пневмоударника с помощью шпонок или шариков (байонетное соединение). Шпоночное соединение применяют для долот малого диаметра, для долот большого диаметра предпочтительнее байонетное соединение. За рубежом чаще применяют шлицевое соединение. Сведения о серийно выпускаемых в СССР долотах приведены ниже.

Тип долота	К100В	К130	БК-155
Диаметр долота, мм	106	130	155
Длина долота, мм	180	180	210
Диаметр хвостовика, мм	50	50	70
Длина хвостовика, мм	110	110	140

Число боковых лезвий . . . . .	3	3	4
Длина боковых лезвий, мм	28	—	49
Число опережающих лезвий	1	1	1
Диаметр опережающих лезвий, мм . . . . .	46	—	49
Высота опережающего лезвия, мм . . . . .	25	—	31
Общая длина лезвий, мм	130	—	168
Число штырей на долоте	—	—	—
Диаметр штырей, мм . . . . .	—	—	—
Масса твердого сплава, г . . . . .	246	—	457
Диаметр центрального канала, мм . . . . .	—	—	—
Тип пневмоударника . . . . .	ПП-105-2,2; ПП-105-2,4	ПП-105-2,2 ПП-105-2,4	ПП-155-4,1
Масса долота, кг . . . . .	3,5	5,9	9,2

Тип долота . . . . .	K105KA	K130K	КНШ105У	КНШ125У
Диаметр долота, мм . . . . .	106	130	108	125
Длина долота, мм . . . . .	180	190	176	179
Диаметр хвостовика, мм . . . . .	52	62	52	62
Длина хвостовика, мм . . . . .	102	98	102	98
Число боковых лезвий . . . . .	4	4	—	—
Длина боковых лезвий, мм	32	36	—	—
Число опережающих лезвий	—	—	—	—
Диаметр опережающих лезвий, мм . . . . .	—	—	—	—
Высота опережающего лезвия, мм . . . . .	—	—	—	—
Общая длина лезвий, мм	128	144	—	—
Число штырей на долоте	1	1	14	15
Диаметр штырей, мм . . . . .	12	14	10 и 12	14 и 12
Масса твердого сплава, г	290	326	326	524
Диаметр центрального канала, мм . . . . .	20	24	20	24
Тип пневмоударника . . . . .	П-105-2,6	П-125-2,8	П-105-2,6	П-125-2,8
Масса долота, кг . . . . .	4	5,8	5	6



При бурении скважин диаметром 105 мм забуривание ведут долотом K130, имеющим размер 130 мм. Пройдя разрушенный слой, ставят обсадную трубу, после чего бурение продолжают долотом диаметром 105 мм. Корпуса долот готовят из стали марки 40ХН, 40ХН2МА (ГОСТ 4543—71), армируют изделиями из твердого сплава, для пайки применяют припой Л63 (ГОСТ 15527—70).

При необходимости получить скважины большого диаметра (до 400 мм) применяют расширители (рис. 7.22). Расширитель состоит из хвостовика, который вставляется в пневмоударник, корпуса, направляющего фонаря, коронок, которые ввинчиваются в корпус, и штифтов, препятствующих проворачиванию фонаря относительно корпуса. Существуют и другие конструкции расширителей.

К буровому инструменту также относятся штанги, которые несут на себе пневмоударник и передают крутящий момент от



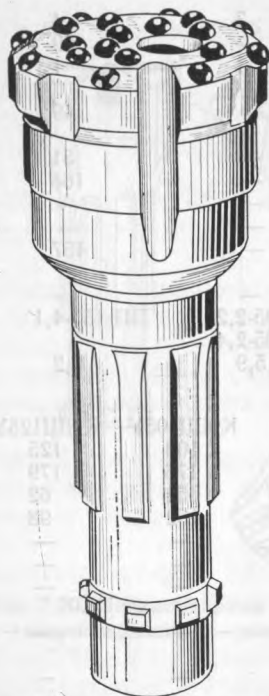
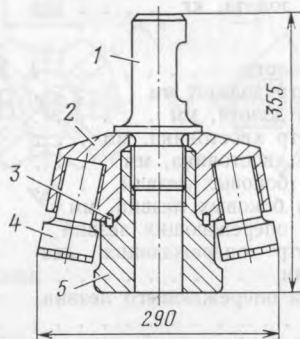


Рис. 7.21. Штыревое долото

Рис. 7.22. Пневмоударный расширитель:

1 — хвостовик; 2 — корпус; 3 — штифты; 4 — коронка; 5 — фонарь



вращателя станка к инструменту. Они передают и осевое усилие.

Для станков НКР-100М штанги изготавливают из стали марки 35 ГС или 36Г2С. Временное сопротивление разрыву у этой стали 650 Н/мм<sup>2</sup>, предел текучести равен 380 Н/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение 12—14%. Размеры труб для изготовления штанг приведены в табл. 7.13.

Штанги подвергают закалке при 900 °С в водной среде с последующей нормализацией при 300 °С. Штанги высаживают на ковочной машине. В условиях рудничных мастерских концы штанг высаживают на бурозаправочном станке БЗС-1, для чего изготавливают специальные матрицы. Для агрегатов НКР-100М при нарезке штанг соблюдается угол конусности 7°30', шаг резьбы 3 мм. К станку также поставляют комплект аварийного инструмента. Правила пользования этим инструментом излагаются в инструкциях и в работе [48].

ТАБЛИЦА 7.13

Наружный диаметр труб, мм	Толщина стенки, мм	Внутренний диаметр, мм	Масса 1 м гладкой трубы, кг	Наружный диаметр труб, мм	Толщина стенки, мм	Внутренний диаметр, мм	Масса 1 м гладкой трубы, кг
50	5,5	33	6,04	73	7	59	11,4
63,2	6	51,5	8,51	89	8	63	16

## 7.10. Уход за буровым инструментом и его заточка

При бурении породоразрушающие элементы твердосплавных вставок изнашиваются. Их износ приводит к уменьшению скорости бурения. Кроме того, в перетупленных пластинках возникают при бурении высокие напряжения, приводящие к поломкам твердого сплава, т. е. к преждевременному выходу коронок из строя. Поэтому важно своевременно заменять затупленные коронки и перетачивать их.

Различают фронтальный износ и износ по диаметру. Фронтальный износ имеет место при бурении большинства горных пород. Он проявляется в виде постепенно расширяющейся от центра плоской поверхности лезвия. Лезвия коронки считаются затупленными, если ширина площадки затупления достигла 2—3 мм на расстоянии 5 мм от внешнего края. Коронки со сферической породоразрушающей поверхностью считаются затупленными, если диаметр площадки затупления достиг 0,3—0,5 диаметра цилиндрической вставки. Износ по диаметру имеет место при бурении в высокоабразивных породах, содержащих большое количество кварца. Для исключения возможности заклинивания бурового инструмента в шпуре головку коронки шлифуют для создания угла между ней и образующей шпура. При износе по диаметру на головке коронки образуется обратный конус, который приводит к заклиниванию коронки. Высота обратного конуса не должна превышать 6 мм, после чего коронка отправляется на заточку.

Фронтально затупленные лезвийные коронки затачивают таким образом, чтобы угол заточки был равен  $110^\circ$ . Заточку следует прекратить, когда лезвие долотчатых коронок заточено по длине на 0,6 (рис. 7.23), а у крестовых коронок — на 0,8 диаметра коронки  $D$  (рис. 7.24).

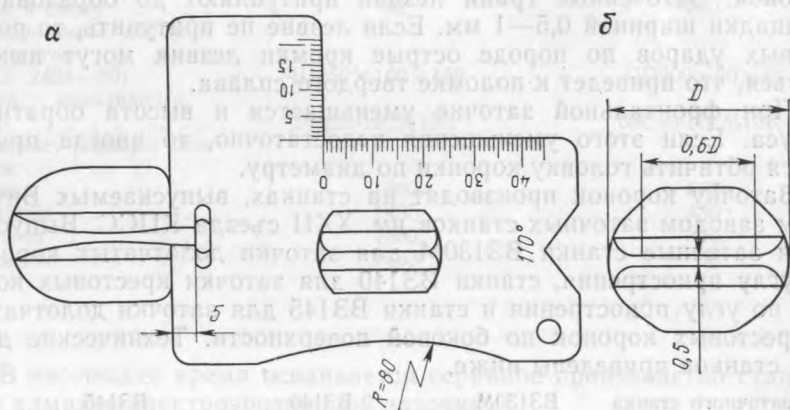


Рис. 7.23. Схема заточки долотчатых коронок:  
а — замер допустимого износа; б — схема заточки

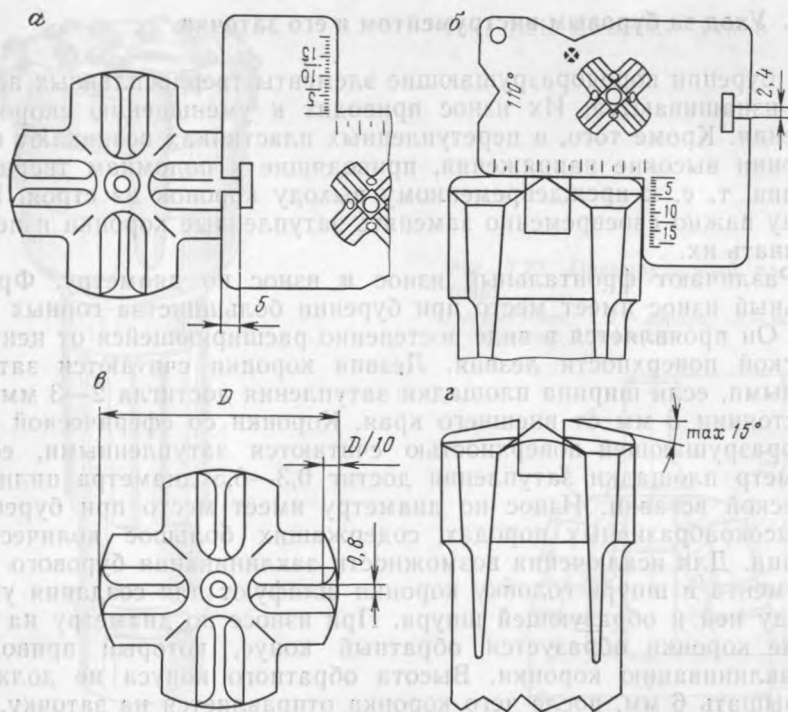


Рис. 7.24. Схема заточки крестовых коронок:

а — замер допустимого износа; б — замер высоты обратного конуса; в — схема заточки; г — угол износа лезвия коронки

Чрезмерная заточка приводит к уменьшению срока службы коронок. Заточенные грани лезвий притупляют до образования площадки шириной 0,5—1 мм. Если лезвие не притупить, то после первых ударов по породе острые кромки лезвия могут выкрошиться, что приведет к поломке твердого сплава.

При фронтальной заточке уменьшается и высота обратного конуса. Если этого уменьшения недостаточно, то иногда приходится обтачить головку коронки по диаметру.

Заточку коронок производят на станках, выпускаемых Витебским заводом заточных станков им. XXII съезда КПСС. Выпускаются заточные станки В3130М для заточки долотчатых коронок по углу приострения, станки В3140 для заточки крестовых коронок по углу приострения и станки В3145 для заточки долотчатых и крестовых коронок по боковой поверхности. Технические данные станков приведены ниже.

Тип заточного станка	В3130М	В3140	В3145
Назначение станка	Заточка долотчатых коронок по углу приострения	Заточка крестовых коронок по углу приострения	Заточка по диаметру, шлифовка конусов штанг

Диаметр затачиваемых коронок, мм . . . . .	36—46	36—46	36—155
Высота коронок, мм . . . . .	<90	<120	<210
Посадочный диаметр, мм . . . . .	19—25	19—38	90—70
Радиус кривизны лезвия, мм . . . . .	80—180	—	—
Угол приострения лезвия, градус . . . . .	110	110	—
Мощность привода, кВт . . . . .	4,12	5	7
Производительность, коронок в смену . . . . .	400	200	600
Форморазмеры абразивных кругов (ГОСТ 2424—83) . . . . .	ЧЦ250×100×150	ПП300×50×76	ПП350×40×127
Марка абразивного круга . . . . .	63С40-НСМ15К	24А26-НСМ15К	63С40-НСМ15К
Основные размеры станка, мм:			
длина . . . . .	1190	1440	1500
ширина . . . . .	780	1000	1260
высота . . . . .	1584	1690	1490
Масса, кг . . . . .	1190	1200	1590

Тип заточного станка	ВЗ139М	ВЗ141
Назначение станка	Заточка коронок для пневмоударников по углу приострения лезвия	Заточка долотчатых коронок

Диаметр затачиваемых коронок, мм . . . . .	80—155	36—60
Высота коронок, мм . . . . .	<210	<90
Посадочный диаметр, мм . . . . .	19—70	19—25
Радиус кривизны лезвия, мм . . . . .	180	
Угол приострения лезвия, градус . . . . .	110	110
Мощность привода, кВт . . . . .	4,62	0,6
Производительность, коронок в смену . . . . .	80	200
Форморазмеры абразивных кругов (ГОСТ 2424—83) . . . . .	ЧЦ250×100×150	ПП200×20×32
Марка абразивного круга . . . . .	24А26-НСМ15К	63С40-НСМ15К
Основные, размеры станка мм:		
длина . . . . .	1360	685
ширина . . . . .	1435	430
высота . . . . .	1550	820
Масса, кг . . . . .	1553	98

В настоящее время осваивается серийное производство станков для алмазно-электроэрозионной заточки.

За рубежом выпускаются легкие портативные станки с пневматическим приводом для заточки буров непосредственно в забое.

При заточке лезвийных коронок используют абразивные круги из зеленого карбида кремния на керамической связке. Рекомендуется применять круги зернистостью 40—60 и твердостью М-СМ.

Для заточки коронок с цилиндро-сферическими твердосплавными вставками фирма «Фагерста Секорок» выпускает стационарные станки «Гринд Матик Б». Технические данные станка «Гринд Матик Б» приведены ниже.

Максимальная высота коронки, мм	185
Максимальный диаметр коронки, мм	127
Максимальный диаметр юбки коронки, мм	90
Минимальное расстояние между вставками, мм	3,5
Напряжение, В	220/380
Частота, Гц	50
Мощность двигателей, кВт:	
заточного шпинделя	0,75
винта плиты подачи	0,15
охлаждающего насоса	0,17
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	0,044
Давление сжатого воздуха, МПа	0,4—0,7
Частота вращения, с <sup>-1</sup> :	
заточного шпинделя	220
винта плиты подачи	0,19

Заточку производят алмазным заточным роликом, находящимся на шпинделе. Для придания твердосплавной вставке сферической формы коронку крепят на плите, которая вращается.

К контакту между роликом и вставкой подают охлаждающую жидкость, состоящую из 30 частей воды и 1 части охлаждающего концентрата.

Для тех же целей фирма «Атлас Копко» выпускает портативную заточную машину LSD36, работающую на сжатом воздухе. Техническая характеристика машинки LSD36 приведена ниже.

Давление сжатого воздуха, МПа	0,6—0,7
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	1
Давление воды для промывки, МПа	0,45
Частота вращения шпинделя с <sup>-1</sup>	333
Масса без шлангов, кг	1,5

Существует аналогичная машинка СМЕ84VS150, имеющая несколько большую массу — 2,6 кг и меньшую частоту вращения — 250—267 с<sup>-1</sup>.

Для осуществления заточки твердого сплава используют алмазные головки «Дайрок», для выемки металла между твердосплавными вставками — головки «Боррок», в которых вместо алмазов используют кристаллы нитрида бора.

На рис. 7.25 показаны конструкции головок «Дайрок» и «Боррок»

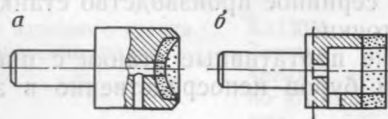


Рис. 7.25. Алмазные заточные головки «Дайрок» (а) и «Боррок» (б)



рок», которые выпускают для заточки сферических вставок с радиусом сферы 8; 10; 12; 14 и 16 мм.

В СССР выпуск таких заточных головок начало производить московское производственное объединение по выпуску алмазного инструмента.

## 8. РАСЧЕТЫ УДАРНЫХ СИСТЕМ

### 8.1. Общие положения

В данном разделе приведены расчеты, связанные с распространением волн напряжений в системе «ударник — хвостовик — буровая штанга», и расчеты силовых воздействий на инструмент при его внедрении в породу.

Ранее выполняемые расчеты исходили из того, что система, по которой проходил силовой импульс, являлась сплошной в течение всего времени удара. Последние исследования показывают, что существуют условия, при которых система размыкается силами отраженных волн, что заставляет вносить соответствующие дополнения в расчетные методики.

Расчеты по внедрению бурового инструмента в породу являются следствием проявления закона формы ударяющего тела.

Основное внимание уделено расчету внешнего цикла машин ударного действия, т. е. генерации силового импульса и его прохождению по буровому инструменту.

### 8.2. Расчет внешнего цикла машин ударного действия

Расчет сводится к определению сил и напряжений в элементах ударных систем, состоящих из поршня, хвостовика и штанги. Элементы представляют собой стержни переменного сечения, а система — единое целое, т. е. не размыкается во время прохождения силового импульса [5, 48].

Будем полагать, что два стержня одинаковой площади сечения  $S$  и равной длины  $l$  движутся навстречу друг другу со скоростью  $v_0/2$ . Относительная деформация во время удара

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{v_0 t}{2at} = \frac{v_0}{2a},$$

где  $a$  — скорость прохождения волны напряжений по стержням;  $\Delta l$  — величина деформации стержня.

Напряжение  $\sigma$  в стержнях при деформации  $\varepsilon$

$$\sigma = E\varepsilon.$$

Сила, возникающая в стержне при ударе,  $F_p = \sigma S$ , или

$$F_p = \frac{ESv_0}{2a}, \quad (8.1)$$

где  $S$  — площадь сечения стержня;  $E$  — модуль упругости материала стержней.

Время удара определяется скоростью прохождения силового импульса по наиболее короткому ударяющему стержню:

$$t = 2l/a,$$

где  $l$  — длина ударяющего стержня.

Форма импульса будет прямоугольная (рис. 8.1).

Энергия импульса

$$A = \frac{Sa}{E} \sigma^2 t.$$

При переменном значении  $\sigma(t)$ , зависящем от времени  $t$ ,

$$A = \frac{Sa}{E} \int_0^t \sigma^2(t) dt.$$

Пример. Отрезок штанги длиной 0,5 м и площадью сечения 5,1 см<sup>2</sup> ударяет о штангу той же площади сечения бесконечной длины со скоростью 5 м/с. Определить силу в импульсе.

$$F = \frac{21 \cdot 10^{10} \cdot 5,1 \cdot 10^{-4} \cdot 5}{2 \cdot 5000} = 53 \ 500 \text{ Н};$$

$$\sigma = \frac{53500}{5,1 \cdot 10^{-4}} = 105 \text{ МПа};$$

$$t = \frac{2 \cdot 0,5}{5000} = 200 \text{ мкс};$$

$$A = \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 5,1 \cdot 10^8 (105 \cdot 10^6)^2 \cdot 200 \cdot 10^{-6}}{21 \cdot 10^{10}} = 26 \text{ Дж}.$$

При ударе утолщенным стержнем ( $S_1 > S_2$ ) происходит деформация конца этого стержня и часть энергии, следовательно, и сила переходит во второй стержень, а часть энергии отражается. Коэффициент прохождения силы определяется коэффициентом  $Q$ . Следовательно, во время первого прохода волны по короткому стержню во втором стержне будет генерироваться импульс

$$F_1 = \frac{ESv_0}{2a} Q.$$

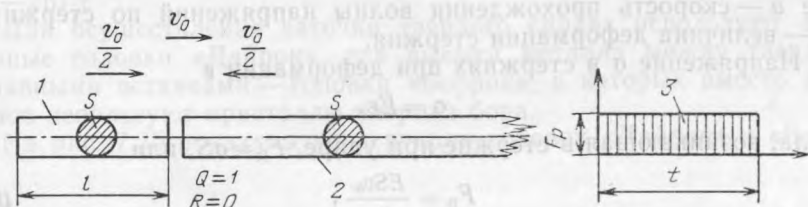


Рис. 8.1. Соударение стержней равного сечения:

1 и 2 — ударяющий и ударяемый стержни; 3 — форма импульса

Часть энергии будет отражаться от плоскости  $xx$  обратно в утолщенный стержень (рис. 8.2), уменьшая амплитуду силового импульса. При втором проходе волны к штанге подойдет импульс с уменьшенной амплитудой, величина которой определяется как произведение

$$\frac{ES_1v_0}{2a} |R|.$$

В штангу пройдет импульс, уменьшенный на коэффициент прохождения  $Q$ . Таким образом,

$$F_2 = \frac{ES_1v_0}{2a} Q |R|.$$

При  $n$ -ном проходе волны

$$F_n = \frac{ES_1v_0}{2a} Q |R|^{n-1}.$$

где  $n$  — число проходов волны по ударяющему стержню.

Коэффициент прохождения [48]

$$Q = \frac{2S_2}{S_1 + S_2}.$$

Коэффициент отражения

$$R = \left| \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1} \right|.$$

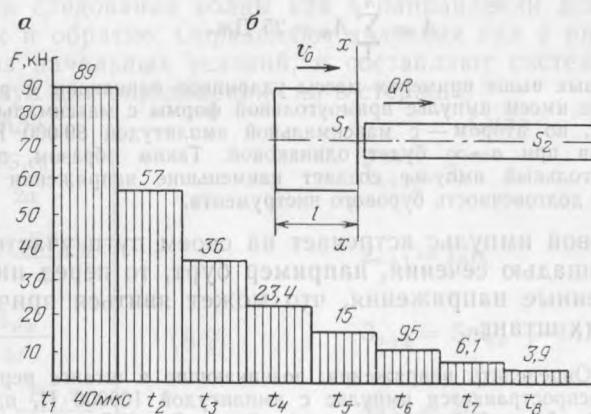


Рис. 8.2. Удар утолщенного стержня по тонкому стержню:

$a$  — эпюра сил в тонком стержне (форма силового импульса);  $b$  — схема соударения элементов;  $S_1$  — сечение ударяющего стержня;  $S_2$  — сечение ударяемого стержня

Пример. Определить амплитуду сил  $F_n$ , напряжений и энергию импульса  $A$  в длинной буровой штанге при ударе по ней ударником массой 2 кг, диаметром 57 мм и длиной 100 мм. Площадь сечения штанги 5,1 см<sup>2</sup>. Скорость соударения стержней 5 м/с.

$$F_1 = \frac{21 \cdot 10^{10} \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot 5}{2 \cdot 5 \cdot 10^3} \frac{2 \cdot 5,1 \cdot 10^{-4}}{25 \cdot 10^{-4} + 5,1 \cdot 10^{-4}} \approx 89000 \text{ Н};$$

$$F_2 = \frac{21 \cdot 10^{10} \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot 5}{2 \cdot 5 \cdot 10^3} \frac{2 \cdot 5,1 \cdot 10^{-4}}{25 \cdot 10^{-4} + 5,1 \cdot 10^{-4}} \left| \frac{5,1 \cdot 10^{-4} - 25 \cdot 10^{-4}}{25 \cdot 10^{-4} + 5,1 \cdot 10^{-4}} \right| \approx 57000 \text{ Н};$$

$$F_3 = 57000 \cdot 0,64 \approx 36400 \text{ Н};$$

$$F_4 = 36400 \cdot 0,64 \approx 23400 \text{ Н};$$

$$F_5 = 23400 \cdot 0,64 \approx 15000 \text{ Н};$$

$$F_6 = 15000 \cdot 0,64 \approx 9500 \text{ Н};$$

$$F_7 = 9500 \cdot 0,64 \approx 6100 \text{ Н};$$

$$F_8 = 6100 \cdot 0,64 \approx 3900 \text{ Н и т. д.}$$

$$t_{1, 2, 3, \dots, n} = \frac{2 \cdot 0,1}{5000} = 40 \text{ мкс};$$

$$\sigma_1 = 170 \text{ МПа}; \quad \sigma_2 = 112 \text{ МПа}; \quad \sigma_3 = 71 \text{ МПа};$$

$$\sigma_4 = 46 \text{ МПа}; \quad \sigma_5 = 29 \text{ МПа}; \quad \sigma_6 = 19 \text{ МПа};$$

$$\sigma_7 = 12 \text{ МПа}; \quad \sigma_8 = 7,6 \text{ МПа};$$

$$A_1 = \frac{5,1 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^3 (170 \cdot 10^6)^2 \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{21 \cdot 10^{10}} = 14 \text{ Дж};$$

$$A_2 = 6,1 \text{ Дж}; \quad A_3 = 2,4 \text{ Дж}; \quad A_4 = 10 \text{ Дж};$$

$$A_5 = 0,4 \text{ Дж}; \quad A_6 = 0,1 \text{ Дж}; \quad A_7 = 0,06 \text{ Дж}; \quad A_8 = 0,02 \text{ Дж};$$

$$A = \sum_1^n A_n = 25 \text{ Дж.}$$

В приведенных выше примерах массы ударников одинаковы и равны 2 кг. В первом случае имеем импульс прямоугольной формы с максимальной амплитудой 53 500 Н, во втором — с максимальной амплитудой 89 000 Н. Энергия обоих импульсов при  $n \rightarrow \infty$  будет одинаковой. Таким образом, при равной энергии прямоугольный импульс создает наименьшие напряжения в штанге, что увеличивает долговечность бурового инструмента.

Если силовой импульс встречает на своем пути участок с увеличенной площадью сечения, например бурт, то перед ним возникают увеличенные напряжения, что может явиться причиной поломки буровых штанг.

Пример. Определить напряжения, возникающие в штанге перед буртом, если по ней распространяется импульс с амплитудой 160 000 Н, площадь сечения штанги  $S_1 = 5,1 \text{ см}^2$ , площадь сечения бурта  $S_2 = 40,7 \text{ см}^2$ .

Определим коэффициент отражения.

$$R = \frac{40,7 - 5,1}{5,1 + 40,7} = 0,78.$$

Сила в отраженном импульсе

$$F_{\text{отр}} = 160\,000 \cdot 0,78 \approx 125\,000 \text{ Н.}$$

Действующее усилие перед буртом

$$F = 160\,000 + 125\,000 = 285\,000 \text{ Н.}$$

Напряжения в штанге перед буртом

$$\sigma = \frac{285\,000}{5,1 \cdot 10^{-4}} = 56 \cdot 10^7 \text{ Па} = 560 \text{ МПа.}$$

Если силовой импульс встретит на своем пути местное сужение поперечного сечения стержня (шейку), то в сужении создадутся напряжения, превышающие амплитуду первоначального импульса. При равных сечениях стержня до сужения и после него напряжение в шейке

$$\sigma_2 = \frac{S_1}{S_2} \sigma_1 Q_1 (1 + R_2 + R_2 R_3 + R_2^2 R_3 + R_2^2 R_3^2 + \dots).$$

При многоступенчатом ударнике составляем свод рекуррентных формул, следуя которым можно рассчитать напряжения и силы, действующие в инструменте. В качестве примера рассмотрим трехступенчатый ударник (рис. 8.3).

Первоначально разбиваем длину ударника на участки (шаги) таким образом, чтобы время одного шага укладывалось целое число раз в каждом сечении.

Затем составляют схему действия сил, определяют значения коэффициентов прохождения  $Q$  и отражения  $R$  для каждого сечения при следовании волны как в направлении движения ударника, так и обратно. Определяют значения сил с индексом один, исходя из начальных условий, и составляют систему рекуррентных формул для определения сил в стержне:

Сила		Сила
$1_1 = \frac{ES_1 v_0}{2a}$	(8.2)	$1_{n+1} = 3n$
$2_1 = \dots \frac{ES_1 v_0}{2a}$		$2_{n+1} = 1_n R$
$3_1 = \frac{ES_1 v_0}{2a}$		$3_{n+1} = 5n Q_2 + 4n R_4$
$4_1 = \dots \frac{ES_1 v_0}{2a}$		$4_{n+1} = 2n$
$5_1 = \frac{ES_2 v_0}{2a}$		$5_{n+1} = 7n Q_3 + 6n R_5$

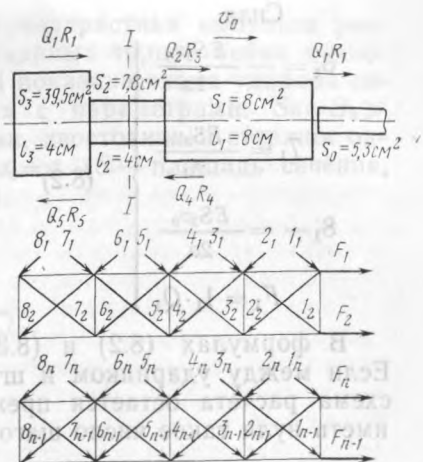


Рис. 8.3. Удар многоступенчатого бойка по стержню



$$\left. \begin{aligned} \text{Сила} \\ 6_1 &= -\frac{ES_2v_0}{2a} \\ 7_1 &= \frac{ES_3v_0}{2a} \\ 8_1 &= \frac{ES_3v_0}{2a} \\ F_1 &= I_1 \cdot Q_1 \end{aligned} \right\} (8.2)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Сила} \\ 6_{n+1} &= 4nQ_4 + 5nR_2 \\ 7_{n+1} &= -8n \\ 8_{n+1} &= 6nQ_5 + 7nR_3 \\ F_n &= I_{n+1}Q_1 \end{aligned} \right\} (8.3)$$

В формулах (8.2) и (8.3) цифрами обозначены силы [48]. Если между ударником и штангой имеется хвостовик, то общая схема расчета остается прежней. Силы в штангах (8.2) будут иметь нули такое число шагов, пока волна не подойдет к штанге.

### 8.3. Расчет внешнего цикла при условии размыкания сплошности ударной системы \*

В известных методах расчета сил (напряжений) промежуточный элемент в ударных системах не оказывает принципиального влияния на процесс передачи силовых импульсов. Основным положением существующих методов расчета является условие, что во время удара волны упругих деформаций передаются по элементам ударной системы в обоих направлениях, как по цельному волноводу. Однако проведенный анализ изменения скоростей ударных торцов бойка и промежуточного элемента (хвостовик) показал, что при определенных соотношениях площадей поперечных сечений и длин элементов ударной системы происходит ее периодическое размыкание. При этом процесс формирования силовых импульсов отличается от принятого в расчетах. Определение размыкания ударной системы производится с использованием коэффициентов изменения скоростей деформаций в прямых и отраженных волнах. Коэффициент изменения скорости деформаций в отраженной волне

$$R_v = \frac{S_n - S_{n+1}}{S_n + S_{n+1}},$$

Коэффициент изменения скорости деформации в прошедшей волне

$$Q_v = \frac{2S_n}{S_n + S_{n+1}}.$$

*Формирование силовых импульсов в ударной системе с параметрами:*

$$S_0 = S_x > S_0, \quad l_0 = l_x, \quad l_0 \rightarrow \infty$$

\* Работа выполнялась канд. техн. наук А. А. Шпенстом под методическим руководством проф. К. И. Иванова.

Для определения амплитудной характеристики импульса рассмотрим, как изменяются скорости ударных торцов бойка и хвостовика в процессе удара. На рис. 8.4 показана схема ударной системы «боек — хвостовик — стержень» с параметрами:  $S_6 = S_x > S_0 = S_\sigma$ ;  $l_6 = l_x = l$ ;  $l_0 \rightarrow \infty$ . Материал бойка, хвостовика и стержня однородный, т. е.  $\rho_6 = \rho_x = \rho_0$ ,  $a_6 = a_x = a_0 = a$  ( $S$  — площадь сечения,  $a$  — скорость распространения волны).

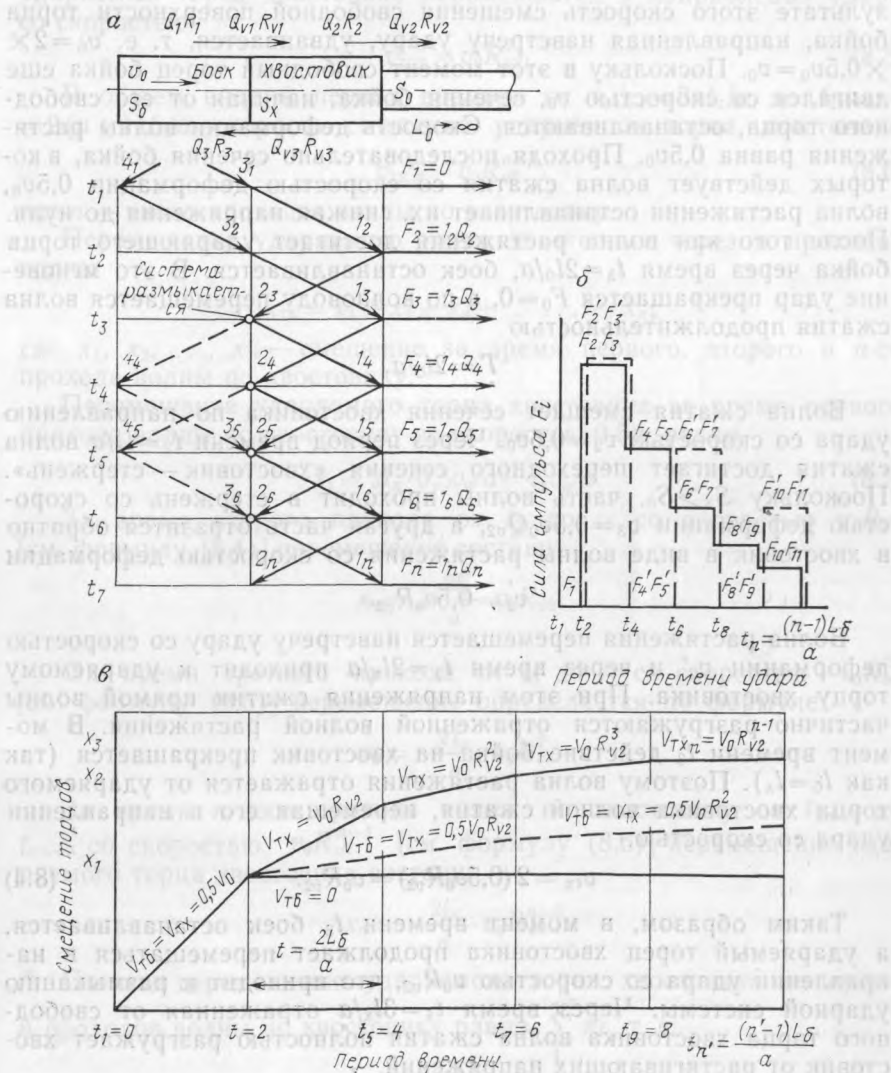


Рис. 8.4. Ударная система  $S_6 = S_x > S_0$ ;  $l_6 = l_x$ ;  $l_0 \rightarrow \infty$ :

а — расчетная схема действия сил; б — график импульса силы; в — график смещения ударных торцов бойка и хвостовика (индексы: б — боек; х — хвостовик; о — штанга)

До удара боек двигался со скоростью  $v_0$ , скорость хвостовика  $-v_x=0$ . В момент удара ( $t_1=0$ ) вблизи контакта ударных торцов бойка и хвостовика возникают упругие волны деформации сжатия. Поскольку  $S_6=S_x$ , скорости деформации ударных торцов бойка и хвостовика одинаковые:  $v_1=v_2=0,5v_0$ .

Через промежуток времени  $t_2=l_6/a$  волна сжатия доходит до свободного торца бойка, где сменяется волной растяжения, которая распространяется в направлении ударяющего торца. В результате этого скорость смещения свободной поверхности торца бойка, направленная навстречу удару, удваивается, т. е.  $v_6=2 \times 0,5v_0=v_0$ . Поскольку в этот момент свободный торец бойка еще двигался со скоростью  $v_0$ , сечения бойка, начиная от его свободного торца, останавливаются. Скорость деформации волны растяжения равна  $0,5v_0$ . Проходя последовательно сечения бойка, в которых действует волна сжатия со скоростью деформации  $0,5v_0$ , волна растяжения останавливает их, снижая напряжения до нуля. После того как волна растяжения достигает ударяющего торца бойка через время  $t_3=2l_6/a$ , боек останавливается. В это мгновение удар прекращается  $F_0=0$ , а по волноводу перемещается волна сжатия продолжительностью

$$T = 2l_6/a.$$

Волна сжатия смещает сечения хвостовика по направлению удара со скоростью  $v_2=0,5v_0$ . Через период времени  $t_2=l_x/a$  волна сжатия достигает переходного сечения «хвостовик — стержень». Поскольку  $S_x > S_0$ , часть волны проходит в стержень со скоростью деформации  $v_3=0,5v_0 Q_{v2}$ , а другая часть отразится обратно в хвостовик в виде волны растяжения со скоростью деформации

$$v_2' = 0,5v_0 R_{v2}.$$

Волна растяжения перемещается навстречу удару со скоростью деформации  $v_2'$  и через время  $t_3=2l_x/a$  приходит к ударяемому торцу хвостовика. При этом напряжения сжатия прямой волны частично разгружаются отраженной волной растяжения. В момент времени  $t_3$  действие бойка на хвостовик прекращается (так как  $l_6=l_x$ ). Поэтому волна растяжения отражается от ударяемого торца хвостовика волной сжатия, перемещая его в направлении удара со скоростью.

$$v_{Tx} = 2(0,5v_0 R_{v2}) = v_0 R_{v2}. \quad (8.4)$$

Таким образом, в момент времени  $t_3$  боек останавливается, а ударяемый торец хвостовика продолжает перемещаться в направлении удара со скоростью  $v_0 R_{v2}$ , что приводит к размыканию ударной системы. Через время  $t_4=3l_x/a$  отраженная от свободного торца хвостовика волна сжатия полностью разгружает хвостовик от растягивающих напряжений.

В следующий момент времени  $t_4$  волна сжатия со скоростью деформации  $0,5v_0 R_{v2}$  частично проходит в стержень. Скорость деформации в прошедшей волне

$$v_3' = 0,5v_0R_{v2}Q_{v2}.$$

Вторая часть волны отразится от переходного сечения «хвостовик—стержень» в виде волны растяжения со скоростью деформации

$$v_2'' = 0,5v_0R_{v2}.$$

Таким образом, в период времени от  $t_5 = 4l_x/a$  до  $t_7 = 6l_x/a$  ударяемый торец хвостовика перемещается в направлении удара со скоростью

$$v_{тх2} = v_0R_{v2}^2. \quad (8.5)$$

В общем виде в период времени от  $t_{2n+1} = 2nl_x/a$  до  $t_{2n+3} = 2(n+1)l_x/a$  скорость смещения ударяемого торца хвостовика

$$v_{тхn} = v_0R_{v2}^{n-1}, \quad (8.6)$$

где  $n$  — число проходов волны по хвостовику.

Перемещение ударяемого торца хвостовика через  $n$  проходов волны

$$x_{тх} = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n,$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — смещение за время первого, второго и  $n$ -го прохода волны по хвостовику.

Перемещение ударяемого торца хвостовика за время первого прохода волны по хвостовику со скоростью  $0,5v_0$  равно

$$x_1 = 2l_x \cdot 0,5v_0/a = l_x v_0/a. \quad (8.7)$$

За время второго прохода от  $t_3$  до  $t_5$  со скоростью  $v_0R_{v2}$  [см. формулу (8.4)] перемещение составит

$$x_2 = \frac{2l_x}{a} v_0R_{v2}.$$

За время третьего прохода от  $t_5$  до  $t_7$  со скоростью  $v_0R_{v2}^2$  [см. формулу (8.5)] перемещение определяется по формуле

$$x_3 = \frac{2l_x}{a} v_0R_{v2}^2.$$

За время  $n$ -ного прохода волны по хвостовику от  $t_{2n+1}$  до  $t_{2n+3}$  со скоростью  $v_0R_{v2}^{n-1}$  [см. формулу (8.6)] перемещение ударяемого торца хвостовика составит

$$x_n = \frac{2l_x}{a} v_0R_{v2}^{n-1}.$$

Полное перемещение ударяемого торца хвостовика за время  $n$  проходов волны по хвостовику равно  $\sum_{i=1}^n x_i$ , т. е.

$$x_{тх} = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n = \frac{2l_x v_0}{a} (0,5 + R_{v2} + R_{v2}^2 + \dots + R_{v2}^{n-1}). \quad (8.8)$$

Расстояние, на которое ударяемый торец хвостовика переместится от остановившегося бойка, равно разности выражений (8.8) и (8.7):

$$\Delta x = \frac{2l_x}{a} v_0 R_{v2} (1 + R_{v2} + \dots + R_{v2}^{n-1}).$$

Рассмотрим, как изменяются коэффициенты прохождения  $Q_i$  и отражения  $R_i$  и силы в данной ударной системе.

До периода времени  $t_3 = 2l_6/a$  боек ударяет по хвостовику и коэффициенты прохождения и отражения сил соответственно равны:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 1; & R_1 &= 0; \\ Q_2 &= \frac{2S_0}{S_0 + S_x}; & R_2 &= \left| \frac{S_0 - S_x}{S_0 + S_x} \right|; \\ Q_3 &= 1; & R_3 &= 0. \end{aligned} \quad (8.9)$$

После остановки бойка ударная система размыкается и коэффициенты прохождения и отражения сил принимают значения

$$Q_1 = 0; \quad R_1 = -1; \quad Q_3 = 0; \quad R_3 = -1. \quad (8.10)$$

Значения «первых» сил вычисляются по формуле (8.1). Последующие силы определяются по расчетной схеме на основе значений предыдущих сил с учетом соответствующих коэффициентов прохождения и отражения. Из графиков сил (см. рис. 8.4, б) видно, что амплитудная характеристика импульсов, полученных с учетом размыкания ударной системы, состоит из каскада непрерывных обратных ступеней с периодом  $\tau = 2l/a$ . Амплитудная характеристика импульсов дробится на несколько порций, длительность каждой из которых равна длительности импульса  $T_1 = 2l_6/a$ . Интервал времени между порциями импульса  $T_2 = 2l_x/a$ .

Таким образом, амплитудная характеристика импульса, рассчитанного с учетом размыкания ударной системы, существенно отличается от полученного по старому методу.

*Формирование силовых импульсов в ударной системе с бойком, площадь сечения которого равна площади сечения хвостовика, но меньшим по длине.* Формирование силовых импульсов в ударной системе с параметрами  $S_6 = S_x > S_0$ ,  $2l_6 = l_x$ ,  $l_0 \rightarrow \infty$  показано на рис. 8.5.

При  $l_6 < l_x$  боек останавливается и полностью разгружается от напряжений к моменту времени  $t_3 = 2l_6/a$  от начала удара. С момента остановки сила действия бойка на хвостовик равна нулю, а по хвостовику и стержню перемещается импульс силы, длительностью  $T_1 = 2l_6/a$ . Поскольку хвостовик длиннее бойка, к моменту остановки последнего отраженный импульс в хвостовике еще не достигнет его ударяемого торца. Поэтому этот торец в момент времени  $t_3$  останавливается. Одновременно импульс в хвостовике приходит к сечению стержня, где частично отража-



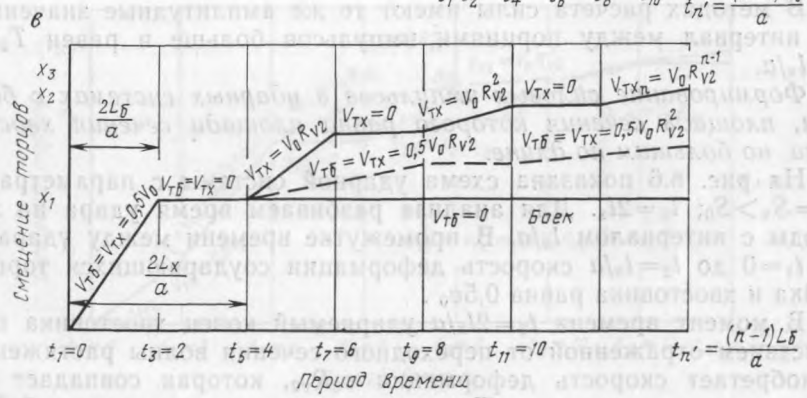
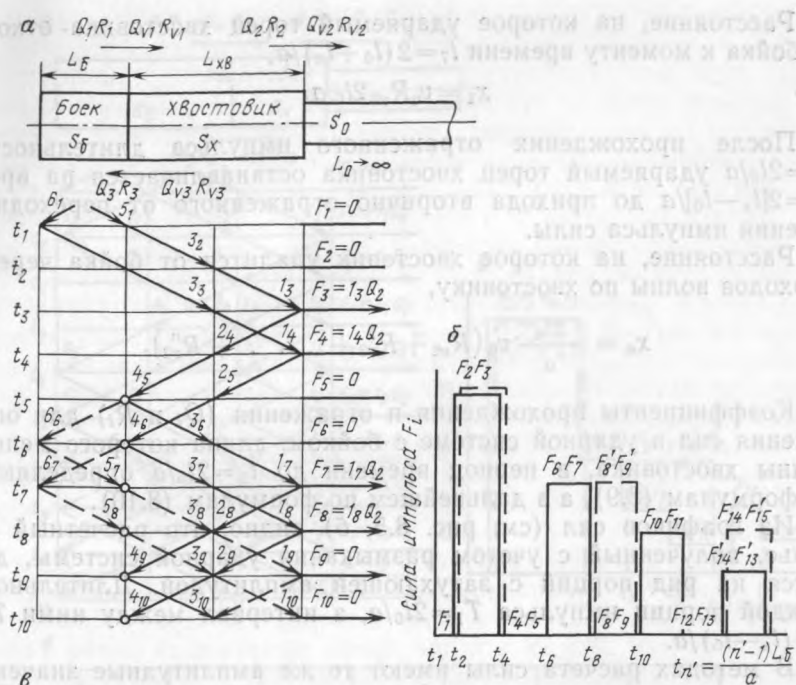


Рис. 8.5. Ударная система  $S_б = S_х > S_0$ ;  $l_б = 0,5l_х$ ;  $l_0 \rightarrow \infty$ ;  
 а — расчетная схема действия сил; б — график импульса силы; в — график смещения ударных торцов бойка и хвостовика

ется волной растяжения. Скорость деформации отраженного импульса  $0,5v_0 R_{v2}$ . Через время  $t_5 = 2l_х/a$  отраженная волна растяжения доходит до ударяемого торца хвостовика, от которого отражается, как от свободной поверхности волной сжатия. Под действием отраженных волн ударяемый торец хвостовика перемещается в направлении удара со скоростью  $v_{Tх}$ , определяемой по формуле (8.4), что приводит к размыканию ударной системы.

Расстояние, на которое ударяемый торец хвостовика отходит от бойка к моменту времени  $t_7 = 2(l_6 + l_x)/a$ ,

$$x_1 = v_0 R_{v2} 2l_6/a.$$

После прохождения отраженного импульса длительностью  $T_1 = 2l_6/a$  ударяемый торец хвостовика останавливается на время  $T_2 = 2[l_x - l_6]/a$  до прихода вторично отраженного от переходного сечения импульса силы.

Расстояние, на которое хвостовик удалится от бойка через  $n$  проходов волны по хвостовику,

$$x_n = \frac{2l_6}{a} v_0 (R_{v2} + R_{v2}^2 + \dots + R_{v2}^n).$$

Коэффициенты прохождения и отражения ( $Q_i$  и  $R_i$ ) для определения сил в ударной системе с бойком, длина которого меньше длины хвостовика, в период времени до  $t_3 = 2l_6/a$  определяются по формулам (8.9), а в дальнейшем по формулам (8.10).

Из графиков сил (см. рис. 8.5, б) видно, что расчетный импульс, полученный с учетом размыкания ударной системы, дробится на ряд порций с затухающей амплитудой. Длительность каждой порции импульса  $T_1 = 2l_6/a$ , а интервал между ними  $T_2 = 2(l_x - l_6)/a$ .

В методах расчета силы имеют те же амплитудные значения, но интервал между порциями импульсов больше и равен  $T_2' = 2l_x/a$ .

*Формирование силовых импульсов в ударных системах с бойком, площадь сечения которого равна площади сечения хвостовика, но большим по длине.*

На рис. 8.6 показана схема ударной системы с параметрами  $S_6 = S_x > S_0$ ;  $l_6 = 2l_x$ . Для анализа разбиваем время удара на периоды с интервалом  $l_x/a$ . В промежутке времени между ударами от  $t_1 = 0$  до  $t_2 = l_x/a$  скорость деформации соударяющихся торцов бойка и хвостовика равна  $0,5v_0$ .

В момент времени  $t_3 = 2l_x/a$  ударяемый конец хвостовика под действием отраженной от переходного сечения волны растяжения приобретает скорость деформации  $v_0 R_{v2}$ , которая совпадает по направлению с ударом. При этом скорость соударения бойка с хвостовиком  $v_0' = v_0 - v_0 R_{v2} = v_0(1 - R_{v2})$ . В результате скорость деформации волн сжатия в бойке и хвостовике равна  $0,5v_0(1 - R_{v2})$ , а пространственная скорость ударных торцов бойка и хвостовика

$$v_{v6} = v_{vx} = v_0 + 0,5v_0(1 - R_{v2}) = 0,5v_0(1 + R_{v2}).$$

Соответственно изменяются и силы в ударной системе в интервале времени от  $t_3$  до  $t_5 = 4l_x/a$ . Сила удара бойка по хвостовику  $F_0$  уменьшается пропорционально изменению скорости соударения в  $0,5 v_0 R_{v2}$  раз. В это же время на ударном торце хвостовика, кроме силы  $F_0$ , действует еще и сила  $F_2'$  отраженной

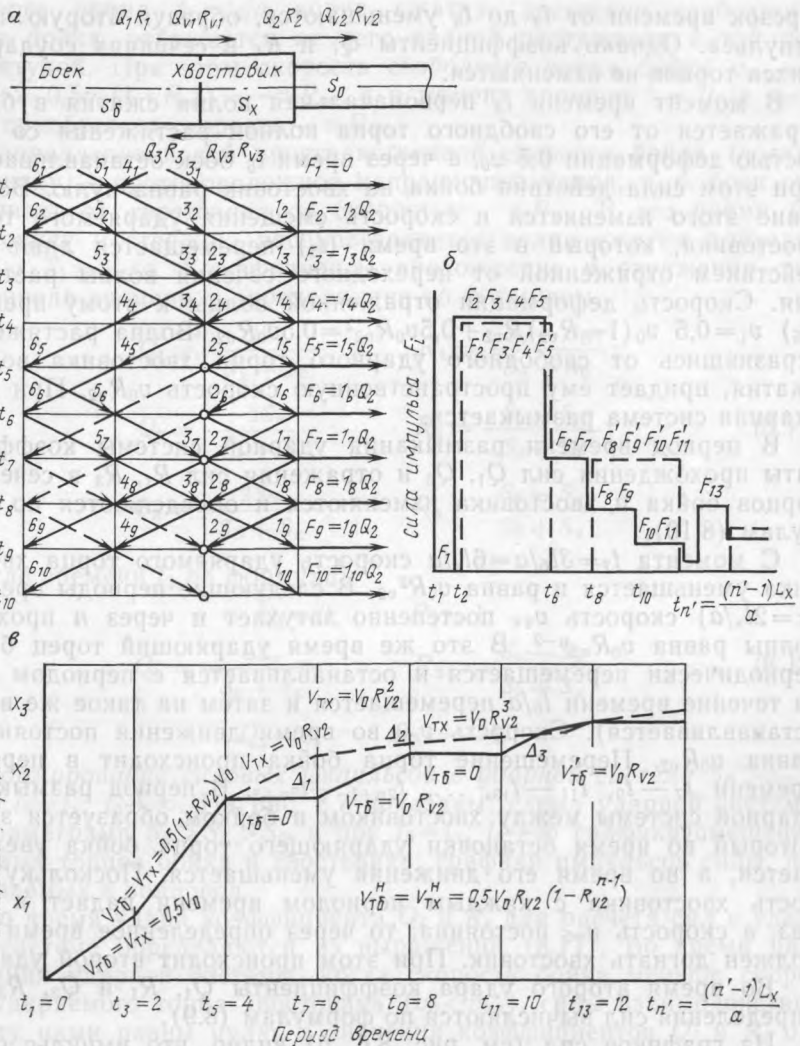


Рис. 8.6. Ударная система  $S_б = S_х > S_0; l_б = 2l_х; l_х \rightarrow \infty$ :

**а** — расчетная схема действия сил; **б** — график импульса силы; **в** — график смещения ударных торцов бойка и хвостовика

волны. Скорость деформации этой волны равна  $0,5 v_0 R v_2$ , а направление совпадает с направлением удара. Поэтому уменьшение силы  $F_0$ , действующей на хвостовик, компенсируется за счет силы  $F_0'$  отраженной волны, которая и приводит к указанному изменению.

Таким образом, силы и скорости деформации волны в хвостовике и стержне в период времени от  $t_1$  до  $t_5$  по амплитуде не изменяются. В бойке силы и скорости деформации волны за

отрезок времени от  $t_3$  до  $t_5$  уменьшаются, образуя вторую часть импульса. Однако коэффициенты  $Q_i$  и  $R_i$  в сечениях соударяющихся торцов не изменяются.

В момент времени  $t_3$  первоначальная волна сжатия в бойке отражается от его свободного торца волной растяжения со скоростью деформации  $0,5 v_0$ , а через время  $t_5$  боек останавливается. При этом сила действия бойка на хвостовик равна нулю. Вследствие этого изменяется и скорость смещения ударяемого торца хвостовика, который в это время ( $t_5$ ) перемещается лишь под действием отраженной от переходного сечения волны растяжения. Скорость деформации отраженной волны к этому времени ( $t_5$ )  $v_1 = 0,5 v_0 (1 - R_{v2}) R_{v2} + 0,5 v_0 R_{v2}^2 = 0,5 v_0 R_{v2}$ . Волна растяжения, отразившись от свободного ударного торца хвостовика волной сжатия, придает ему пространственную скорость  $v_0 R_{v2}$ . При этом ударная система размыкается.

В период времени размыкания ударной системы коэффициенты прохождения сил  $Q_1, Q_3$  и отражения сил  $R_1, R_3$  в сечениях торцов бойка и хвостовика изменяются и определяются по формулам (8.10).

С момента  $t_7 = 3l_6/a = 6l_x/a$  скорость ударяемого торца хвостовика уменьшается и равна  $v_0 R_{v2}^2$ . В следующие периоды времени ( $\tau = 2l_x/a$ ) скорость  $v_{Tx}$  постепенно затухает и через  $n$  проходов волны равна  $v_0 R_{v2}^{n-2}$ . В это же время ударяющий торец бойка периодически перемещается и останавливается с периодом  $2l_6/a$  (в течение времени  $l_6/a$  перемещается и затем на такое же время останавливается). Скорость  $v_{T6}$  во время движения постоянна и равна  $v_0 R_{v2}$ . Перемещение торца бойка происходит в периоды времени  $t_7 - t_9, t_{11} - t_{13}, \dots, t_{2n+1} - t_{2n+3}$ . В период размыкания ударной системы между хвостовиком и бойком образуется зазор, который во время остановки ударяющего торца бойка увеличивается, а во время его движения уменьшается. Поскольку скорость хвостовика с каждым периодом времени падает в  $R_{v2} v_0$  раз, а скорость  $v_{T6}$  постоянна, то через определенное время боек должен догнать хвостовик. При этом происходит второй удар.

Во время второго удара коэффициенты  $Q_1, R_1$  и  $Q_3, R_3$  для определения сил вычисляются по формулам (8.9).

Из графиков сил (см. рис. 8.6, б) видно, что импульс силы, полученный с учетом размыкания системы, имеет непрерывную форму с каскадом обратных ступеней. Импульс силы, рассчитанный по старой методике, состоит из ряда порций с интервалами длительностью

$$T_2 = 2l_x/a.$$

**Формирование силовых импульсов в ударной системе**  
 $S_0 < S_x > S_0; l_6 = l_x, l_0 \rightarrow \infty$ . При ударе бойком, имеющим меньшую площадь сечения, по хвостовику с большей площадью сечения ( $S_0 < S_x$ ) от ударяющего торца по бойку распространяется волна сжатия со скоростью деформации  $v_1 = 0,5 v_0 (1 + R_{v1})$ , а от ударяемого торца хвостовика — со скоростью  $v_2 = 0,5 v_0 Q_{v1}$ .

Через время  $t_2 = l_0/a$  волна сжатия, достигнув свободного торца бойка, отражается от него волной растяжения с той же амплитудой. При этом скорость свободного торца бойка  $v_{с.т.б} = v_0 - 2 \cdot 0,5v_0(1 + R_{v1}) = -v_0R_{v1}$ , а в момент времени  $t_3 = 2l_0/a$  весь боек приобретает скорость  $-v_0R_{v1}$ .

Направление новой пространственной скорости бойка (согласно знаку) — противоположное направлению удара, т. е. боек отскакивает от хвостовика со скоростью  $-v_0R_{v1}$ . В это время по хвостовику и стержню распространяется волна сжатия длительностью  $T_1 = 2l_0/a$ . Коэффициенты прохождения и отражения сил до периода времени  $t_3$  определяются по формулам

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{2S_x}{S_x + S_0}; & R_1 &= \frac{S_x - S_0}{S_x + S_0}; \\ Q_2 &= \frac{2S_0}{S_0 + S_x}; & R_2 &= \frac{S_0 - S_x}{S_0 + S_x}; \\ Q_3 &= \frac{2S_0}{S_0 + S_x}; & R_3 &= \frac{S_0 - S_x}{S_0 + S_x}, \end{aligned} \quad (8.11)$$

а после времени  $t_3$  по формулам

$$\begin{aligned} Q_1 &= 0; & R_1 &= 1; \\ Q_2 &= \frac{2S_0}{S_0 + S_x}; & R_2 &= \frac{S_0 - S_x}{S_0 + S_x}; \\ Q_3 &= 0; & R_3 &= -1. \end{aligned} \quad (8.12)$$

*Формирование силовых импульсов в ударной системе  $S_0 > S_x > S_0$ ;  $l_0 = l_x$ ;  $l_0 \rightarrow \infty$ .* На рис. 8.7 показаны: схема ударной системы с параметрами  $S_0 > S_x > S_0$ , а при  $l_0 = l_x$ ;  $l_0 \rightarrow \infty$  графики смещения ударных торцов бойка и хвостовика; графики импульсов силы, передаваемых в волновод.

Во время удара коэффициенты  $Q_i$  и  $R_i$  для расчета сил в ударной системе определяются из выражений (8.11). Во время размыкания ударной системы, когда скорость бойка меньше скорости ударяемого торца хвостовика ( $v_0 < v_{тх}$ ), силы взаимодействия между ними равны нулю, а значения коэффициентов  $Q_i$  и  $R_i$  определяются по формулам (8.12).

Коэффициенты изменения скорости деформации волн  $Q_{vi}$  и  $R_{vi}$  описываются выражениями:

при  $v_0 > v_{тх}$   $F_0 \neq 0$ ;

$$\begin{aligned} Q_{v1} &= \frac{2S_0}{S_0 + S_x}; & R_{v1} &= \frac{S_0 - S_x}{S_0 + S_x}; \\ Q_{v2} &= \frac{2S_x}{S_x + S_0}; & R_{v2} &= \frac{S_x - S_0}{S_x + S_0}; \\ Q_{v3} &= \frac{2S_x}{S_x + S_0}; & R_{v3} &= \frac{S_x - S_0}{S_x + S_0}; \end{aligned} \quad (8.13)$$





Определим для каждого периода времени удара значения коэффициентов  $Q_i$  и  $R_i$ . Для этого необходимо сравнить пространственные скорости бойка и ударяемого торца хвостовика по периодам времени.

Рассмотрим изменение скоростей в периоде от начала удара  $t_1=0$  до  $t_3=2l_0/a$ . До удара скорость бойка  $v_{т6}=v_0$ , а скорость ударяемого торца хвостовика  $v_{тх}=0$ . В момент удара и до времени  $t_3=2l_0/a$  на ударных торцах бойка и хвостовика образуются волны сжатия со скоростью деформации в бойке  $v_1=0,5 v_0(1-R_{v1})$ , а в хвостовике  $v_2=0,5 v_0 Q_{v1}=0,5 v_0(1+R_{v1})$ . Пространственные скорости торцов бойка и хвостовика в этот период времени равны между собой:  $v_{т6}=v_{тх}$ , а сила их взаимодействия  $F_0 \neq 0$ . Поэтому коэффициенты  $Q_i$  и  $R_i$  для расчета сил в период времени от  $t_1$  до  $t_3$  определяются согласно формулам (8.11), а  $Q_{vi}$  и  $R_{vi}$  — по формулам (8.13).

Рассмотрим изменение скоростей соударяющихся торцов бойка и хвостовика в отрезок времени от  $t_3$  до  $t_5=4l_0/a$ . Мгновенная скорость ударяющего торца бойка в момент времени  $t_3$

$$v_{т6} = v_0 - 2 \cdot 0,5 v_0 (1 - R_{v1}) = v_0 R_{v1}. \quad (8.14)$$

Мгновенная пространственная скорость ударяемого торца хвостовика в момент времени  $t_3$

$$v_{тх} = 2 \cdot 0,5 v_0 Q_{v1} R_{v2} = v_0 Q_{v1} R_{v2}. \quad (8.15)$$

Если в момент времени  $t_3$  мгновенная скорость  $v_{т6} > v_{тх}$ , то удар продолжается с новыми значениями скоростей деформации торцов бойка и хвостовика. Указанное условие выполняется при определенных соотношениях  $Q_{v1}$ ,  $R_{v1}$  и  $R_{v2}$ . Подставив вместо  $v_{т6}$  и  $v_{тх}$  их значения из формул (8.14) и (8.15), получим  $v_0 R_{v1} > v_0 Q_{v1} R_{v2}$ . Откуда

$$R_{v2} < R_{v1} / Q_{v1}. \quad (8.16)$$

Подставив в выражение (8.16) вместо  $R_{v1}$  и  $Q_{v1}$  их значения из уравнения (8.13) и упростив, получим

$$R_{v2} < 0,5 (1 - S_x / S_0). \quad (8.17)$$

Так как в данном случае  $S_x > S_0$ , то  $R_{v2} > 0$ , а выражение (8.17) можно записать в виде

$$0,5 (1 - S_x / S_0) > 0. \quad (8.18)$$

Решая уравнение (8.18), получаем, что для продолжения удара после времени  $t_3$  необходимо выполнение условия  $S_0 > S_x$ .

Достаточным условием для продолжения удара является область  $I$  значений  $R_{v2}$  и  $S_x / S_0$ , которая находится по графику, построенному на основе уравнения (8.17). Коэффициенты  $Q_i$  и  $R_i$  для расчета сил определяются согласно тому, к какой области относится изучаемая ударная система (рис. 8.8).

Область  $I$  на графике соответствует условию соотношения скоростей  $v_0 > v_{тх}$ . При этом коэффициенты  $Q_i$  и  $R_i$  определяются

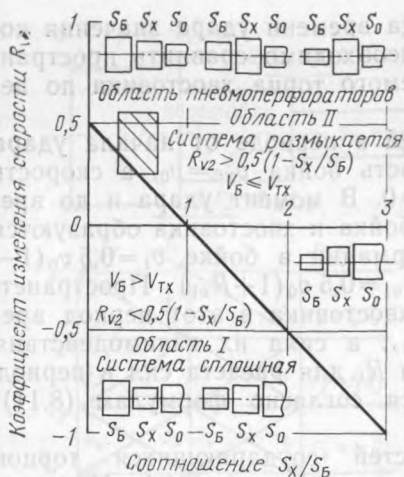


Рис. 8.8. Условия состояния ударной системы после первого прохода волны деформации по бойку

Для условия продолжения удара ( $v_{T6} > v_{Tx}$ ), исходя из формул (8.19) и (8.20), получим

$$v_0 (R_{v1} - Q_{v1} R_{v2}) R_{v1} > v_0 (R_{v1} - Q_{v1} R_{v2}) Q_{v1} R_{v2}.$$

Откуда  $R_{v1} > Q_{v1} R_{v2}$ . Подставив вместо  $R_{v1}$  и  $Q_{v1}$  их значения из выражения (8.13), получим

$$R_{v2} < 0,5(1 - S_x/S_b). \quad (8.21)$$

Продолжив аналогичные рассуждения, получим скорость перемещения бойка и ударяемого торца хвостовика через время  $(n-1)$ -проходов волны по бойку  $t_{2n+1} = 2n l_0/a$ . Для бойка

$$v_6 = v_0 (R_{v1} - Q_{v1} R_{v2})^{n-1} R_{v1},$$

для ударяемого торца хвостовика

$$v_{Tx} = v_0 (R_{v1} - Q_{v1} R_{v2})^{n-1} Q_{v1} R_{v2}.$$

Условием продолжения удара является неравенство

$$v_0 (R_{v1} - Q_{v1} R_{v2})^{n-1} R_{v1} > v_0 (R_{v1} - Q_{v1} R_{v2})^{n-1} Q_{v1} R_{v2}.$$

Откуда  $R_{v1} > Q_{v1} R_{v2}$ . После замены  $Q_{v1}$  и  $R_{v1}$  на их значения из формул (8.13) получим

$$R_{v2} < 0,5(1 - S_x/S_b). \quad (8.22)$$

Формулы (8.17), (8.21) и (8.22), полученные соответственно для периодов времени  $t_3$ ,  $t_5$  и  $t_{2n+1}$ , одинаковы. Отсюда следует, что если значения  $R_{v2}$  и  $S_x/S_b$  для ударных систем «бок — хвостовик — стержень» находятся в области I (см. рис. 8.8), то система не размыкается до полной передачи энергии удара бойка в волновод, т. е. удар не прерывается. Согласно графику область I за-

по формулам (8.11). Для области II, когда  $v_6 \leq v_{Tx}$ , коэффициенты  $Q_i$  и  $R_i$  определяются по формулам (8.12).

В момент времени  $t_3 = 2l_0/a$  (удар продолжается) скорость соударения бойка и хвостовика изменяется (см. рис. 8.7, в):

$$v'_0 = v_0 R_{v1} - v_0 Q_{v1} R_{v2} = v_0 \times \\ \times (R_{v1} - Q_{v1} R_{v2}).$$

В момент времени  $t_5 = 4l_0/a$  мгновенная скорость ударяющего торца бойка

$$v_{T6} = v_0 (R_{v1} - Q_{v1} R_{v2}) R_{v1}, \quad (8.19)$$

ударяемого торца хвостовика

$$v_{Tx} = v_0 (R_{v1} - Q_{v1} R_{v2}) Q_{v1} R_{v2}. \quad (8.20)$$

нимает только четвертую часть возможных значений  $R_{v2}$  и  $S_x/S_6$  для условия  $S_6 > S_x > S_0$ . Поэтому рассмотрим второй случай, когда в период от  $t_3$  до  $t_5$  скорость перемещения бойка меньше скорости ударяемого торца хвостовика и система размыкается  $v_0 R_{v1} \leq v_0 Q_{v1} R_{v2}$ . Отсюда

$$R_{v2} \geq 0,5(1 - S_x/S_6).$$

Условие, соответствующее  $v_{т6} \leq v_{тх}$ , выполняется для всех значений  $R_{v2}$  и  $S_x/S_6$ , которые находятся во второй области графика. При этом значения коэффициентов  $Q_i$  и  $R_i$  определяются по формулам (8.12).

Схема расчета сил, график смещений ударных торцов бойка и хвостовика для данного случая представлены на рис. 8.9.

В отрезок времени от  $t_5$  до  $t_7 = 8l_6/a$  скорость перемещения бойка не изменяется ( $v_0 R_{v1}$ ), а скорость ударяемого торца хвостовика уменьшается и равна  $v_0 Q_{v1} R_{v2}^2$ . Поэтому определим для периода времени  $t_5 - t_7$  область значений  $R_{v2}$  и  $S_x/S_6$ , когда скорость перемещения бойка больше скорости ударяемого торца хвостовика ( $v_0 R_{v1} > v_0 Q_{v1} R_{v2}^2$ ). Подставив значения  $R_{v1}$  и  $Q_{v1}$ , из формул (8.13) получим

$$R_{v2} < \sqrt{0,5(1 - S_x/S_6)}. \quad (8.23)$$

На графике, представленном на рис. 8.10, который построен на основе уравнения (8.23), определены области значений  $R_{v2}$  и  $S_x/S_6$ .

Область I. В ударной системе происходит второй удар и расчет сил (напряжений) производится с использованием формул (8.11).

Область II. Скорость перемещения бойка меньше скорости ударяемого торца хвостовика. Поэтому второй удар не происходит и система остается разомкнутой.

Аналогично определим области I и II для периода проходов волны по бойку с  $t_{2n+1}$  до  $t_{2n+3}$ , в котором происходит второй удар. При этом скорость бойка равна  $v_0 R_{v1}$ , а скорость ударяемого торца хвостовика через время  $t_{2n+1} = 2_n l_6/a$  равна  $v_0 Q_{v1} R_{v2}^{n-1}$ . Условием возникновения второго удара является выражение

$$v_0 R_{v1} > v_0 Q_{v1} R_{v2}^{n-1}.$$

После подстановки вместо  $R_{v1}$  и  $Q_{v1}$  их значений из выражения (8.13) получим

$$R_{v2} < \sqrt[n-1]{0,5(1 - S_x/S_6)}. \quad (8.24)$$

На рис. 8.10 показана кривая, определяющая области I и II для периода времени после  $(2n+1)$ -ного прохода волны по бойку, которая описывается уравнением (8.24).

Рассмотрим подробнее процесс возникновения второго удара после размыкания ударной системы в период от  $t_3$  до  $t_5$ . За этот

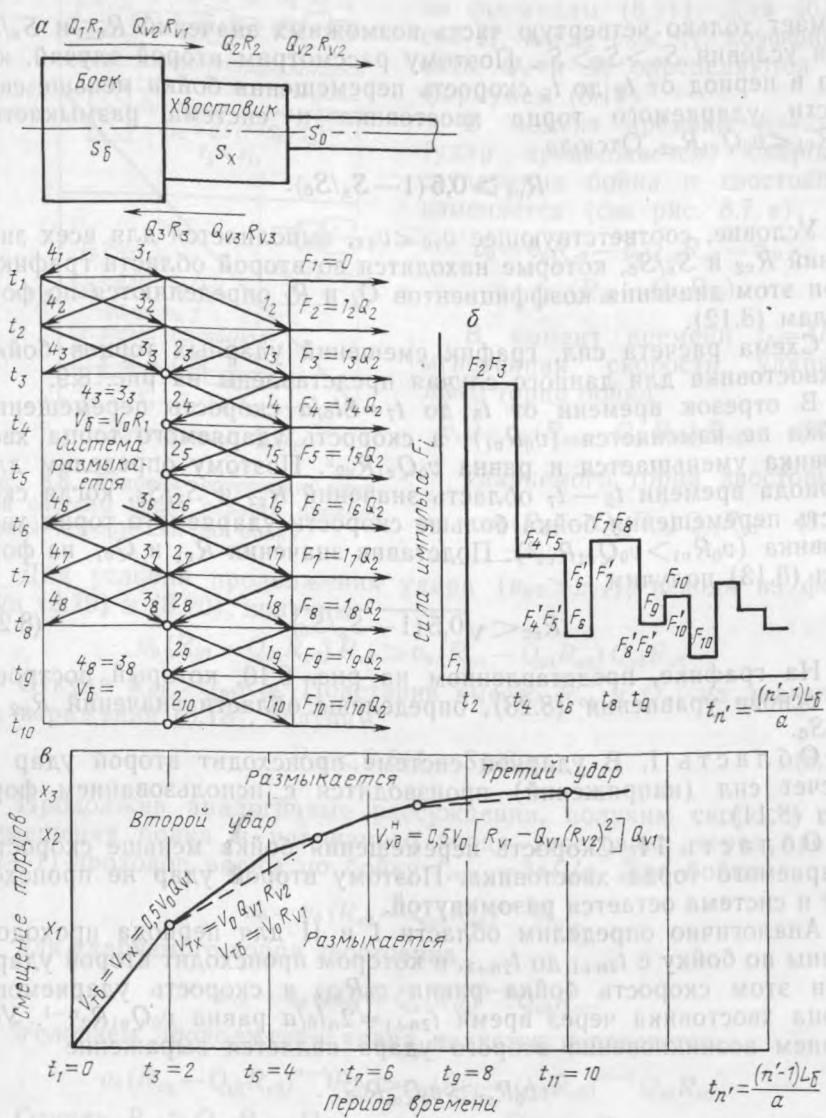


Рис. 8.9. Ударная система  $S_6 > S_x > S_0$ ;  $l_6 = l_x$ ;  $l_0 = x$ ;  $R_{v2}' \geq 0,5(1 - S_x/S_6)$ ;

а — расчетная схема действия сил; б — график импульса силы; в — графики смещения ударных торцов бойка и хвостовика

промежуток времени ударяемый торец хвостовика отходит от бойка на расстояние, определяемое выражением

$$x = \frac{2l_6}{a} (v_0 Q_{v1} R_{v2} - v_0 R_{v1}) = T_1 (Q_{v1} R_{v2} - R_{v1}) v_0,$$

где  $T_1 = 2l_6/a$  — длительность импульса.



В следующий интервал времени  $t_5-t_7$  скорость ударяемого торца хвостовика уменьшается. Если скорость бойка окажется достаточной для того, чтобы за время  $t=2l_0/a$  выбрать зазор и догнать торец хвостовика, то произойдет второй удар.

Расстояния, пройденные торцами бойка и хвостовика с момента размыкания системы до нового удара, определяются выражениями

$$x_{т6} = v_0 R_{v1} T_1 + v_0 R_{v1} t_2'; \quad (8.25)$$

$$x_{т6} = v_0 Q_{v1} R_{v2} T_1 + v_0 Q_{v1} R_{v2}^2 t_2', \quad (8.26)$$

где  $t_2'$  — время, через которое произойдет второй удар после времени  $t_5$ .

Если  $x_{т6} > x_{тх}$  за время  $t_2' < T_1$ , то второй удар произойдет в промежутке времени  $t_5-t_7$ . Подставляя в данное условие значения из выражений (8.25) и (8.26), получаем

$$v_0 R_{v1} T_1 + v_0 R_{v1} T_1 > v_0 Q_{v1} R_{v2} T_1 + v_0 Q_{v1} R_{v2}^2 T_1.$$

Упростив и преобразовав это выражение, имеем

$$\frac{2R_{v1}}{Q_{v1}R_{v2}(1+R_{v2})} > 1. \quad (8.27)$$

Если условие (8.27) выполняется, то время размыкания системы определится при совместном решении уравнений (8.25) и (8.26):

$$T_2 = \frac{T_1(Q_{v1}R_{v2} - R_{v1})}{R_{v1} - Q_{v1}R_{v2}^2}.$$

Время от начала первого удара до начала второго удара

$$T_{1-2} = T_1 + T_2 = T_1 \left( 1 + \frac{Q_{v1}R_{v2} - R_{v1}}{R_{v1} - Q_{v1}R_{v2}^2} \right).$$

Если условие (8.27) не выполняется, то второй удар происходит в последующие периоды времени. При этом формулы (8.25) и (8.26) запишутся в общем виде:

$$x_{т6} = v_0 R_{v1} T_1 2(n-1) + v_0 R_{v1} t_2'; \quad (8.28)$$

$$x_{тх} = v_0 Q_{v1} (R_{v2} + R_{v2}^2 + \dots + R_{v2}^{n-1}) T_1 + v_0 Q_{v1} R_{v2}^n t_2' \quad (8.29)$$

Решая совместно уравнения (8.28) и (8.29), получаем

$$T_2 = \frac{T_1 [Q_{v1} (R_{v2} + R_{v2}^2 + \dots + R_{v2}^{n-1}) - 2(n-1)R_{v1}]}{R_{v1} - Q_{v1}R_{v2}^n},$$

где  $n$  — число проходов волны по бойку с начала удара.

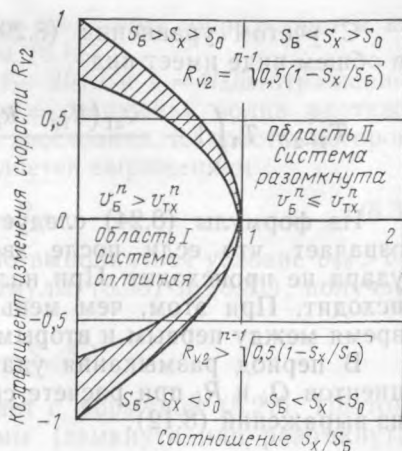


Рис. 8.10. Условия состояния ударной системы после второго и  $n$ -го прохода волны деформации по бойку

С учетом уравнения (8.29) время до начала второго удара в общем виде имеет вид

$$T_{1-2} = T_1 \left( 1 + \frac{Q_{v1}(R_{v2} + R_{v2}^2 + \dots + R_{v2}^{n-1}) - 2(n-1)R_{v1}}{R_{v1} - Q_{v1}R_{v2}^n} \right).$$

Из формулы (8.24) следует, что при  $R_{v2}=1$ ,  $S_0=0$   $n \rightarrow \infty$ . Это означает, что если после хвостовика нет стержня, то второго удара не происходит. При наличии же стержня второй удар происходит. При этом, чем меньше соотношение  $S_0/S_x$ , тем больше время между первым и вторым ударами.

В период размыкания ударной системы  $T_2$  значения коэффициентов  $Q_i$  и  $R_i$  при расчете сил в ударной системе определяются из выражений (8.12).

#### 8.4. Влияние длины хвостовика на формирование силовых импульсов в ударной системе

Рассмотрим влияние соотношений длин  $l_6$  и  $l_x$  на формирование силовых импульсов в ударной системе со значениями  $S_6 > S_x > S_0$ .

При  $l_6 < l_x$  следует, что в период  $t_5 = 2l_x/a$  в хвостовик передаются силы, определяемые коэффициентами  $Q_i$  и  $R_i$  по формулам (8.11). Количество энергии, передаваемой бойком до размыкания системы, зависит от соотношения  $l_x/l_6$  и  $S_x/S_6$ . Так, при  $l_x/l_6 = 5 \div 6$  волна деформации успевает пройти по бойку 5—6 раз до того, как отраженная от переходного сечения волна сжатия дойдет до ударяемого торца хвостовика. При значениях  $S_6/S_x = 3 \div 4$  (такое соотношение соблюдается в реальных машинах) боек за время  $t = 2(5 \div 6)l_x/a$  успевает передать в хвостовик и стержень 95—98 % своей кинетической энергии.

Амплитудная характеристика и длительность импульса, передаваемого в волновод, зависят также от соотношения  $S_0/S_x$ . Так, с увеличением соотношения  $S_0/S_x$  от 0 до 10 амплитуда импульса силы в стержне возрастает вследствие увеличения  $Q_2$ , а его длительность уменьшается из-за более интенсивного снижения амплитуды в обратных ступенях импульса.

Если  $1 < l_x/l_6 < 2$ , то в период времени от  $t_1$  до  $t_3$  в хвостовик передается импульс силы, образованный одним проходом волны по бойку (в обоих направлениях). Скорость соударения при втором проходе волны по бойку

$$v_0' = v_0 - v_0(1 - R_{v1}) = v_0 R_{v1}. \quad (8.30)$$

Мгновенная скорость ударяемого торца хвостовика в момент времени  $t_5$  равна нулю. В следующее мгновение удар продолжается со скоростью смещения соударяющихся торцов бойка и хвостовика

$$v_{T6} = v_{Tx} = 0,5v_0(1 - R_{v1})R_{v1} = 0,5v_0Q_{v1}R_{v1}.$$

При этом силы, передаваемые в хвостовик, определяются коэффициентами  $Q_i$  и  $R_i$  по формулам (8.11).

В промежутке времени между  $t_3=2l_6/a$  и  $t_5=4l_6/a$  отраженная от переходного сечения «хвостовик — стержень» волна растяжения достигает ударяемого торца хвостовика, скорость которого в этот момент изменяется и определяется выражением

$$v_{\text{тх}} = v_0 Q_{v1} R_{v2}. \quad (8.31)$$

Для продолжения удара должно выполняться условие  $v_{\text{тб}} > v_{\text{тх}}$ . Подставляя в это неравенство формулы (8.30) и (8.31), получаем  $v_0 R_{v1} > v_0 Q_{v1} R_{v2}$ . Откуда

$$R_{v2} < 0,5(1 - S_x/S_6).$$

Полученное выражение совпадает с формулой (8.21). Поэтому условие состояния ударной системы (замкнута или разомкнута) и значения коэффициентов  $Q_i$  и  $R_i$  определяются в зависимости от соотношений  $R_{v2}$  и  $S_x/S_6$  согласно графику на рис. 8.8.

Рассмотрим случай, когда  $2 < l_x/l_6 < 3$ . К моменту времени  $t_5=4l_6/a$  волна дважды проходит по длине бойка. После этого мгновенная скорость бойка

$$v_0'' = v_0 R_{v1} - v_0(1 - R_{v1}) R_{v1} = v_0 R_{v1}^2. \quad (8.32)$$

Тогда скорость деформации волны в бойке  $v_1 = 0,5 v_0(1 - R_{v1}) R_{v1}^2$ , а в хвостовике  $v_2 = 0,5 v_0 Q_{v1} R_{v1}^2$ .

Поскольку  $2 < l_x/l_6 < 3$ , то отраженная волна растяжения достигает ударяемого торца хвостовика в промежутке времени от  $t_5$  до  $t_7=6l_6/a$ . Условием продолжения удара является выражение  $v_6 > v_{\text{тх}}$ . Подставляя в это неравенство значения из формул (8.31) и (8.32), получаем  $v_0 R_{v1}^2 > v_0 Q_{v1} R_{v2}$ . Откуда

$$R_{v2} < \frac{(S_6 - S_x)^2}{2S_6(S_6 + S_x)}. \quad (8.33)$$

Область значений  $R_{v2}$  и  $S_x/S_6$ , удовлетворяющих условию продолжения удара (8.33), показана на рис. 8.11.

С увеличением соотношения длин  $l_x/l_6$  число проходов волн деформаций по бойку, передаваемых в волновод за время  $t=$

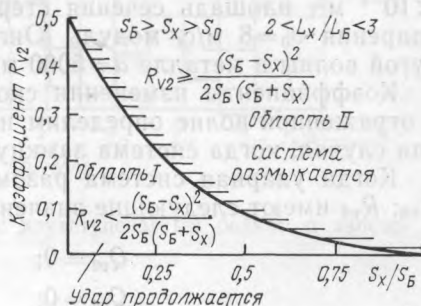


Рис. 8.11. Области значений  $Q$  и  $R$  в зависимости от соотношений  $R_{v2}$  и  $S_x/S_6$  при  $2 < l_x/l_6 < 3$

$=2l_x/a$ , увеличивается. Поэтому к.п.д. передачи энергии в период первого удара возрастает.

В ударных системах с параметрами  $S_6 > S_x > S_0$ , для которых значения  $R_{v2}$  и  $S_x/S_6$  находятся в области II (см. рис. 8.8), следует применять удлиненные хвостовики с соотношением  $l_x/l_6 > 2 \div 4$ . Это позволит увеличить к.п.д. передачи энергии в период первого удара.

Рассмотрим случай ударной системы с площадью сечения  $S_6 > S_x > S_0$ , когда длина бойка больше длины хвостовика  $l_6 > l_x$ . При  $l_6 = 2l_x$  скорости ударных торцов бойка и хвостовика соответственно равны. В момент времени  $t_2 = l_6/a$   $v_6 = v_0 R_{v1}$ ,  $v_{Tx} = v_0 Q_{v1} R_{v2}$ . Отсюда следует, что удар будет продолжаться при выполнении условия  $v_0 R_{v1} > v_0 Q_{v1} R_{v2}$ . Преобразуя его, получаем

$$R_{v2} < 0,5(1 - S_x/S_6). \quad (8.34)$$

Выражение (8.34) соответствует графику на рис. 8.8. Поэтому значения коэффициентов  $Q_i$  и  $R_i$  для расчета сил определяются исходя из области I и II при соответствующих значениях  $R_{v2}$  и  $S_x/S_6$  в ударных системах.

### 8.5. Расчет ударных систем с двухступенчатым бойком и хвостовиком

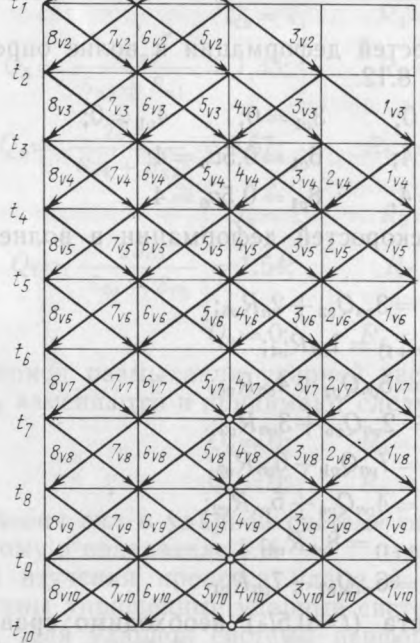
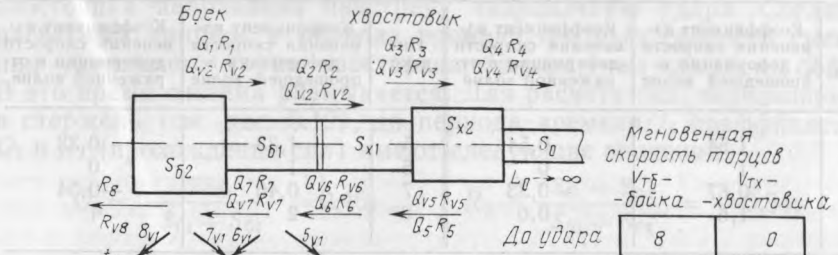
Расчет сложных ударных систем с промежуточным элементом необходимо проводить в два этапа. На первом этапе вычисляются скорости соударяющихся торцов бойка и хвостовика. Путем сравнения взаимных скоростей определяются периоды соударения и время размыкания ударной системы. Затем определяются коэффициенты прохождения и отражения сил, соответствующие замкнутому и разомкнутому состоянию ударной системы. На втором этапе вычисляются силы (напряжения) в ударной системе с использованием соответствующих каждому периоду времени значений коэффициентов  $Q_i$  и  $R_i$ .

Рассмотрим расчет ударной системы с двухступенчатым бойком и хвостовиком (рис. 8.12). Исходные данные: площадь сечений штоковой части бойка  $S_{61} = 12 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ , поршневого участка бойка  $S_{62} = 40 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ; хвостовика  $S_{x1} = 12 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  и  $S_{x2} = 24 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ; площадь сечения стержня  $S_0 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ; скорость соударения  $v_0 = 8 \text{ м/с}$ , модуль Юнга  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ; скорость упругой волны в металле  $a = 5000 \text{ м/с}$ .

Коэффициенты изменения скорости деформации в прошедшей и отраженной волне определим из расчетной схемы (см. рис. 8.12) для случая, когда система замкнута (табл. 8.1).

Когда ударная система разомкнута, коэффициенты  $Q_{v2}$ ;  $R_{v2}$  и  $Q_{v6}$ ;  $R_{v6}$  имеют следующие значения:

$$\begin{aligned} Q_{v2} &= 0; & R_{v2} &= 1; \\ Q_{v6} &= 0; & R_{v6} &= 1. \end{aligned}$$



8	0
8	0
8	0
6,16	-1,32
6,16	-1,32
2,1	-0,11
2,1	0,11
0,82	Система размыкается
+0,82	
0,1	0,85

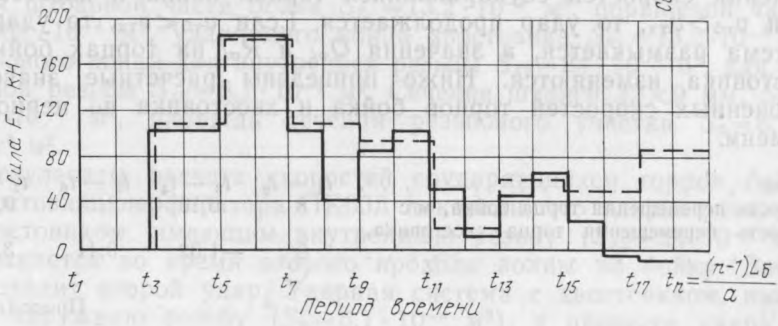


Рис. 8.12. Расчет ударной системы с двухступенчатым бойком и хвостовиком



ТАБЛИЦА 8.1

Индекс	Коэффициент изменения скорости деформации в прошедшей волне	Коэффициент изменения скорости деформации в отраженной волне	Индекс	Коэффициент изменения скорости деформации в прошедшей волне	Коэффициент изменения скорости деформации в отраженной волне
1	1,54	0,54	5	1,33	0,33
2	1	0	6	1	0
3	0,67	-0,33	7	0,46	-0,54
4	1,6	0,6	8	2	1

Значения «первых» скоростей деформации в волне определим по схеме, показанной на рис. 8.12:

$$\begin{aligned}
 1_{v1} &= 0; & 2_{v1} &= 0; & 3_{v1} &= 0; & 4_{v1} &= 0; \\
 5_{v1} &= 0,5v_0 = 4; & 6_{v1} &= 0,5v_0 = 4; \\
 7_{v1} &= 0,5v_0 = 4; & 8_{v1} &= 0,5v_0 = 4.
 \end{aligned}$$

Значения последующих скоростей деформации в волне определяются из выражений

$$\begin{aligned}
 1_{v(n+1)} &= 3_{vn}Q_{v3} + 2_nR_{v5}; \\
 2_{v(n+1)} &= 1_{vn}R_{v4}; \\
 3_{v(n+1)} &= 5_{vn}Q_{v2} + 4_{vn}R_{v6}; \\
 4_{v(n+1)} &= 2_{vn}Q_{v5} + 3_{vn}R_{v3}; \\
 5_{v(n+1)} &= 7_{vn}Q_{v1} + 6_{vn}R_{v7}; \\
 6_{v(n+1)} &= 4_{vn}Q_{v6} + 5_{vn}R_{v2}; \\
 7_{v(n+1)} &= 8_{vn}R_{v8}; \\
 8_{v(n+1)} &= 6_{vn}Q_{v7} + 7_{vn}R_{v1}.
 \end{aligned}$$

После каждого шага счета ( $t=0,5l_0$ ) необходимо сравнивать значения скоростей соударяющихся торцов бойка и хвостовика. Если  $v_{т6} > v_{тх}$ , то удар продолжается. Если  $v_{т6} \leq v_{тх}$ , то ударная фистема размыкается, а значения  $Q_{vi}$  и  $R_{vi}$  на торцах бойка и хвостовика изменяются. Ниже приведены расчетные значения мгновенных скоростей торцов бойка и хвостовика по периодам времени.

Время . . . . .	$t_1 - t_2$	$t_3 - t_4$	$t_5 - t_6$	$t_7 - t_8$
Скорость перемещения торца бойка, м/с	8	6,16	2,1	0,82
Скорость перемещения торца хвостовика, м/с	0	-1,32	0,11	3,02

Продолжение

Время . . . . .	$t_9$	$t_{10}$	$t_{11}$	$t_{12}$	$t_{13}$
Скорость перемещения торца бойка, м/с	0,1	0,82	0,1	0,82	0,1
Скорость перемещения торца хвостовика, м/с	0,85	1,7	0,29	0,9	-0,14

Знак «минус» перед скоростью означает, что смещение торца хвостовика направлено навстречу направлению удара. Согласно расчетным данным, с периода времени  $t_7 = 3l_6/a$  скорость смещения ударяемого торца хвостовика больше, чем скорость бойка. В это время система размыкается. Для расчета сил, передаваемых в стержень (см. рис. 8.12), до периода времени  $t_7$  коэффициенты  $Q_i$  и  $R_i$  (прохождения сил) имеют следующие значения:

$$Q_1 = \frac{2S_{61}}{S_{61} + S_{62}} = 0,46; \quad R_1 = \frac{S_{61} - S_{62}}{S_{61} + S_{62}} = -0,54;$$

$$Q_2 = 1; \quad R_2 = 0;$$

$$Q_3 = \frac{2S_{x2}}{S_{x2} + S_{x1}} = 1,33; \quad R_3 = \frac{S_{x2} - S_{x1}}{S_{x1} + S_{x2}} = 0,33;$$

$$Q_4 = \frac{2S_{x1}}{S_{x1} + S_{x2}} = 0,67; \quad R_5 = \frac{S_{x1} - S_{x2}}{S_{x1} + S_{x2}} = -0,33;$$

$$Q_6 = 1; \quad R_6 = 0;$$

$$Q_7 = \frac{2S_{62}}{S_{62} + S_{61}} = 1,54; \quad R_7 = \frac{S_{62} - S_{61}}{S_{62} + S_{61}} = 0,51;$$

$$Q_8 = 0; \quad R_8 = -1.$$

В период размыкания ударной системы коэффициенты  $Q_2$ ,  $R_2$  и  $Q_6$ ,  $R_6$  изменяются и принимают следующие значения:

$$Q_2 = 0; \quad R_2 = -1;$$

$$Q_6 = 0; \quad R_6 = -1.$$

Значения сил в ударной системе определяются по методу, изложенному в подразделе 8.2.

Для изучения процесса удара в бурильных машинах были рассчитаны упрощенные ударные системы перфораторов ПК60А и ПК75А. Для ударной системы перфоратора ПК60А площадь сечения штоковой части бойка  $S_{61} = 13,2 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>, поршневой части  $S_{62} = 62 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>, ударяемого конца хвостовика  $S_{x1} = 13,2 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>, резьбового конца для внутренней резьбы  $S_{x2} = 24 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>, для наружной резьбы  $S_{x2} = 6,1 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Сечение штанги  $32 \times 9$  мм,  $S_{ш} = 7,4 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>, площадь сечения резьбового участка  $S_p = 6,1 \times 10^{-4}$  м<sup>2</sup>.

Результаты расчета скоростей соударяющихся торцов бойка и хвостовика перфоратора ПК60А показали, что ударная система с хвостовиком, имеющим внутреннюю резьбу ( $S_{x2} = 24 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>), размыкается во время второго прохода волны по бойку. Затем происходит второй удар. Ударная система с хвостовиком, имеющим наружную резьбу ( $S_p = 6,1 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>), в процессе удара не размыкается.

Аналогичные расчеты, проведенные для перфоратора ПК75А, показали, что ударная система с хвостовиком, имеющим внутреннюю резьбу диаметром 31 мм, и штангой  $31 \times 9$  мм, размыкается,

а ударная система с хвостовиком, имеющим наружную резьбу, и штангой  $40 \times 18$  мм в процессе удара не размыкается.

На основании этих расчетов была определена область значений  $R_{v2}$  и  $S_x/S_6$  для перфораторов ПК60А и ПК75А с различными типоразмерами хвостовиков и штанг. Из рис. 8.8 видно, что значения  $R_{v2}$  и  $S_x/S_6$  для ударных систем перфораторов ПК60А и ПК75А находятся в обеих областях графика. Причем большая часть значений приходится на область II, где ударная система размыкается. Чтобы исключить размыкание ударных систем перфораторов ПК60А и ПК75А, следует использовать хвостовик с наружной резьбой или увеличить длину хвостовиков до величины  $l_x > 2l_6$ .

### 8.6. Внедрение инструмента в породу

После удара бойка по торцу хвостовика штанги последняя начинает вместе с коронкой перемещаться к забою.

В работе [43] приводится следующее дифференциальное уравнение для определения скорости движения коронки в породе:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{\rho c} \left[ 2\sigma(t) - \frac{F(h)}{S} \right] + \dot{h}_0, \quad (8.35)$$

где  $dh$  — перемещение коронки за время  $dt$ ;  $\sigma(t)$  — напряжение в прямом импульсе как функция времени;  $F(h)$  — сила сопротивления породы внедрению в нее коронки как функция перемещения;  $S$  — площадь поперечного сечения штанги;  $\rho$  — плотность материала штанги;  $c$  — скорость распространения импульса напряжений в материале штанги;  $\dot{h}_0$  — скорость движения коронки при  $t=0$ , т. е. в момент подхода прямого импульса к коронке.

Решение уравнения (8.35) для импульсов любой формы при  $\dot{h}_0=0$  выглядит как

$$h = e^{-Pt} \frac{2}{\rho c} \int_0^t \sigma(t) e^{Pt} dt, \quad (8.36)$$

где

$$P = \frac{F(h)}{S\rho c}.$$

Для импульсов прямоугольной формы при  $\sigma(t) = \text{const} = \sigma_0$

$$h = \frac{2\sigma_0}{\rho c P} (1 - e^{-Pt}).$$

Из формулы (8.36) видно, что глубина внедрения  $h$  является функцией импульса силы, которым обладает инструмент. Так как при одном и том же количественном значении импульса силы при разной его форме энергия удара, идущая на разрушение, будет различной, то все попытки определить функциональную связь

между глубиной внедрения (и соответствующим объемом разрушения) и энергией удара не могут иметь решения.

Может быть вычислена работа по разрушению породы, выполняемая лезвиями коронки,

$$A = \int_0^{h_{\max}} F(h) dh.$$

Однако эта работа является функцией глубины внедрения и механических свойств породы, а глубина внедрения, в свою очередь, является функцией импульса силы, заключенного в штанге. Из сказанного следует, что энергетические критерии не всегда можно применять при исследовании процессов разрушения горных пород. Например, если форма поршня и соответственно импульса постоянна, то удельная энергоёмкость разрушения будет хорошо характеризовать свойства горной породы. Однако если сравнивать различные формы импульса с целью определения наиболее оптимальной формы, то целесообразно по аналогии с энергоёмкостью ввести понятие импульсоёмкости, т. е. отношение количества движения в прямом импульсе к объёму разрушения или глубине внедрения. Тогда оптимальность импульса можно будет оценивать в относительных единицах. Таким же образом можно поступать и при оценке совершенства конструкции инструмента.

Для интегрирования уравнения (8.35) должны быть известны функции  $\sigma(t)$  и  $F(h)$ . Функция  $\sigma(t)$  может быть получена как экспериментальным путем, т. е. записью прямого импульса, так и расчетным.

Зависимость силы сопротивления горной породы от глубины внедрения  $F(h)$  может быть установлена только экспериментально. На рис. 8.13 и 8.14 показаны зависимости  $\sigma(h)$ , рассчитанные по экспериментально записанным прямым и отраженным импульсам, от площади миделя, контактирующей с породой рабочей частью породоразрушающего лезвия для клиновых, сферических и конических инденторов при различных ударниках и, следовательно, различных прямых импульсах. Как видно из графиков на рисунках, характер зависимости при различных формах прямого импульса сохраняется, хотя поршень перфоратора ПК75А и цилиндрический ударник, равного с штангой сечения, резко отличаются по конструкции. При коротких по времени импульсах внедрение индентора прекращается раньше и поэтому раньше прерывается функция  $\sigma(S_m)$ .

На рис. 8.15 показаны зависимости силы сопротивления горной породы (песчаник с  $f=8$ ) внедрению от глубины внедрения. Сравнительный анализ графиков всех приведенных зависимостей показывает следующее.

1. Сила сопротивления горной породы внедрению является линейной функцией площади миделя только на участке упругих деформаций породы, который составляет всего 5—10 % пути коронки в породе. В целом при достаточно глубоком внедрении

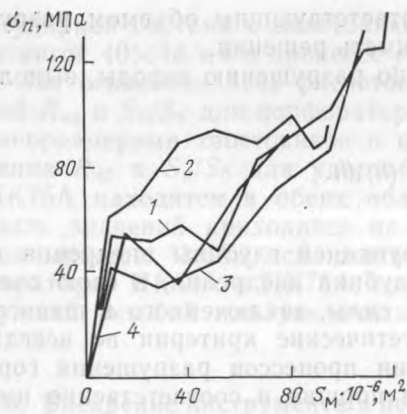


Рис. 8.13. Зависимость напряжений  $\sigma_n$  при сопротивлении породы внедрению от площади миделя  $S_M$  рабочей поверхности клиновидного индентора с углом приростения  $\alpha = 110^\circ$  и длиной лезвий  $l = 60$  мм при бойках:

- 1 — цилиндрический  $d = 32$  мм,  $l = 400$  мм;
- 2 — цилиндрический  $d = 40$  мм,  $l = 400$  мм;
- 3 — поршень перфоратора ПК75, 4 — поршень гидроперфоратора

эта функция имеет сложный характер. Глубина упругого внедрения для различных инденторов различна и составляет в данной породе для клиновидного индентора  $h_y = 0,05 \div 0,07$  мм, сферического  $h_y = 0,075 \div 0,1$  мм, конического  $h_y = 0,08 \div 0,1$  мм.

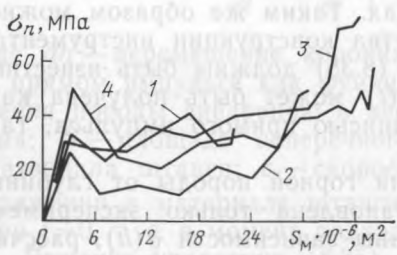
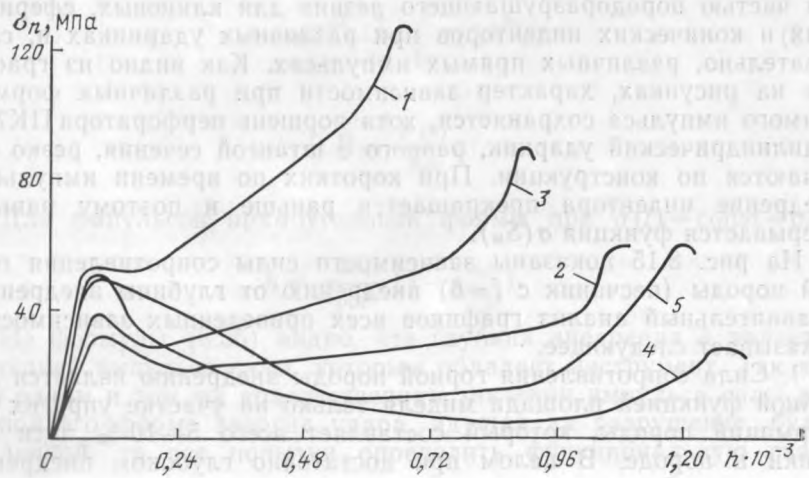


Рис. 8.14. Зависимость напряжений  $\sigma_n$  при сопротивлении породы внедрению от площади миделя  $S_M$  рабочей поверхности сферического индентора с радиусом сферы  $R_{ср} = 55$  мм (бойки те же, что и на рис. 8.13)

Рис. 8.15. Усредненные зависимости напряжений  $\sigma_n$  при сопротивлении породы внедрению от площади глубины внедрения различных инденторов:

- 1 — клиновидной; 2 — один сферический; 3 — два сферических; 4 — один конический; 5 — два конических





Возрастание сопротивления породы внедрению в упругой области в зависимости от площади миделя происходит более интенсивно при конических инденторах.

2. Для всех инденторов после начала разрушения породы наблюдается уменьшение сопротивления породы внедрению, несмотря на продолжающееся внедрение и соответствующий рост миделя рабочей поверхности индентора. Это происходит потому, что скорость разрушения (трещинообразование) больше скорости продвижения индентора. Падение сопротивления породы продолжается  $80-160$  мкс до глубины погружения: для клиновых инденторов  $h=0,15 \div 0,2$  мм, сферических  $h=0,2 \div 0,36$  мм, конических  $h=0,5 \div 0,7$  мм.

Уменьшение сопротивления породы для клиновых и сферических инденторов происходит практически по линейному закону, для инденторов конических происходит сначала резкое падение сопротивления, затем кривая падения выполаживается.

3. После падения сопротивления породы до минимума при дальнейшем внедрении индентора сопротивление породы внедрению вновь начинает возрастать. Для всех типов инденторов повышение сопротивления практически линейно относительно миделя. Перед концом внедрения сопротивление начинает возрастать интенсивнее.

Таким образом, выяснено, что сила сопротивления горной породы внедрению является линейной функцией площади миделя только на участке упругих деформаций. В первом приближении можно аппроксимировать эту зависимость линейной, как это показано пунктирными линиями на рис. 8.16.

Сила сопротивления породы [31]

$$F(h) = \chi \alpha_1 E S_m,$$

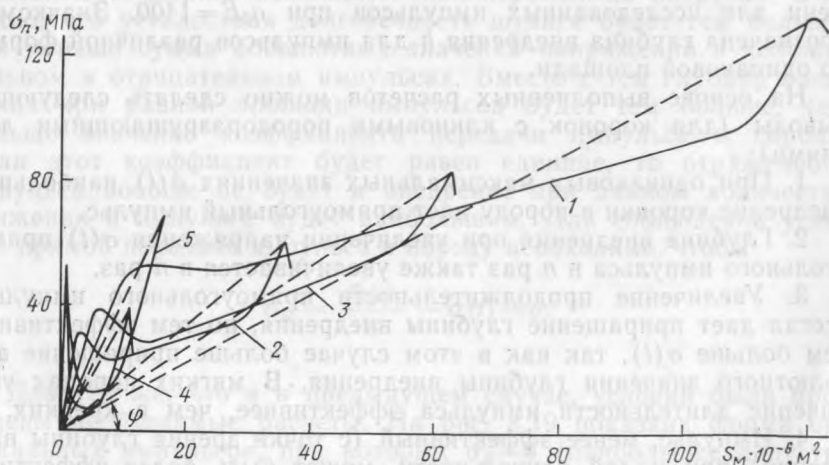


Рис. 8.16. Линейное выражение зависимости напряжений  $\sigma_p$  от площади миделя индентора при внедрении в породу (инденторы те же, что и на рис. 8.15)

где  $x$  — безразмерный коэффициент, характеризующий индентор;  $\alpha_1$  — безразмерный коэффициент, характеризующий породу;  $E$  — модуль упругости породы;  $S_m$  — площадь миделя рабочей части индентора, находящейся в контакте с горной породой.

Произведение  $x\alpha_1 E$  будет представлять собой коэффициент  $\lambda$ , характеризующий форму и число инденторов, а также свойства горной породы и численно равный тангенсу угла  $\varphi$ .

### 8.7. Влияние амплитуды, длительности и формы импульса силы на глубину внедрения коронки

Аппроксимирование зависимости сопротивления горной породы внедрению от площади миделя линейной зависимостью дает возможность производить инженерные расчеты с достаточной степенью точности.

С помощью ЭЦВМ было проведено исследование влияния параметров прямого импульса: силы и времени (формы) на глубину внедрения. Исследование было проведено для клиновидной формы лезвия длиной 4 см и углом приострения  $110^\circ$ . Площадь сечения штанги была принята равной  $7,4 \text{ см}^2$ ,  $\rho c = 40 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{см}^3$  (для стали).

Вычисления производились для  $\alpha_1 E$ , равного 600, 1400 и 3500 МПа. Крайние значения  $\alpha_1 E$  соответствуют самой мягкой породе, буримой ударными способами, и самой крепкой. Расчеты производились для импульсов, изображенных на рис. 8.17.

Как функции параметров прямого импульса и свойств породы определялись скорость продвижения лезвий в породе, глубина внедрения, сила сопротивления породы, напряжение отраженного импульса.

На рис. 8.18 изображено внедрение коронки в породу во времени для исследованных импульсов при  $\alpha_1 E = 1400$ . Значком  $x$  обозначена глубина внедрения  $h$  для импульсов различной формы, но одинаковой площади.

На основе выполненных расчетов можно сделать следующие выводы (для коронок с клиновыми породоразрушающими лезвиями):

1. При одинаковых максимальных значениях  $\sigma(t)$  наибольшее внедрение коронки в породу дает прямоугольный импульс.

2. Глубина внедрения при увеличении напряжения  $\sigma(t)$  прямоугольного импульса в  $n$  раз также увеличивается в  $n$  раз.

3. Увеличение продолжительности прямоугольного импульса всегда дает приращение глубины внедрения, но тем эффективнее, чем больше  $\sigma(t)$ , так как в этом случае больше приращение абсолютного значения глубины внедрения. В мягких породах увеличение длительности импульса эффективнее, чем в крепких.

4. Импульс, менее эффективный (с точки зрения глубины внедрения) при малой длительности, может быть более эффективным при большей длительности.

Хотя наибольшее внедрение дает прямоугольный импульс, оп-

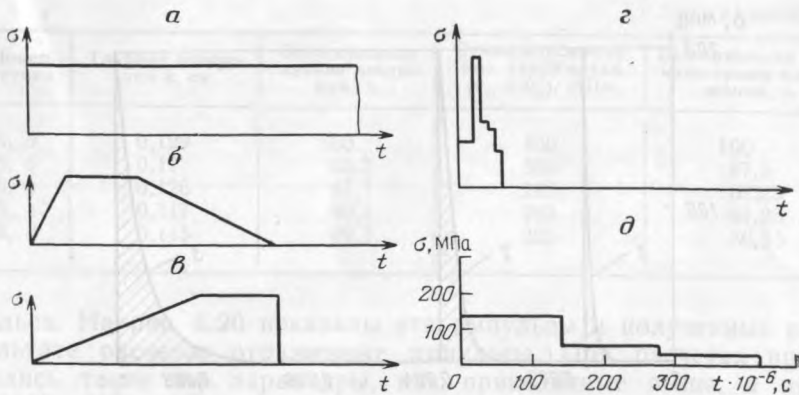
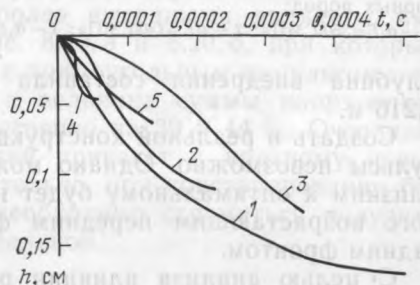


Рис. 8.17. Формы импульсов, исследованных на ЭЦВМ

Рис. 8.18. Внедрение коронки в породу во времени при наличии различных силовых импульсов форм 1—5, показанных на рис. 8.17 под позициями соответственно а—д



тимальным будет такой импульс, который при наибольшем внедрении лезвий коронки в породу дает наименьшее напряжение в штанге. В штанге возникают знакопеременные нагрузки. Очевидно, что усталостная долговечность штанги будет тем больше, чем меньше сумма абсолютных значений напряжений в положительном и отрицательном импульсах. Вместе с тем глубина внедрения при равной площади импульсов будет тем больше, чем больше значение коэффициента передачи импульса в породу. Если этот коэффициент будет равен единице, то отраженного импульса вообще не будет и внедрение при данном количестве движения в импульсе будет наибольшим. Для соблюдения условия прямой передачи импульса в породу необходимо, чтобы

$$\sigma_R = \frac{F(h)}{S} - \sigma(t) = 0.$$

Для тех же, что и в предыдущем случае, условий были проведены необходимые расчеты. На рис. 8.19 показана форма оптимальных импульсов, при которых  $\sigma_R = 0$  (наибольшее допустимое напряжение в штанге  $\sigma_t = 200$  МПа) для трех различных пород, имеющих  $\alpha_1 E = 3500$  МПа,  $\alpha_1 E = 1400$  МПа и  $\alpha_1 E = 600$  МПа.

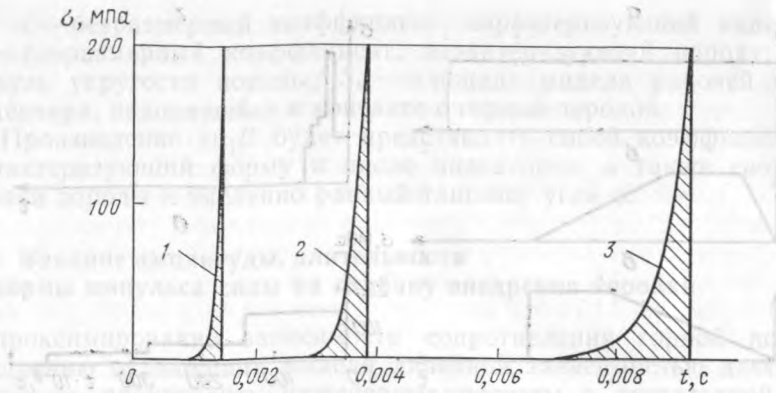


Рис. 8.19. Форма оптимальных импульсов по данным расчетов для различных горных пород:

1 —  $\alpha_1 E = 3500$  МПа; 2 —  $\alpha E = 1400$  МПа; 3 —  $\alpha_1 E = 600$  МПа

Глубина внедрения составила соответственно 0,037; 0,0925 и 0,216 м.

Создать в реальной конструкции бурильного молотка такие импульсы невозможно. Однако можно сделать вывод, что наиболее близким к оптимальному будет импульс треугольной формы с полого возрастающим передним фронтом и круто обрывающимся задним фронтом.

С целью анализа влияния реально осуществимых форм импульсов на глубину внедрения и величину напряжений в штангах были выполнены расчеты для пяти различных форм прямого им-

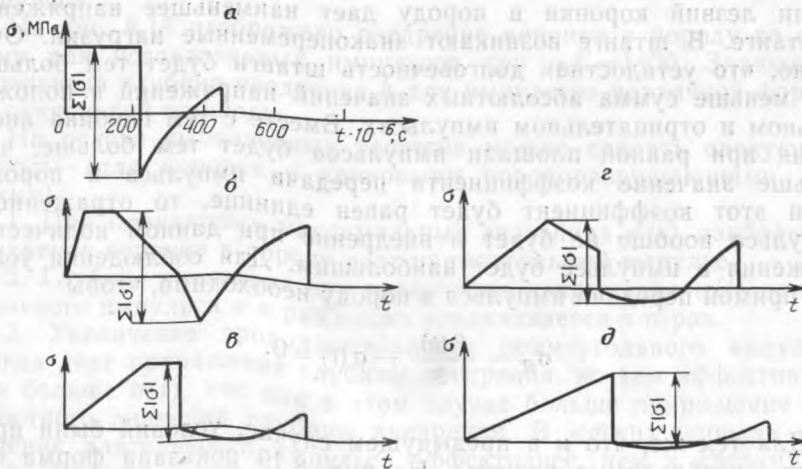


Рис. 8.20. Влияние формы прямого импульса на параметры отраженного:

а — прямоугольный импульс; б — трапециевидный импульс; в — асимметричный импульс; г — импульс колокольной формы; д — треугольный импульс

ТАБЛИЦА 8.2

Номер рисунка	Глубина внедрения $h$ , см	Относительная глубина внедрения, %	Сумма максимальных напряжений ( $\sigma_n + \sigma_0$ ), МПа	Относительная величина суммы напряжений, %
8, а	0,129	100	400	100
8, б	0,11	85,3	350	87,5
8, в	0,126	97,7	245	61,25
8, г	0,117	80,7	245	61,25
8, д	0,115	89,1	225	56,25

пульса. На рис. 8.20 показаны эти импульсы и полученные в результате расчетов отраженные импульсы. При расчетах принимались такие же параметры, как приведенные выше, а  $\alpha_1 E = 1400$  МПа. Площадь всех прямых импульсов одинакова. В табл. 8.2 приведены конечные результаты расчетов. Из приведенных данных видно, что наиболее выгодными являются импульсы форм, показанных на рис. 8.20, в и 8.20, д, при которых глубина внедрения по сравнению с прямоугольным импульсом снижается всего на 2,3 и 10,9 %, а величина суммы напряжений в инструменте снижается соответственно на 39 и 44 %. Очевидно, что такое уменьшение напряжений приведет к кратному повышению стойкости штанг. Следовательно, при конструировании бурильных машин и инструмента необходимо стремиться получить форму импульса, близкую к оптимальной.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В СССР и за рубежом идет интенсивный процесс модернизации существующей и создания новой буровой техники. Развитие буровой техники происходит по следующим основным направлениям:

1. Создание мощных бурильных головок, монтируемых на шахтных самоходных установках с автоматизацией и программным управлением буровыми процессами.

2. Создание станков с погружными пневмоударниками для бурения скважин большого диаметра в подземных условиях и на открытых разработках.

3. Повышение давления сжатого воздуха и применение гидравлической энергии как основы повышения энерговооруженности буровых механизмов.

4. Модернизация существующих и создание новых станков шарошечного бурения для открытых разработок с применением интенсификаторов бурения как механических, так и теплофизических.

5. Создание износостойчивого и высокопрочного бурового инструмента и буровых штанг.

6. Разработка теории и создание ударных электрических, магнитоэлектрических и электрогидравлических машин.

7. Исследование процессов разрушения горных пород при термическом бурении и создание на этой основе более производительных буровых станков.

8. Изучение новых процессов разрушения горных пород (таких, как термический, плазменный, электротермический, ультразвуковой, взрывной, магнитоэлектрический).

Из всего многообразия способов бурения шпуров и скважин наибольшее распространение получили ударное бурение пневматическими головками (перфораторами) и бурение шарошками.

На подземных работах сейчас идет интенсивный процесс внедрения самоходных бурильных установок. Бурение переносными перфораторами целесообразно сократить, оставив их применение на вспомогательных работах. В свою очередь, применение самоходных установок является радикальным средством улучшения труда бурильщиков [14] и избавляет их от таких тяжелых заболеваний, как виброболезнь и тугоухость. По эргономическим соображениям применение самоходных установок считается оправданным даже тогда, когда по организационным они не дают эффекта [15, 16, 17].

Бурение глубоких взрывных скважин тяжелыми колонковыми перфораторами как пневматическими, так и гидравлическими перспективно развивать в направлении создания автоматизации процесса замены бурового инструмента как основы повышения

эффективности труда рабочих, занятых на бурении. Сказанное выше относится к машинам с погружными пневмоударниками, которые должны предназначаться для бурения скважин увеличенного диаметра. Прогрессивным следует признать применение методов проведения выработок с разрезными скважинами большого диаметра [18, 42]. Такой метод требует освоения промышленностью специальных станков для бурения скважин диаметром 160 мм с последующим их расширением до 400 мм. По-прежнему при конструировании машин ударного действия особое внимание следует уделять форме поршня. Целесообразно выбирать такую форму поршня, при которой наибольшее количество энергии передается породе. Одновременно амплитуда силового импульса должна быть возможно меньшей (в рациональных пределах) для того, чтобы не вызывать излишних поломок бурового инструмента. В свою очередь, необходим инструмент с высоким коэффициентом конструктивного совершенства, изготовленный из легированных сталей [24].

Гидроперфораторы найдут применение при бурении шпуров и скважин самоходными установками. Уже теперь следует специализировать один из заводов на выпуске гидроперфораторов.

Бурение скважин погружными ударниками будет производиться на пневматике с применением высокого давления сжатого воздуха (1,2—1,8 МПа). Выпуск компрессоров для обеспечения такого давления и соответствующей арматуры к буровым машинам в значительной мере позволит повысить энерговооруженность буровых процессов и, следовательно, повысить производительность труда.

Исследования показали перспективность создания электроперфораторов. Они придут на смену гидроперфораторам [35].

На открытых разработках шарошечное бурение является основным. Создаются буровые станки с улучшенными параметрами, автоматизацией процесса бурения и вспомогательных операций.

Для интенсификации процесса бурения целесообразно применять электровибробуры [38], а также для особо крепких пород комбинированное термо-механическое бурение.

Для условий карьеров и бурения экранирующих скважин назрела необходимость серийного выпуска станков с погружными пневмоударниками, работающими на высоком давлении. Станки должны быть смонтированы на автомобилях, оснащенных компрессорами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Е. В., Соколинский В. Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. М., Наука, 1969.
2. Агрегаты для бурения шпуров.— В сб. под ред. О. Д. Алимова. Фрунзе, Илим, 1975, с. 70—91.
3. Устройство и характерные особенности универсального бурового агрегата (УБА)/О. Д. Алимов, С. А. Басов, А. Ф. Коршунов и др.— В сб.: Агрегаты для бурения шпуров. Фрунзе, Илим, 1975, с. 7—24.
4. Алимов О. Д., Дворников Л. Т. Бурильные машины. М. Машиностроение, 1976.
5. Алимов О. Д., Манжосов В. К., Еремьянц В. Э. Удар. М., Наука, 1985.
6. Анализ конструкций самоходных буровых агрегатов/О. Д. Алимов, О. Э. Барч, И. С. Волоскова, Б. А. Шевченко, Ч. I. Изд. Фрунзенского политехнического института, 1974.
7. Анализ конструкций самоходных буровых агрегатов. Под ред. Алимова О. Д. Ч. II. Фрунзе, Илим, 1975.
8. Андреев В. Д. Методика комплексных исследований взаимодействия инструмента с породой.— В сб.: Породоразрушающий инструмент. Киев, Техника, 1970, с. 146—156.
9. Андреев В. Д., Иванов К. И. Распространение энергии ударного импульса по инструменту применительно к бурению глубоких взрывных скважин перфораторами с независимым направленным вращением бура.— В сб.: Взрывное дело, № 58/15. М., Недра, 1966, с. 219—223.
10. Арбиев К. К. Состояние и развитие рудной базы цветной металлургии СССР.— Горный журнал, 1985, № 3, с. 3—7.
11. Бабенков И. С., Иванов К. И., Хесин Г. Л. Исследование взаимодействия бурового инструмента и породы методом фотоупругости. М., Недра, 1970.
12. Барон Л. И. Применение глубоких скважин для подземной добычи руд. М., Металлургиздат, 1961.
13. Бегагоец И. А., Бойко А. Н. Повышение точности и долговечности бурильных машин. М., Недра, 1986.
14. Волков А. Н., Сосновский Ю. М. К вопросу выбора эффективных направлений автоматизации пневматических бурильных машин.— В сб.: Механизация проведения выработок малого сечения. Фрунзе, Илим, 1978, с. 19—35.
15. Ейбаев В. С., Торопов В. А., Савенко А. М. Исследование шума пневматического перфоратора.— Горный журнал, 1975, № 11, с. 70—72.
16. Ерофеев И. Е. Повышение эффективности буровзрывных работ на рудниках. М., Недра, 1977.
17. Ерофеев И. Е., Черкасов И. П., Пешков Г. Н. Применение самоходных буровых станков — решающий фактор повышения производительности труда при бурении глубоких скважин.— Цветная металлургия, 1978, № 23, с. 6—8. М., Институт информации цветной металлургии.
18. Есин Н. Н. Пневматические машины ударного действия для бурения шпуров. Новосибирск, Наука, 1978.
19. Загорюдинок В. Г. Автоматизация самоходных бурильных установок. Изд. Ростовского государственного университета, 1975.
20. Иванов К. И. Влияние формы ударника на коэффициент передачи энергии удара в породу.— В сб.: Горный породоразрушающий инструмент. Киев, Техника, 1970, с. 166—169.
21. Иванов К. И., Андреев В. Д. Разрушение горных пород ударными импульсами, генерируемыми поршнями различной формы.— В сб.: Взрывное дело, № 58/15. М., Недра, 1966, с. 244—253.
22. Иванов К. И., Глазунов В. Н., Надион М. Ф. Современные методы бурения крепких пород. М., Госгортехиздат, 1963.
23. Иванов К. И., Ципкис А. М. Бурение шпуров и скважин самоходными шахтными установками. М., Недра, 1983.
24. Иванов К. И., Шленст А. А., Соркин В. А. Улучшение конструкции буровых штанг. М., ВИНТИ, Деп. научные работы, 1983, № 4, с. 122—124

25. *Испытания буровых установок вращательно-ударного действия в подземных условиях для бурения взрывных скважин малого диаметра*/И. Ф. Медведев, А. И. Пуляев, Л. П. Борисенко и др.— Горный журнал, 1977, № 8, с. 47—49.
26. *Кальницкий Я. Б.* Безопасная эксплуатация подземного самоходного оборудования. М., Недра, 1982.
27. *Кантович Л. И., Дмитриев В. Н.* Статика и динамика буровых шарошечных станков. М., Недра, 1984.
28. *Кожевников Л. П., Белавин Л. В., Зубарев Н. А.* Исследование параметров пневмоударников с повышенным давлением сжатого воздуха.— В сб. НИПИГормаша: Горные машины, вып. 1. Свердловск, 1982, с. 37—43.
29. *Коняшин Ю. Г.* Расчетные зависимости для определения эффективности разрушения пород ударом.— В сб.: Взрывное дело, № 66/23. М., Недра, 1969, с. 83—85.
30. *Крапавин М. Г.* Горные инструменты. М., Недра, 1979.
31. *Крюков Г. М.* Сопrotивление горных пород средней и выше средней крепости внедрению в них твердых инструментов.— Известия вузов.— Горный журнал, 1975, № 8, с. 40—42.
32. *Кутузов Б. Н.* Теория, техника и технология буровых работ. М., Недра, 1972.
33. *Медведев И. Ф.* Режимы бурения и выбор буровых машин. 2-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1986.
34. *Медведев И. Ф., Циферблат В. Л.* Буровые каретки с гидравлическими бурильными машинами, выпускаемые за рубежом. М., Черметинформация, 1978.
35. *Научно-технические основы электрификации горнодобывающих машин на рудниках*/Ш. А. Балгожин, В. К. Вороненко, Д. Б. Кожухмедов и др. Алмата, Наука, 1985.
36. *Пашков А. Д.* Исследование работы бурильной машины и пути повышения технической скорости бурения.— В сб.: Исследование процессов бурения и взрывания. М., Углетехиздат, 1959, с. 41—49.
37. *Петров Н. Г., Родионов Н. С.* Эксплуатация резцов РП-43.— Уголь, 1985, № 4, с. 42—43.
38. *Подэрни Р. Ю.* Горные машины и комплексы для открытых работ. М., Недра, 1985.
39. *Промышленные испытания новой шахтной установки на пневмоколесном ходу*/Н. В. Киселев, В. А. Зимин, Н. Ф. Сидоров и др.— Горный журнал, 1979, № 8, с. 40—41.
40. *Промышленные испытания самоходного электрогидравлического станка СБУ-50Э*/И. Ф. Медведев, А. М. Капканщиков, Л. П. Борисенко и др.— Горный журнал, 1978, № 11, с. 56—59.
41. *Результаты лабораторных испытаний передачи энергии удара по ставу штанг малого диаметра*/В. Ф. Горбунов, А. Г. Цуканов, Л. А. Саруев и др.— Известия вузов, Горный журнал, № 10, с. 43—46.
42. *Рогизный В. Ф., Беляев Н. А.* Результаты промышленных испытаний пневмоударных расширителей скважин РС220 и РС330.— Горный журнал, 1986, № 4, с. 32—34.
43. *Саймон Р.* Расчеты на вычислительных машинах волн напряжений от удара бойка в бурильных машинах.— В сб.: Механика горных пород. М., Недра, 1966, с. 74—94.
44. *Сафохин М. С., Катанов Б. А.* Машинист бурового станка на карьере. М., Недра, 1984.
45. *Скортняков Ю. Г.* Системы разработки и комплексы самоходных машин при подземной добыче руд. М., Недра, 1978.
46. *Суднишников Б. В., Есин Н. Н., Тупицын К. К.* Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. Новосибирск, Наука, 1985.
47. *Справочник по бурению на карьерах.* Под ред. Б. А. Симника. М., Недра, 1981.
48. *Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых*/К. И. Иванов, М. С. Варич, В. И. Дусев, В. Д. Андреев. М., Недра, 1974.
49. *Техника и технология добычи руд за рубежом*/С. Н. Подвиженский, С. Л. Иофин, Э. С. Ивановский, В. Г. Гальперин. М., Недра, 1986.

**ПЕРЕЧЕНЬ ЗАЯВОЧНЫХ КОДОВ И ЦЕН НА ГОРНОЕ БУРОВОЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ**

Буровой станок 2СБШ-200	Код ОКП 31 4511	Цена 51 тыс. руб.
» » СБШ-250-55	» ОКП 31 4511	» 150 тыс. руб.
» » СБШ-250МНР	» ОКП 31 4511	» 130 тыс. руб.
» » СБШ-250МНА-32	» ОКП 31 4511 0227	» 104 тыс. руб.
» » самоходный СВБ-2м	» ОКП 31 4513 0231	» 10,93 тыс. руб.
» » СБР-160А-24	» ОКП 31 4513 0217	» 53 тыс. руб.
» » 2СБР-125	» ОКП 31 4513 0216	» 49 тыс. руб.
» » СБУ-125-24	» ОКП 31 4516 1210	» 23,8 тыс. руб.
» » ПБУ-80М	» ОКП 31 4515 0220	» 18 тыс. руб.
» » СБУ-100Н-35	» ОКП 31 4516 1253	Цена 2580 руб.
» » СБУ-100Г-35	» ОКП 31 4516 1297	» 13,05 тыс. руб.
» » СБУ-100П-35	» ОКП 31 4516 1219	» 12,64 тыс. руб.
Станок КБУ-80 (БУ-80Н)	» ОКП 31 4515 0212	» 5130 руб.
» КБУ-50М (БУ-250Н)	» ОКП 31 4515 0211	» 4770 руб.
Самоходная бурильная установка СБУ-2Б	» ОКП 31 4535 1102	» 8860 руб.
То же СБУ-2БН	» ОКП 31 4535 1103	» 9120 руб.
» СБУ-2М	» ОКП 31 4535 1106	» 8000 руб.
» СБУ-2МН	» ОКП 31 4535 1101	» 8770 руб.
» 1СБУ-2К	» ОКП 31 4535 1111	» 25 тыс. руб.
» БУР-2	» ОКП 31 4535 1304	» 8000 руб.
» БУР-2Б	» ОКП 31 4535 1305	» 9000 руб.
» СБКН-2М	» ОКП 31 4535 2304	» 13,01 тыс. руб.
Самоходная буровая каретка с гидроударником БКГ-2	» ОКП 31 4535 2021	» 19,15 тыс. руб.
Бурильная установка БУ-1	» ОКП 31 4535 1206	» 3270 руб.
» » БУ-1Б	» ОКП 31 4535 1208	» 3800 руб.
» » УБШ-322Д	» ОКП 31 4535 1703	» 90 тыс. руб.
» » УБШ-532Д	» ОКП 31 4535 1705	» 118 тыс. руб.
» головка БГА-1М	» ОКП 31 4571 0022	» 540 руб.
Перфоратор ПК-60А	» ОКП 31 4543 0012	» 550 руб.
» ПК-75А	» ОКП 31 4543 0013	» 730 руб.
» ПТ-48А	» ОКП 31 4542 0032	» 215 руб.
» ПП-50В1	» ОКП 31 4541 3022	» 126 руб.
Буровая коронка К-100В	» ОКП 31 4751 0011	» 10,9 руб.
» » К-130	» ОКП 31 4751 0012	» 14,1 руб.
» » КНШ-125У	» ОКП 31 4751 0053	» 36 руб.
» » К-105КА	» ОКП 31 4751 0013	» 28 руб.
» » К-130К	» ОКП 31 4751 0014	» 26 руб.
Погружной пневмоударник П-155-4,1	» ОКП 31 4573 0018	» 81 руб.
То же П-125-3,8	» ОКП 31 4573 0061	» 160 руб.
» П-105-2,6 (П-105С)	» ОКП 31 4573 0056	» 108 руб.
Пневмоударник ПП-105-2,5 (П-105-П)	» ОКП 31 4573 0115	» 57 руб.
» ПП-105-2,4 (М-48)	» ОКП 31 4573 0011	» 49 руб.
» ПП-105-2,2 (П-75)	» ОКП 31 4573 0013	» 30 руб.
Бурозаправочный станок БЗС-А	» ОКП 31 4721 0011	» 7 тыс. руб.
Переносная бурильная установка УПБ-1А	» ОКП 31 4721 4025	» 630 руб.



# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>1. Способы бурения шпуров и скважин и энергоёмкость процесса разрушения горных пород . . . . .</b>	<b>4</b>
1.1. Классификация способов бурения . . . . .	4
1.2. Области применения различных способов бурения . . . . .	7
1.3. Энергоёмкость процесса разрушения горных пород при бурении . . . . .	10
1.4. Влияние формы импульса на энергоёмкость разрушения твердых сред . . . . .	12
1.5. Влияние амплитуды и длительности прямоугольного силового импульса на энергоёмкость разрушения твердых сред . . . . .	14
1.6. Закон формы ударяющего тела . . . . .	18
<b>2. Бурильные головки . . . . .</b>	<b>22</b>
2.1. Классификация бурильных головок . . . . .	22
2.2. Развитие перфораторостроения . . . . .	23
2.3. Типы перфораторов . . . . .	24
2.4. Конструктивные особенности современных перфораторов . . . . .	29
2.5. Перфораторы с независимым вращением бура . . . . .	44
2.6. Гидравлические перфораторы . . . . .	52
2.7. Бурильные головки вращательного действия (горные сверла) . . . . .	61
2.8. Телескопные перфораторы . . . . .	67
2.9. Переносные перфораторы с пылеуловителями . . . . .	68
2.10. Пневмоподдержки к переносным перфораторам . . . . .	69
2.11. Производительность переносных перфораторов . . . . .	70
2.12. Расходные показатели при бурении шпуров переносными перфораторами . . . . .	71
2.13. Параметры бурения шпуров сверлами . . . . .	71
<b>3. Шахтные бурильные установки . . . . .</b>	<b>72</b>
3.1. Назначение шахтных бурильных установок . . . . .	72
3.2. Типоразмеры шахтных бурильных установок . . . . .	74
3.3. Совершенствование шахтных бурильных установок . . . . .	75
3.4. Бурильные машины шахтных установок . . . . .	76
3.5. Манипуляторы бурильных установок . . . . .	80
3.6. Ходовые части самоходных шахтных бурильных установок . . . . .	85
3.7. Гидросистемы бурильных установок . . . . .	88
3.8. Шахтные самоходные бурильные установки типа УБШ . . . . .	90
3.9. Малогабаритные установки для бурения шпуров . . . . .	92
3.10. Установки на автомобильном ходу . . . . .	97
3.11. Зарубежные бурильные установки . . . . .	99
3.12. Эксплуатационные и расходные показатели шахтных бурильных установок . . . . .	106
<b>4. Самоходные станки и колонковые установки для бурения глубоких взрывных скважин . . . . .</b>	<b>109</b>
4.1. Общие сведения . . . . .	109
4.2. Классификация станков . . . . .	111
4.3. Подземные буровые станки с перфораторами . . . . .	113
4.4. Буровые станки, выпускаемые шведскими заводами . . . . .	117
4.5. Станки американских и финских фирм . . . . .	121
4.6. Буровые станки с перфораторами для открытых горных разработок . . . . .	126
4.7. Колонковые бурильные установки . . . . .	128
4.8. Производительность станков с перфораторами и расходные показатели . . . . .	131
	271

<b>5. Станки для бурения скважин пневмоударниками . . . . .</b>	<b>134</b>
5.1. Общие сведения . . . . .	134
5.2. Буровые станки с пневмоударниками для подземных горных разработок . . . . .	135
5.3. Самоходные буровые станки для подземных разработок . . . . .	139
5.4. Буровые станки с погружными пневмоударниками для открытых разработок . . . . .	146
5.5. Зарубежные станки с пневмоударниками для открытых разработок . . . . .	150
5.6. Конструкции пневмоударников . . . . .	152
5.7. Пневмоударные расширители . . . . .	157
5.8. Производительность станков с пневмоударниками . . . . .	158
5.9. Основные зависимости при бурении пневмоударниками . . . . .	161
5.10. Расходные показатели при бурении станками с погружными пневмоударниками . . . . .	162
<b>6. Станки вращательного бурения для открытых и подземных горных работ . . . . .</b>	<b>163</b>
6.1. Общие сведения . . . . .	163
6.2. Станки шарошечного бурения для открытых горных работ . . . . .	164
6.3. Буровые станки для подземных горных выработок . . . . .	178
6.4. Интенсификация процесса бурения скважин шарошечными станками * . . . . .	179
6.5. Шарошечные станки зарубежных фирм . . . . .	184
6.6. Производительность шарошечных станков и расходные показатели . . . . .	187
6.7. Станки шнекового бурения . . . . .	189
<b>7. Буровой инструмент . . . . .</b>	<b>193</b>
7.1. Материалы для изготовления бурового инструмента . . . . .	193
7.2. Буровой инструмент для электросверл . . . . .	196
7.3. Инструмент станков вращательного (шнекового) бурения . . . . .	200
7.4. Шарошечные долота . . . . .	202
7.5. Буровой став для шарошечного бурения . . . . .	210
7.6. Режимы бурения скважин шарошечными долотами . . . . .	212
7.7. Буровые коронки для перфораторов . . . . .	213
7.8. Буры для перфораторов . . . . .	218
7.9. Долота и расширители для пневмоударников . . . . .	223
7.10. Уход за буровым инструментом и его заточка . . . . .	227
<b>8. Расчеты ударных систем . . . . .</b>	<b>231</b>
8.1. Общие положения . . . . .	231
8.2. Расчет внешнего цикла машин ударного действия . . . . .	231
8.3. Расчет внешнего цикла при условии размыкания сплошности ударной системы . . . . .	236
8.4. Влияние длины хвостовика на формирование силовых импульсов в ударной системе . . . . .	252
8.5. Расчет ударных систем с двухступенчатым бойком и хвостовиком . . . . .	254
8.6. Внедрение инструмента в породу . . . . .	258
8.7. Влияние амплитуды, длительности и формы импульса силы на глубину внедрения коронки . . . . .	262
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>266</b>
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>268</b>
<b>Приложение. Перечень заявочных кодов и цен на горное буровое оборудование . . . . .</b>	<b>270</b>