

# Курс Технология и оборудование горного производства

## Лекция 8 БУРОВЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ



**Бурение** — процесс сооружения горной выработки цилиндрической формы путем разрушения горных пород в торцевом забое.

**Шпур** - искусственное цилиндрическое углубление в горных породах диаметром до 75 мм и глубиной до 5 м.

**Скважина** - искусственное цилиндрическое углубление в горных породах диаметром более 75 мм и глубиной более 5 м.



# Классификация буровых машин

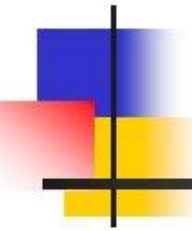
По способу разрушения горной породы буровые машины подразделяются на осуществляющие:

- **механические способы разрушения** (машины ударно-вращательного и вращательного бурения шарошечными и резцовыми долотами);
- **физические способы разрушения** (машины термического, взрывного, гидравлического, электрогидравлического и ультразвукового бурения, воздействующие на горную породу через жидкую и газообразную среду);
- **комбинированные способы разрушения** (машины, сочетающие механические и физические способы разрушения)



# Классификация буровых машин

**Механический способ бурения скважин** осуществляется за счет непосредственного воздействия рабочего инструмента на породу, при котором в последней возникают высокие напряжения, превышающие предел прочности минеральных образований и приводящие к разрушению породы в области контакта с инструментом.



# Классификация буровых машин

По форме и характеру воздействия механического бурового инструмента на породу различают бурение:

- ударное,
- вращательное резанием,
- вращательное шарошечное,
  - ударно-вращательное,
  - вращательно-ударное,
- комбинированное инструментом (режуще-шарошечным, шарошечно-ударным и др.).



# Классификация буровых машин

**Физические или физико-химические способы бурения разрушают породу через жидкую или газообразную среду**

- термическим,
- взрывным,
- гидравлическим,
- электрогидравлическим,
- ультразвуковым,
- плазменным,
- лазерным
- и другими способами воздействия.

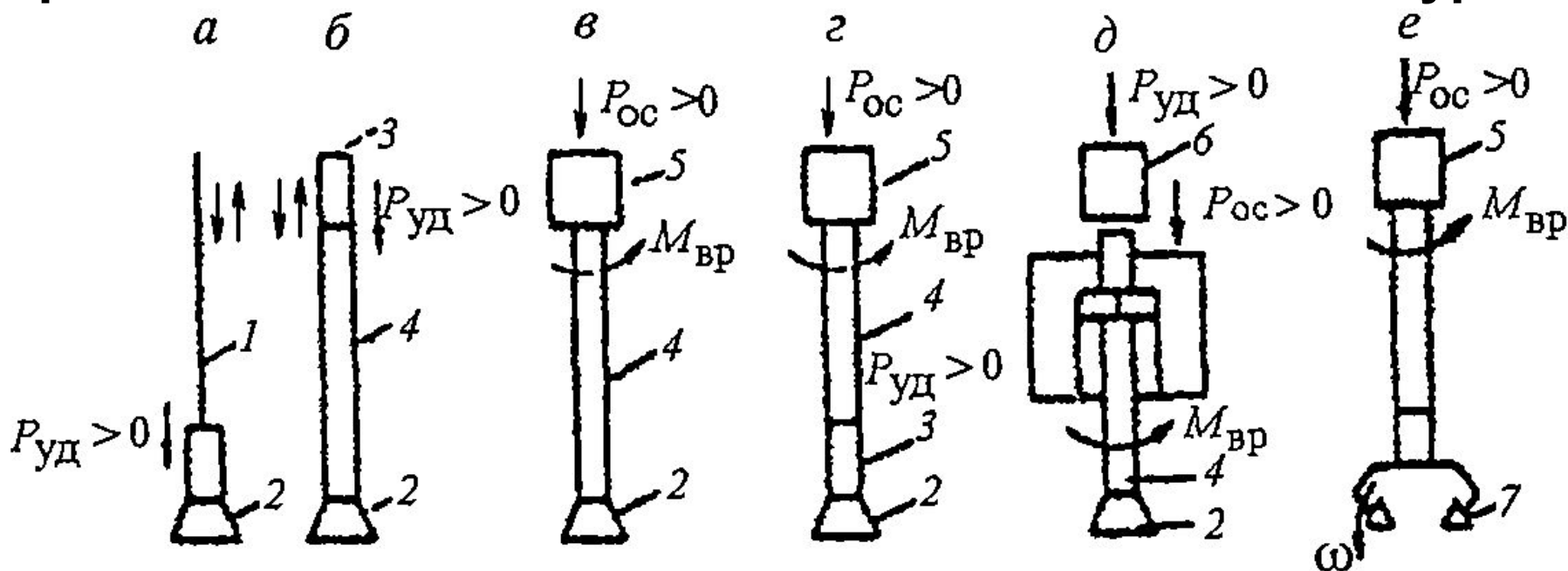


# Классификация буровых машин

Несмотря на создание и внедрение новых физических и комбинированных способов бурения, **механическое разрушение горных пород при бурении, в первую очередь станками шарошечного бурения, остается определяющим.**



# Принципиальные схемы механических способов бурения



а – ударное; б – ударно-поворотное; в – вращательное (сплошное и колонковое); г – ударно-вращательное; д – вращательно-ударное; е – шарошечное бурение

1 — канат; 2 — долото; 3 — ударно-поворотный механизм; 4 — штанга; 5 — вращатель; 6 — ударный механизм; 7 — шарошки;  $P_{уд}$  — ударное воздействие;  $P_{ос}$  — осевое усилие;  $M_{вр}$  — крутящий момент;  $\omega$  — угловая скорость вращения долота



## **Области рационального применения механических способов бурения**

**Ударное и ударно-поворотное бурение как самостоятельный способ** в настоящее время на ОГР практически не применяется. Имеют ограниченное применение в геологоразведке.

**Вращательное бурение резанием** применяют только по слабым углям и породам средней и ниже средней крепости. Производительно бурить скважины по крепким породам вращательным способом можно **алмазными коронками.**

**Колонковое вращательное бурение** применяется на ОГР для бурения разведочных скважин.



# Области рационального применения механических способов бурения

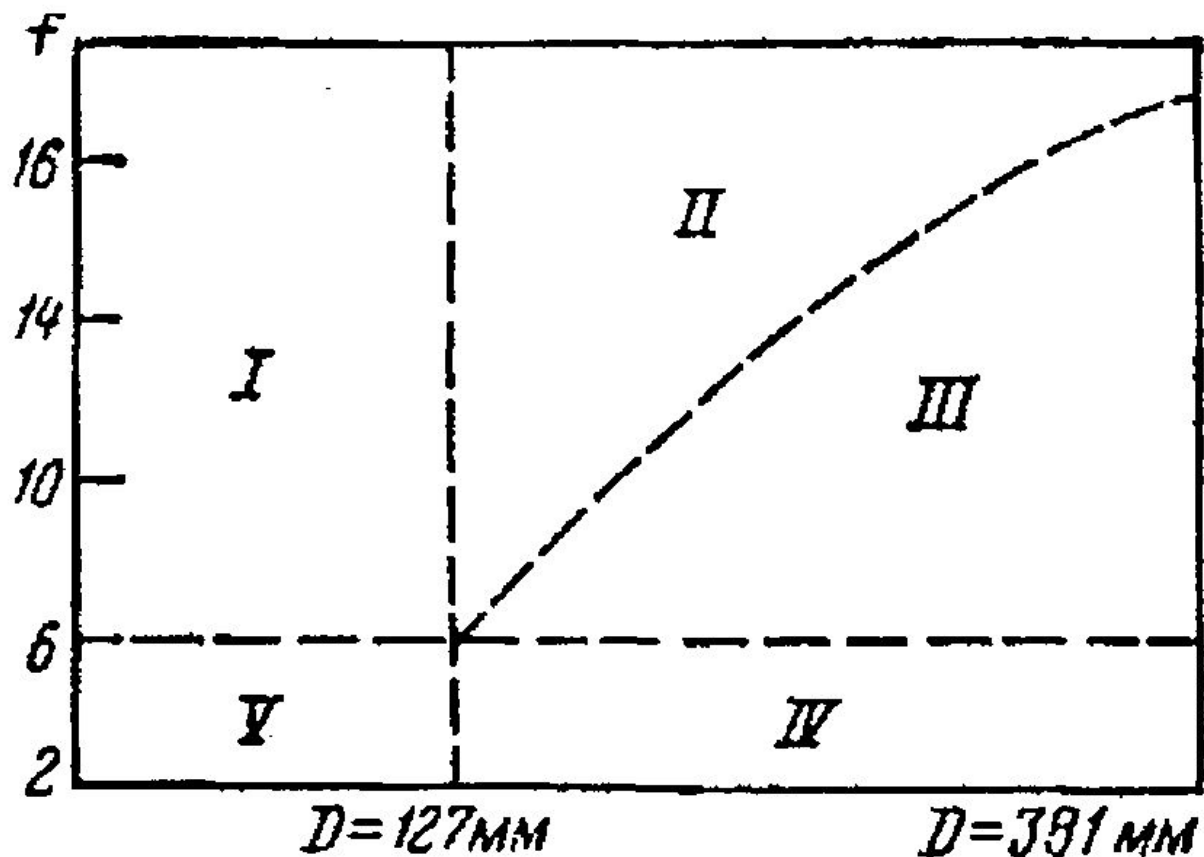
**Ударно-вращательный** способ бурения погружным ударником применяется по крепким, очень крепким и абразивным породам.

**Вращательно-ударное бурение** применяется для бурения наклонных и горизонтальных скважин в крепких породах.

**Шарошечный** способ бурения применяется по крепким, очень крепким и абразивным породам.



# Инструмент для буровых машин

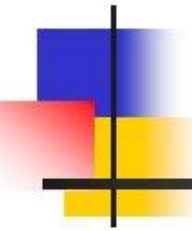


Области применения различных типов инструмента в зависимости от коэффициента крепости породы и диаметра долота:

I — перфораторов; II — погружных пневмоударников со штыревыми коронками; III — шарошечных долот или погружных пневмоударников; IV — режущих коронок или шарошечных долот; V — режущих коронок

# Инструмент для станков ударно-вращательного (пневмоударного) бурения

**Комплект** бурового инструмента для ударно-вращательного бурения состоит из буровых штанг, переходника, погружного пневмоударника и долота.



# **Инструмент для станков ударно-вращательного (пневмоударного) бурения**

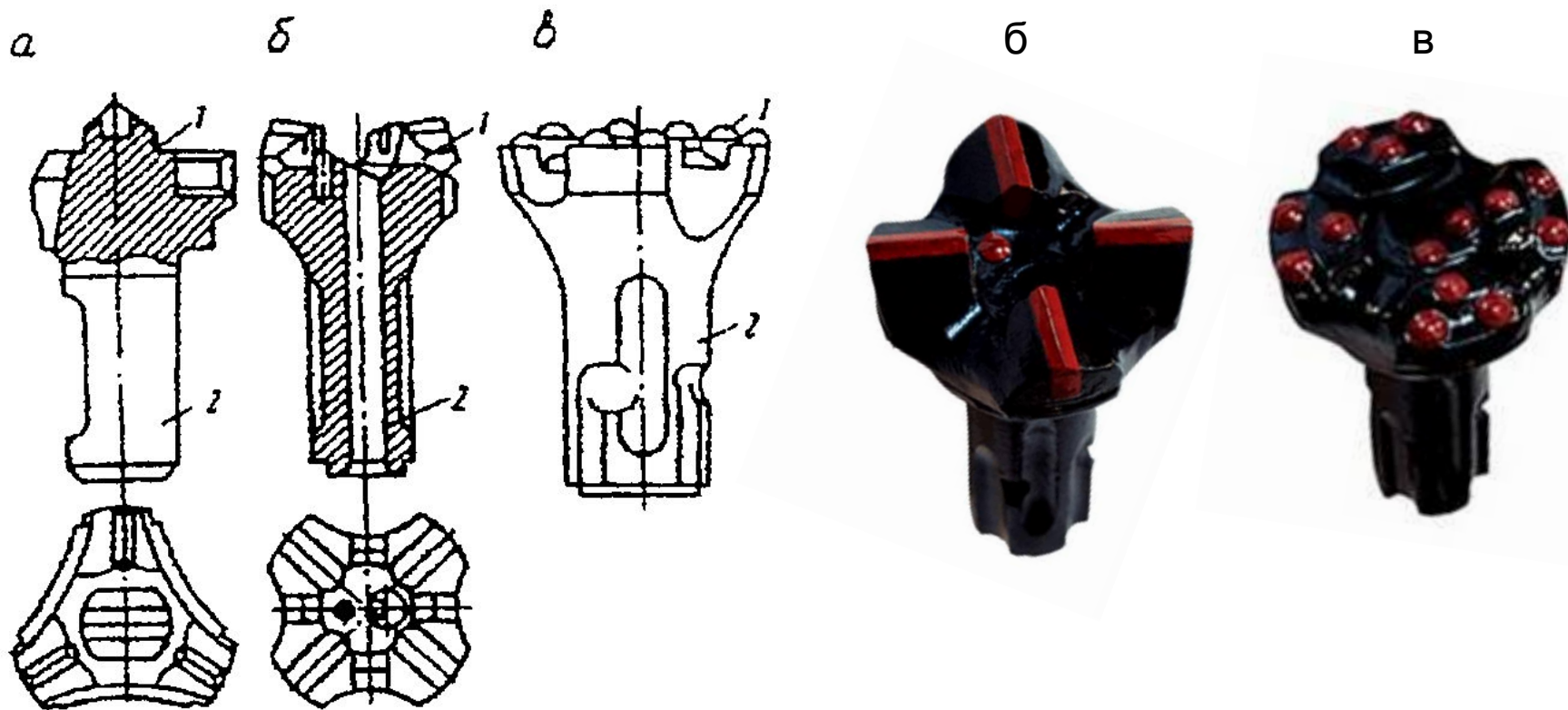
**Буровые долота классифицируют:**

- по форме головок на лезвийные и штыревые;**
- по числу разрушающих твердосплавных лезвий (штырей) на долотчатые, трех- и четырехперые, Х-образные;**
- по расположению разрушающих лезвий — на одно-, двухступенчатые (с опережающим лезвием) и многоступенчатые;**
- по способу удаления буровой мелочи из забоя скважин с центральной, внецентренной и внешней продувкой.**



# Инструмент для станков ударно-вращательного (пневмоударного) бурения

## Буровые коронки

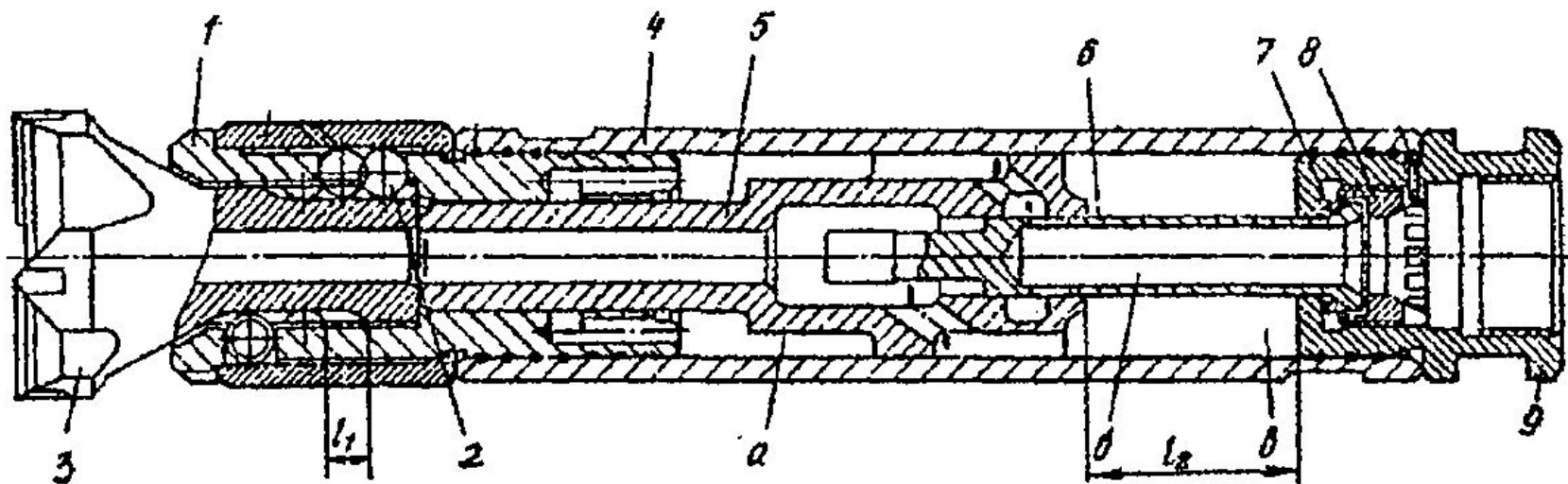


1 — головка; 2 — хвостовик

а — К100В и БК-155; б — К105КА и К-130К; в — КНШ-110

# Инструмент для станков ударно-вращательного (пневмоударного) бурения

Погружной пневмоударник П-125 К



- 1 – букса; 2 – шарики фиксации долота; 3 – долото; 4 – цилиндр;  
5 – поршень-ударник; 6 – трубка распределительная; 7 – седло;  
8 – гайка регулировочная; 9 – переходник соединительный со штангой

# **Инструмент для станков ударно-вращательного (пневмоударного) бурения**

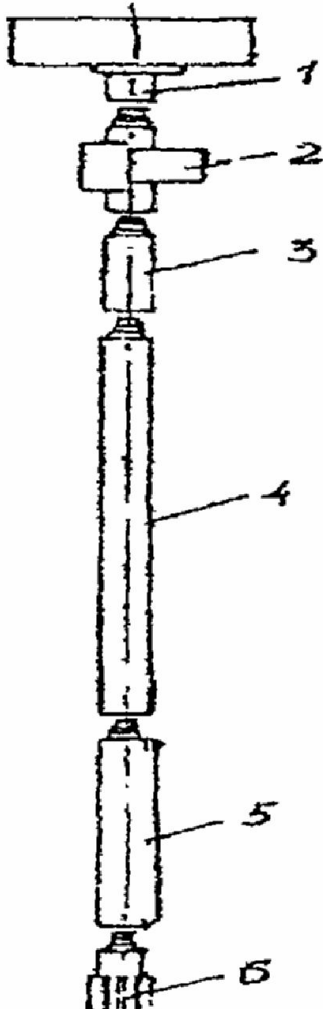
Основные факторы, определяющие эффективность бурения скважин погружными пневмоударниками:

- **величина энергии единичного удара поршня по буровому инструменту,**
- **частота ударов,**
- **геометрия разрушающего инструмента,**
- **физические свойства буримой породы.**





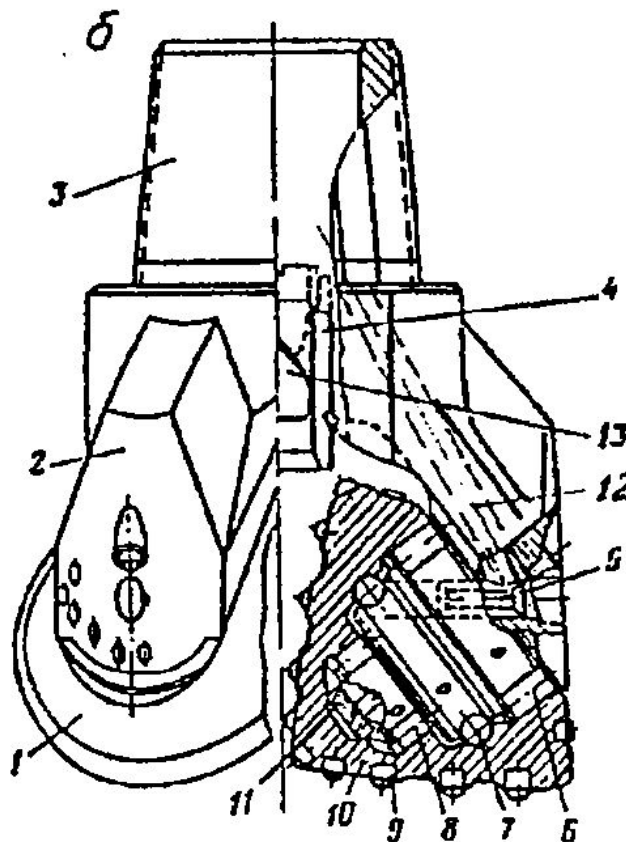
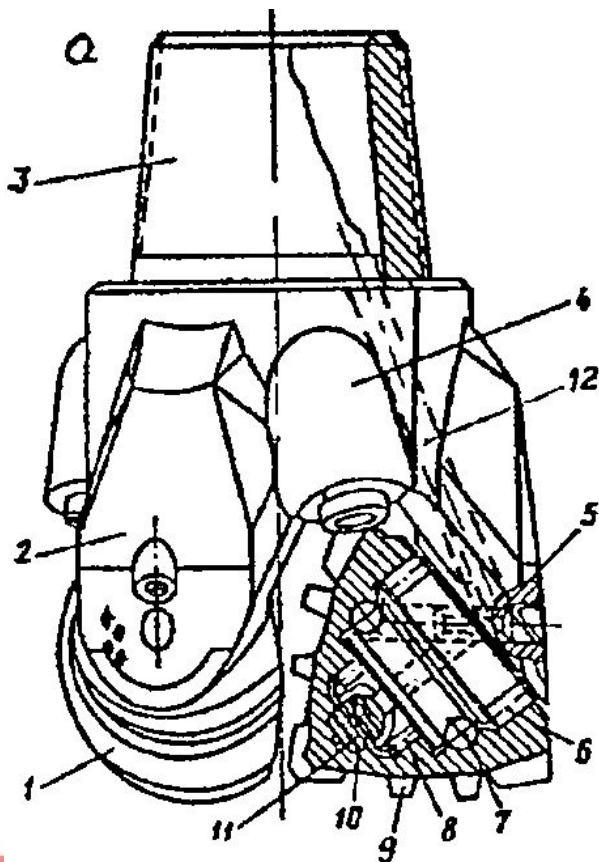
# Инструмент для станков вращательного бурения шарошечными долотами



- 1 — шпиндель вращателя;
- 2 — упругая муфта;
- 3 — переходник-адаптер;
- 4 — буровая штанга;
- 5 — удлинитель штанги;
- 6 — стабилизатор;
- 7 — долото

# Инструмент для станков вращательного бурения шарошечными долотами

При вращательном бурении используют долота: двух- и трехшарошечные, режущие, штыревые и комбинированные.



1 — шарошка; 2 — лапа долота; 3 — присоединительный ниппель с резьбой; 4 — периферийный (а) и центральный (б) продувочные каналы; 5 — канал для подачи замкового рада шарикового подшипника с фиксатором; 6 — роликовый подшипник опоры; 7 — замковый шариковый подшипник; 8 — роликовый подшипник опоры; 9 — элементы породоразрушающего фрезерованного (а) и твердосплавного (б) вооружения шарошки; 10 — корпус шарошки; 11 — опорная пята шарошки; 12 — воздушный канал к подшипникам шарошки; 13 — воздухо-направляющий винт

# Инструмент для станков вращательного бурения шарошечными долотами



штыревое долото

режущее  
долото

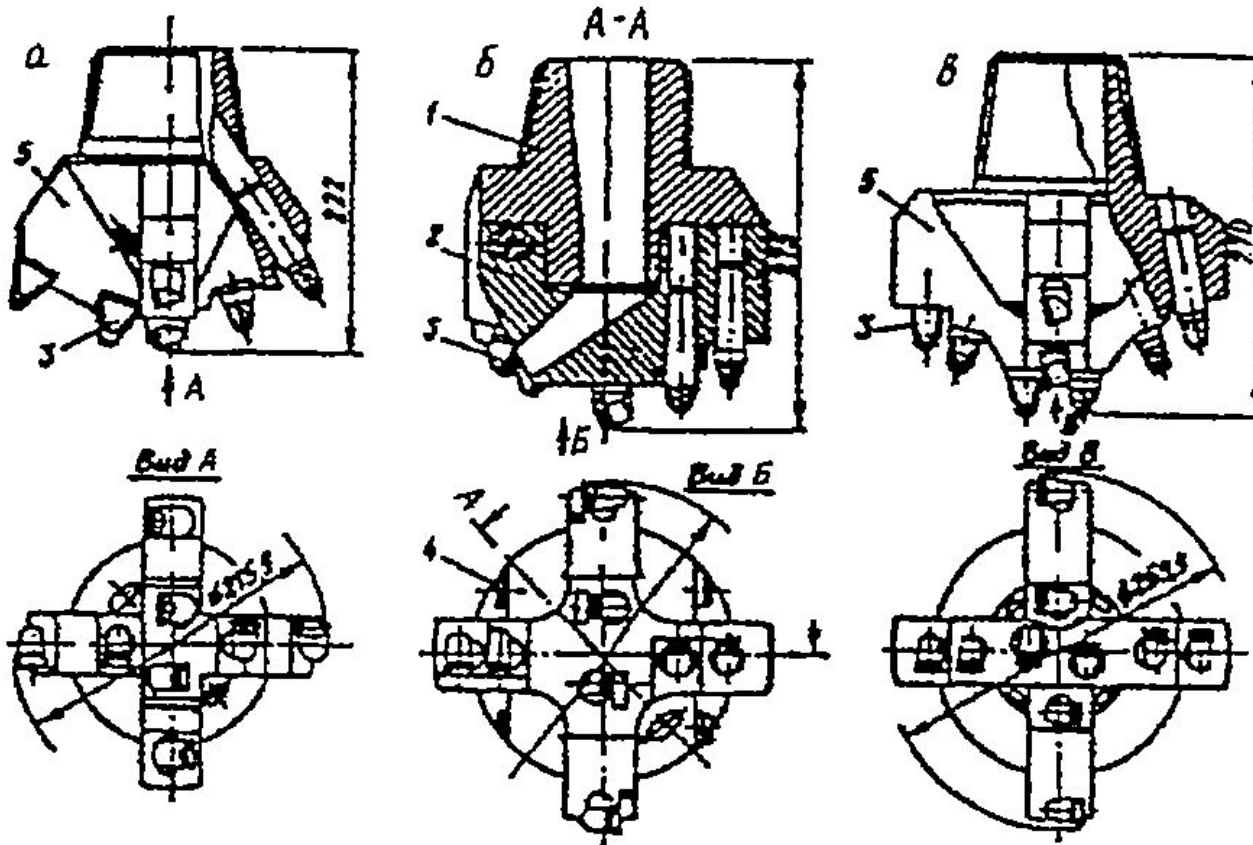
двухшарошечное  
долото

трехшарошечное  
долото



# Режущие буровые долота

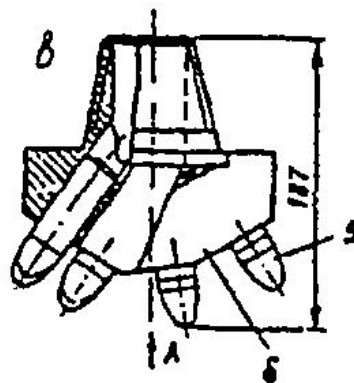
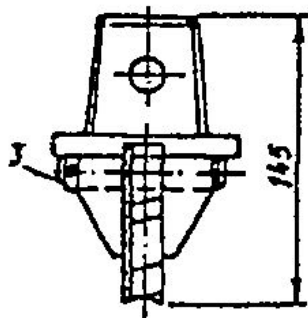
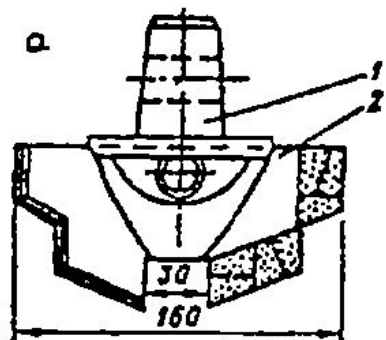
Режущие долота с воздушной продувкой, в основном, предназначены для бурения многолетнемерзлых пород повышенной влажности с гравийно-галечными включениями и могут использоваться для бурения пород с обычным температурным режимом.



а — 3РД215,9;  
б — 1РД244,5;  
в — 1РД269,9

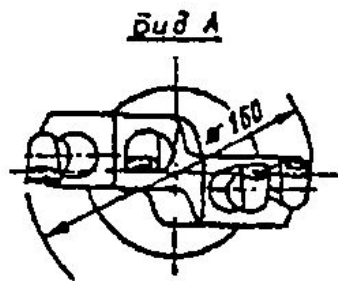
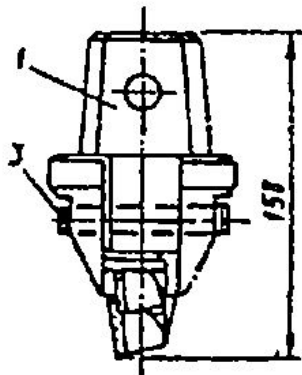
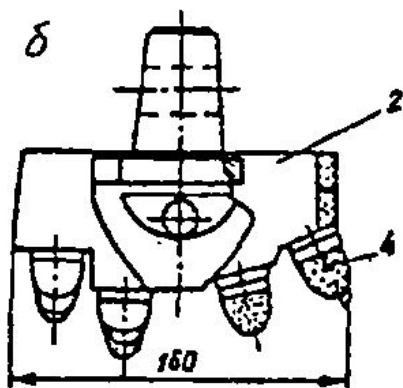
1 — хвостовик;  
2 — съемный корпус;  
3 — сменный зубок;  
4 — замковый палец;  
5 — корпус долота

# Инструмент для станков вращательного бурения режущими долотами со шнековой очисткой скважин



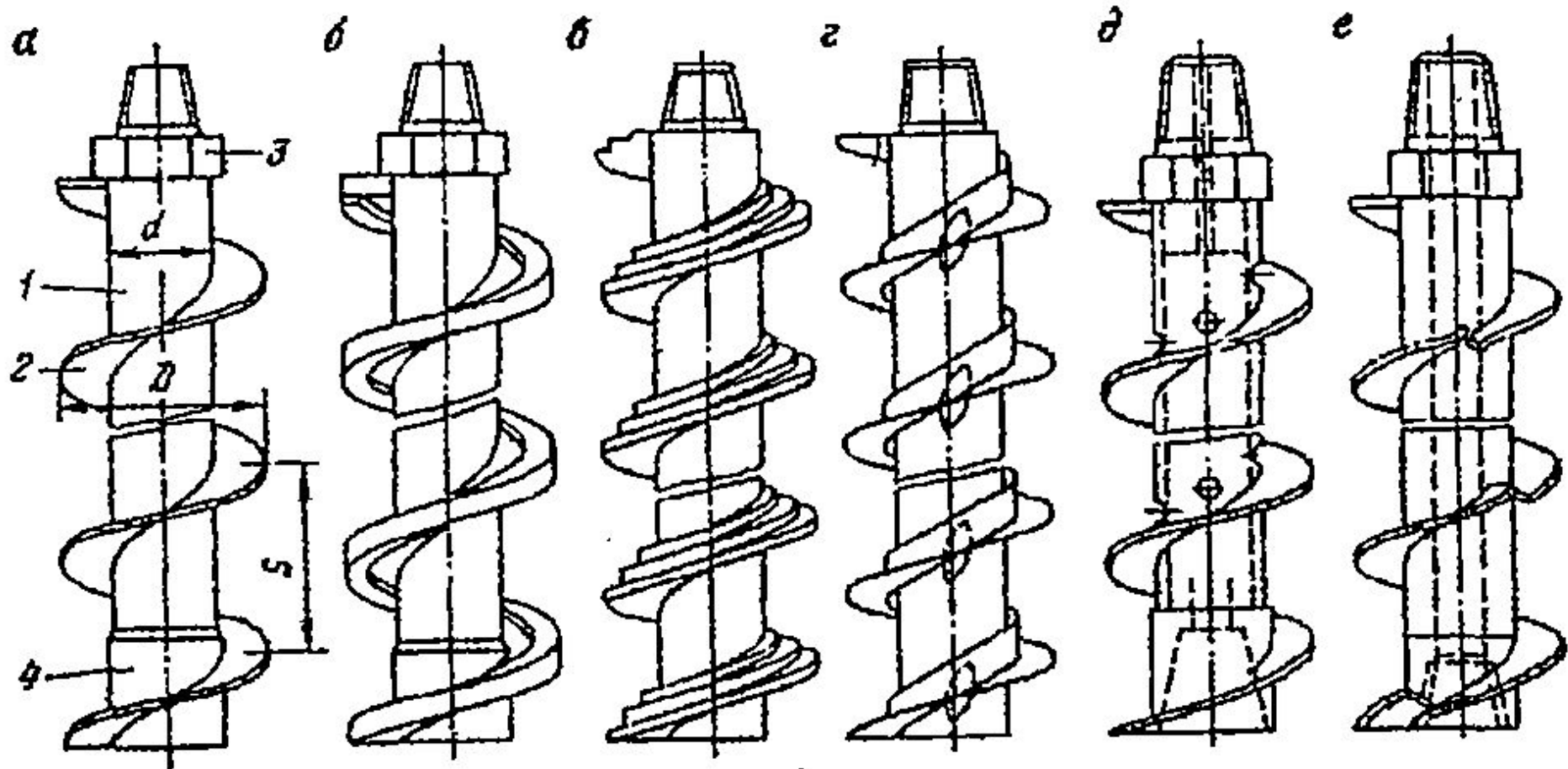
а — РК4М;  
б — 8РД160Ш;  
в — 10РД160ШП;

1 — хвостовик;  
2 — съемный  
корпус;



3 —  
соединительный палец;  
4, 5 — укороченные  
резцы типа ШБМ2С;  
6 — литой корпус

# Инструмент для станков вращательного бурения режущими долотами со шнековой очисткой скважин



а — сплошной; б — полый коробчатой; в — полый уступчатой;  
г — ленточной; д — с радиальными отверстиями в трубе; е — секционной

# Основные типы и области применения буровых станков

Станки для бурения взрывных скважин на открытых горных работах в горнодобывающей промышленности подразделяются на три подгруппы:

- **СБШ** — станки вращательного бурения шарошечными долотами с очисткой скважины воздухом (станки шарошечного бурения) с номинальными диаметрами бурения (нормальный ряд) 160, 200, 250, 270, 320 и 400 мм при крепости пород  $f = 6 \dots 18$ ;
- **СБУ** — станки ударно-вращательного бурения погружными пневмоударниками с очисткой скважины воздухом (станки пневмоударного бурения) с номинальными диаметрами бурения — 100, 125, 160 и 200 мм при  $f = 8 \dots 20$  и выше, до предельно крепких;
- **СБР** — станки вращательного бурения резцовыми коронками с очисткой скважины шнеком (станки шнекового бурения) с номинальными диаметрами бурения 160 и 200 мм при  $f < 6$ .



# Основные параметры буровых станков

**Типоразмеры станков** определяются главным параметром — диаметром буримых скважин 100, 125, 200, 250, 320 и 400 мм.

Не исключаются применения диаметров бурения 105, 115, 245, 270, 350 мм и пр.





# Основные параметры буровых станков

## Рекомендуемые глубины бурения вертикальных скважин с наращиванием става:

для станков СБШ — 36 и 55 м,

для станков СБР — 24 и 32 м,

для станков СБУ — 32 и 52 м,

## без наращивания става:

для станков **СБШ** с диаметром скважины 250 мм и более  
— не менее 20 м;

для станков **СБУ-160** — не менее 18 м.



# Основные параметры буровых станков

В условное обозначение станка входят:

- тип станка,
- диаметр бурения в миллиметрах
- глубина бурения в метрах

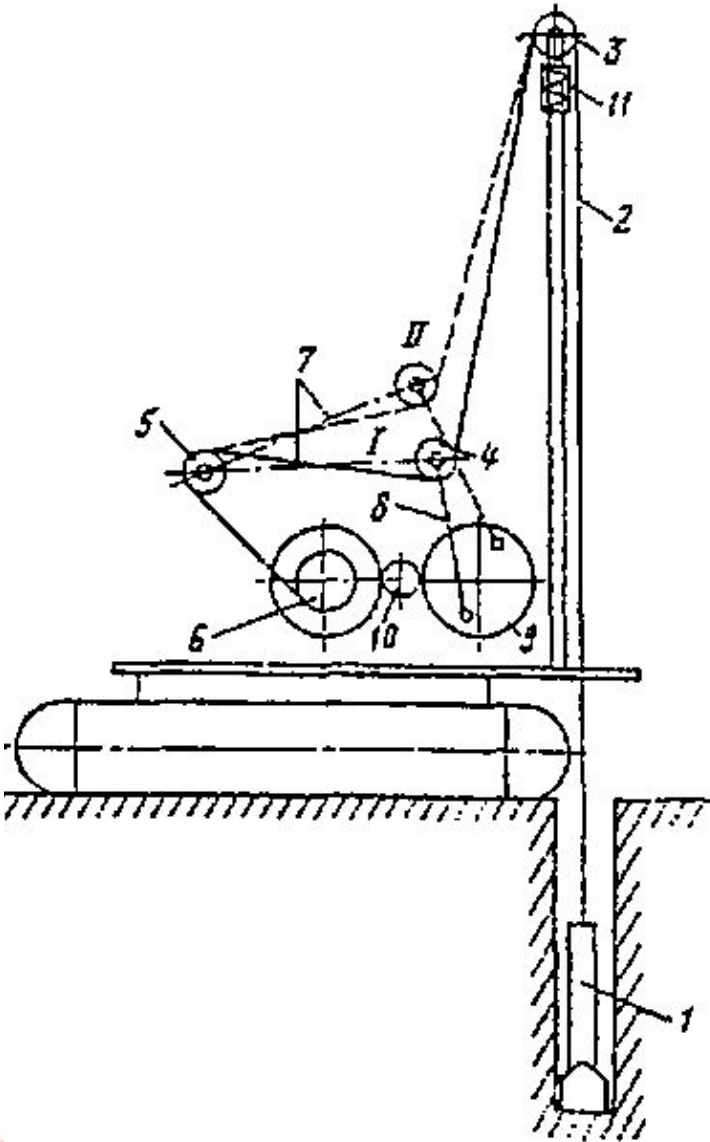
Например СБШ-320-32 (диаметр скважины 320 мм, глубина 32 м).

Угол наклона скважины от вертикали устанавливается для всех станков  $0^\circ$ ,  $15^\circ$  и  $30^\circ$ , однако может иметь шаг и через  $5^\circ$ .



# Станки ударно-канатного бурения

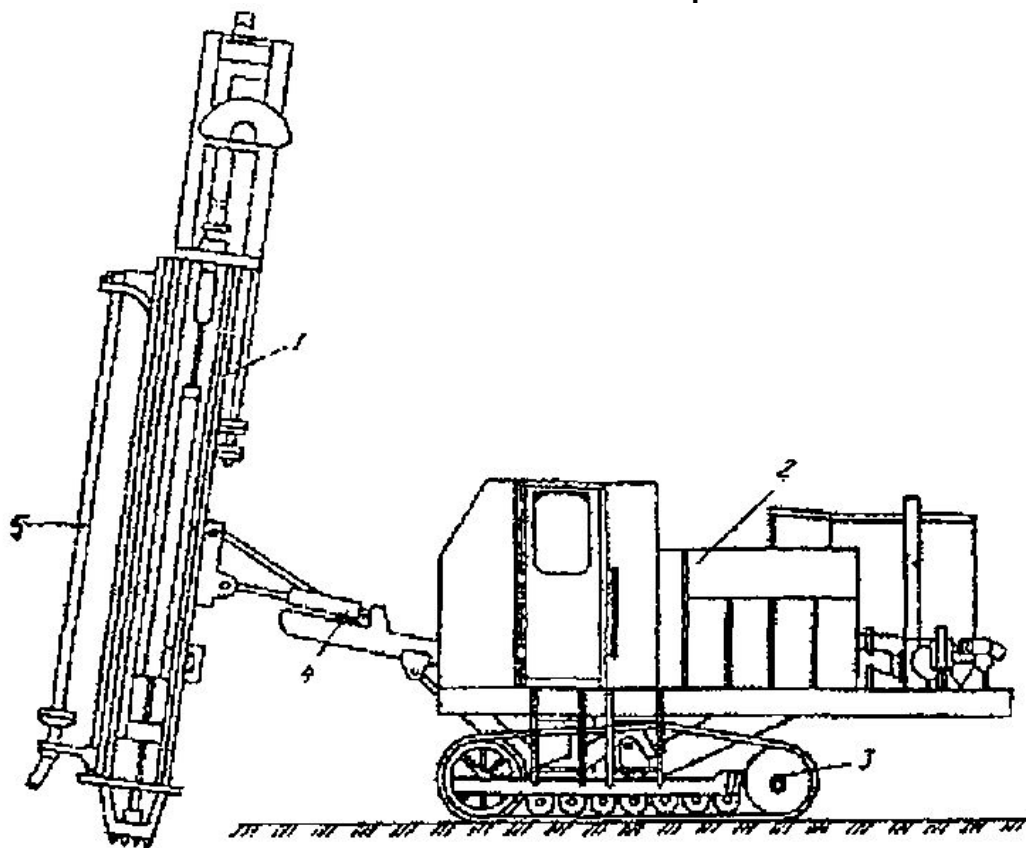
Станки ударно-канатного бурения предназначены для бурения вертикальных разведочных или дренажных скважин по породам любой крепости на глубину до 300 м.



- 1 - буровой инструмент (массой 2000—3000 кг и диаметром до 300 мм),
- 2 - грузовой канат,
- 3 - головной блок мачты станка,
- 4 - оттяжной блок,
- 5 - направляющий блок,
- 6 - барабан лебедки подъема,
- 7 - балансир,
- 8, 9 - кривошипно-шатунный механизм,
- 10 - шестерня,
- 11 - амортизатор

# Станки ударно-вращательного бурения погружными пневмоударниками

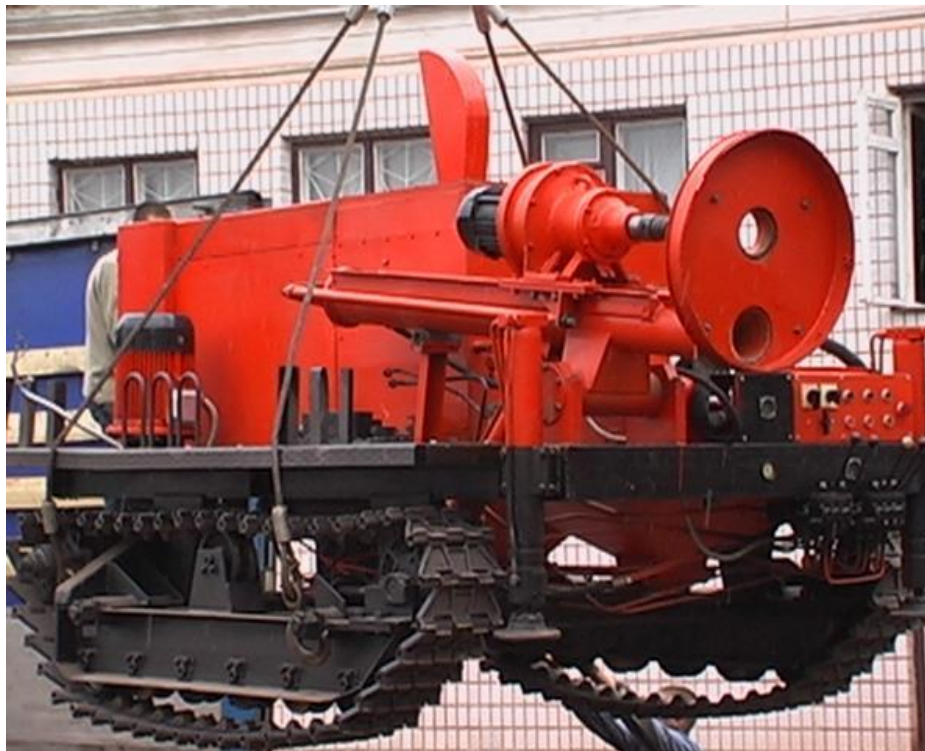
Станки СБУ предназначены для проходки вертикальных и наклонных скважин в трудно взрывааемых породах с коэффициентом крепости  $f = 6 \dots 20$ . Применяются при выполнении работ в сложных горно-геологических условиях на стесненных рабочих площадках открытых горных работ и строительных объектах.



Станок ЗСБУ-100-32

- 1 - рабочий орган;
- 2 - кузов;
- 3 - ходовая часть;
- 4 - манипулятор;
- 5 - кассета

# Станки ударно-вращательного бурения погружными пневмоударниками



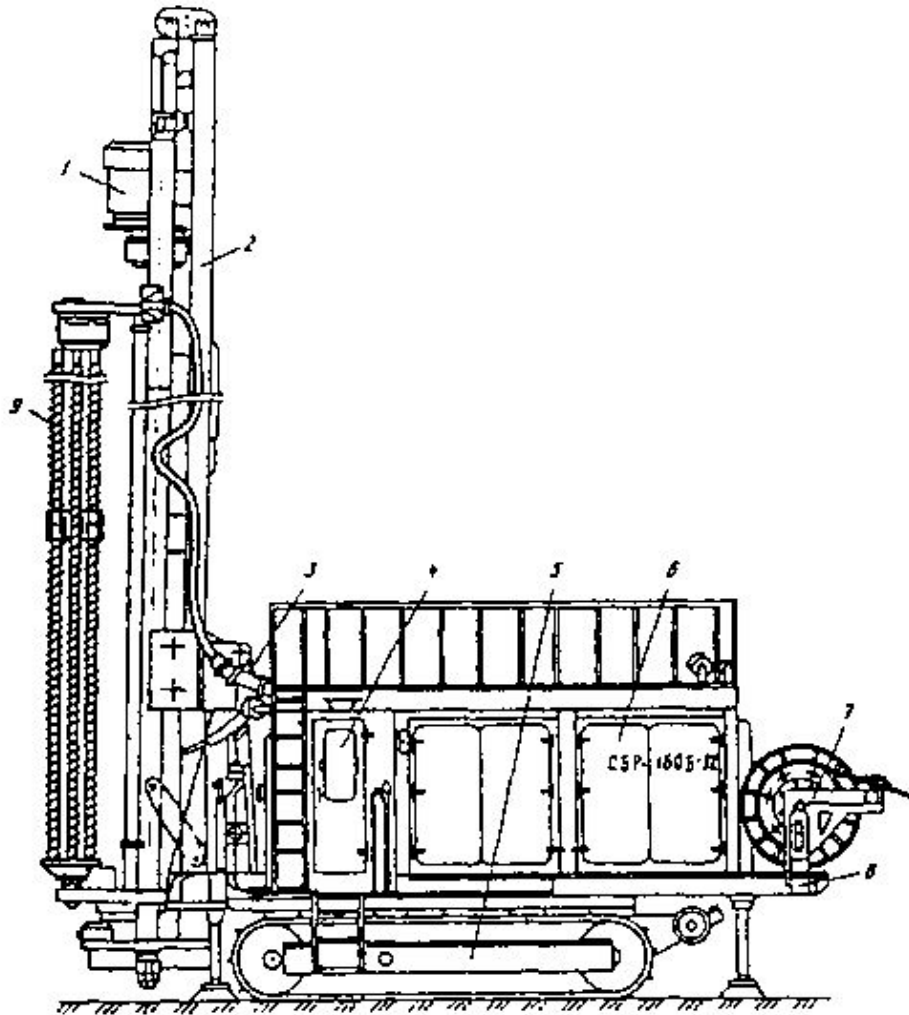
Станок ЗСБУ-100-32

Диаметр скважины	85; 110; 125 мм
Глубина	до 32 мм
Коэффициент крепости породы $f=6..20$	
Установленная мощность	59 кВт
Мощность вращателя	4 кВт
Частота вращения става	$0,65...1,33\text{мин}^{-1}$
Масса	8500 кг



# Станки вращательного бурения резцовыми долотами

Станки СБР предназначены для бурения вертикальных и наклонных взрывных скважин по углю и породам с коэффициентом крепости  $f < 6$ .



Станок СБР-160Б-32

- 1 — вращатель;
- 2 — мачта;
- 3 — гидроцилиндры подъема и опускания мачты;
- 4 — кабина;
- 5 — ходовая часть;
- 6 — кузов;
- 7 — кабельный барабан;
- 8 — рама станка;
- 9 — кассета

# Станки вращательного бурения резцовыми долотами

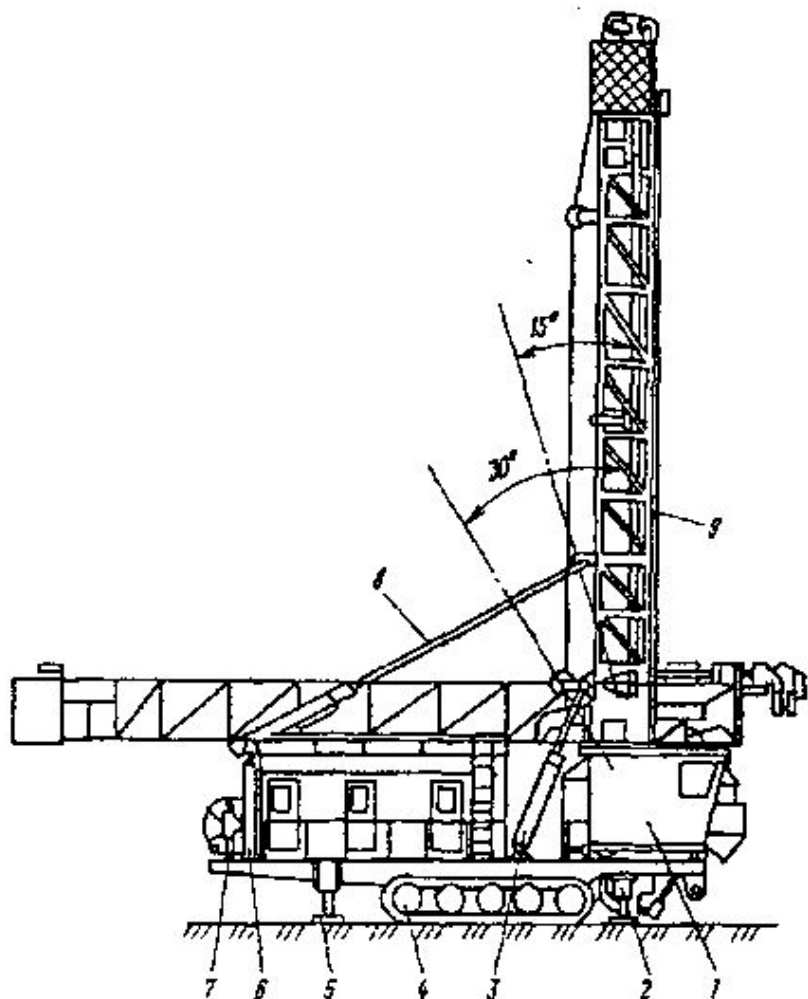


Станок СБР-160Б-32

Диаметр скважины	160 мм
Глубина	до 32 м
Коэффициент крепости породы $f < 6$	
Угол бурения к вертикали	5; 15; 30 град
Мощность двигателя хода	2x15 кВт
Мощность вращателя	50 кВт
Усилие подачи	80 кН
Частота вращения става	1,7; 2,3; 3,3 мин <sup>-1</sup>
Масса	32 тонны

# Станки вращательного бурения шарошечными долотами

Станки СБШ предназначены для бурения взрывных скважин на открытых горных разработках в сухих и обводненных, монолитных и трещиноватых породах с коэффициентом крепости  $f = 6 \dots 18$ .



Станок СБШ-200-32

- 1 — кабина машиниста;
- 2 — передний домкрат выравнивания станка;
- 3 — гидроцилиндры наклона мачты;
- 4 — гусеничные тележки;
- 5 — задний домкрат выравнивания станка;
- 6 — задняя опора мачты;
- 7 — кабельный барабан;
- 8 — телескопический подкос мачты;
- 9 — мачта



# Станки вращательного бурения шарошечными долотами



Станок СБШ-250-32

Диаметр скважины	244,5; 269,9 мм
Глубина	до 32 м
Коэффициент крепости породы $f=6...18$	
Угол бурения к вертикали	5; 15; 30 град
Установленная мощность	300 кВт
Мощность вращателя	60 кВт
Усилие подачи	300 кН
Частота вращения става	1,7; 2,3; 3,3 мин <sup>-1</sup>
Масса	77 тонн

# Теоретическая скорость бурения $v$ , м/час

## Ударное бурение

$$v = \frac{60 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot A \cdot Z \cdot n \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}{\pi \cdot d^2 \cdot \sigma_{\text{м.б.}} \cdot \left( \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + \mu_1 \right) \cdot K_3},$$

где  $A$  – энергия единичного удара, Дж;

$Z$  – частота ударов за один оборот бурового инструмента;

$n$  – число перьев (режущих кромок) на долоте ( $n=2$  для двухперьевого,  $n=4$  для крестового);

$\theta \approx 120^\circ$  – угол скола разрушаемой породы;

$d$  – диаметр скважины, м;

$\sigma_{\text{м.б.}}$  – предел прочности породы при механическом бурении, МПа;

$\mu_1$  – коэффициент трения бурового инструмента о породу;

$K_3 = 1,2 \dots 1,3$  – коэффициент, учитывающий затупление лезвия долота.

# Теоретическая скорость бурения $v$ , м/час

## Вращательное бурение шарошечными долотами

$$v = 10,8 \cdot K_{\text{СК}} \cdot h \cdot n_{\text{вр}},$$

где  $K_{\text{СК}}$  — коэффициент, учитывающий уменьшение скорости бурения за счет неполного скола породы между зубьями ( $K_{\text{СК}} = 0,5 \dots 0,3$  — большая величина для более мягких пород);

$n_{\text{вр}}$  — предельная частота вращения долота,  $\text{с}^{-1}$ ;

$h$  - глубина внедрения зуба шарошки, м.



# Теоретическая скорость бурения $v$ , м/час

## Вращательное бурение шарошечными долотами

$$h = \frac{1,5 \cdot 10^2 \cdot P_{oc}}{D \cdot f \cdot \left( \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + \mu_1 \right) \cdot K_3},$$

где  $f$  – коэффициент крепости породы;

$D$  – диаметр долота, м;

$P_{oc}$  – осевое усилие прижатия шарошки к забою, Н;

$\mu_1$  – коэффициент трения металла шарошки о породу ( $\mu_1 = 0,25 \dots 1$ );

$K_3$  — коэффициент затупления зуба ( $K_3 = 1 \dots 1,3$  — большее значение для пород более высокой крепости и абразивности).



# Теоретическая скорость бурения $v$ , м/час

## Вращательное бурение резцовыми долотами

$$v = 3600 \cdot Z \cdot h \cdot n_{\text{вр}},$$

где  $Z$  – число перьев на резцовом долоте;

$h$  – толщина стружки, м;

$n_{\text{вр}}$  – предельная частота вращения долота,  $\text{с}^{-1}$ .



# Техническая скорость бурения $V_T$ (м/ч)

(эмпирические зависимости)

## Вращательное бурение шарошечными долотами

$$V_T = \frac{400 \cdot P_{ос} \cdot n_{вр}}{D^2 \cdot \sigma_{м.б.}},$$

где  $P_{ос}$  - осевая нагрузка, МН;

$n_{вр}$  - частота вращения долота,  $c^{-1}$ ;

$D$  – диаметр долота, м;

$\sigma_{м.б.}$  - предел прочности породы при механическом бурении,

МПа.



# Техническая скорость бурения $V_T$ (м/ч)

(эмпирические зависимости)

## Вращательное бурение резцовыми долотами

$$V_T = \frac{P_{oc} \cdot n_{вр}}{2 \cdot \sigma_{м.б.}^2 \cdot D^2},$$

где  $P_{oc}$  - осевая нагрузка, МН;

$n_{вр}$  - частота вращения долота,  $c^{-1}$ ;

$D$  – диаметр долота, м;

$\sigma_{м.б.}$  - предел прочности породы при механическом бурении, МПа.



# Техническая скорость бурения $V_T$ (м/ч)

(эмпирические зависимости)

## Ударно-вращательное бурение погружными пневмоударниками

$$V_T = \frac{Z \cdot A}{\sigma_{\text{м.б.}} \cdot d^2 \cdot K_{\phi}} = \frac{Z \cdot P_y \cdot h}{\sigma_{\text{м.б.}} \cdot d^2 \cdot K_{\phi}},$$

где  $A$  – энергия единичного удара, Дж;

$Z$  – частота ударов пневмоударника,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$d$  – диаметр долота, м;

$P_y$  – ударная нагрузка, кН;

$h$  – глубина внедрения зуба долота, м;

$K_{\phi}$  – коэффициент, учитывающий форму бурового долота (для штыревых  $K_{\phi} = 1,15$ ; для крестовых —  $1,2$ ; для трехперых долот —  $1,25$ ).

$\sigma_{\text{м.б.}}$  – предел прочности породы при механическом бурении, МПа.

