



Кузбасский государственный  
технический университет  
имени Т. Ф. Горбачёва



Горный  
институт

**А. А. Хорешок А. М. Цехин А. Ю. Борисов**

---

# БУРОВЫЕ СТАНКИ И БУРЕНИЕ СКВАЖИН



Кемерово 2014

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
“Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева”

А. А. ХОРЕШОК А. М. ЦЕХИН А. Ю. БОРИСОВ

# **БУРОВЫЕ СТАНКИ И БУРЕНИЕ СКВАЖИН**

## **УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации  
по образованию в области горного дела в качестве учебного пособия  
для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки (специальности)  
«Горное дело» (специализация «Горные машины и оборудование»)

Кемерово 2014

УДК 622.24:622.143 (075.8)

Рецензенты:

Заведующий лабораторией угольной геотехники ИУ СО РАН доктор технических наук В. В. Аксенов

Кафедра «Горно-шахтное оборудование» Юргинского технологического института (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета (зав. кафедрой кандидат технических наук А. А. Казанцев)

Хорешок А. А.

**Буровые станки и бурение скважин** : учеб. пособие / А. А. Хорешок, А. М. Цехин, А. Ю. Борисов ; Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2014. – 140 с.

ISBN 978-5-89070-964-6

Рассматриваются процессы сооружения скважин, свойства горных пород, влияющие на этот процесс, технологические аспекты сооружения скважин, а также применяемое буровое оборудование и инструмент.

Учебное пособие подготовлено по дисциплине «Горные машины и комплексы» для специальности 130400.65 «Горное дело» (специализация 130409.65 «Горные машины и оборудование») и по дисциплине «Горные машины и оборудование» для специальности 130101.65 «Прикладная геология» (специализация «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых»).

УДК 622.24:622.143 (075.8)

© Хорешок А. А., Цехин А. М.,  
Борисов А. Ю., 2014

ISBN 978-5-89070-964-6

© Кузбасский государственный  
технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева, 2014

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Объемы потребления минерального сырья возрастают, что предопределяет увеличение объемов геологоразведочных работ, планомерное, экономически эффективное обеспечение промышленности разведанными запасами. Первостепенная задача геологоразведки – открытие новых месторождений, определение качества и запасов полезного ископаемого, оценка геологических условий его залегания. При проведении этих работ изучают закономерности размещения полезных ископаемых, условия их образования, особенности строения, вещественный состав, дают геолого-экономическую оценку месторождения и производят его подготовку к промышленному освоению. По результатам геологоразведочных работ производят подсчет, утверждают запасы полезных ископаемых и дают их прогнозную оценку. В комплексе геологоразведочных работ бурение скважин составляет, по разным источникам, от 30 до 50 % затрат геологических изысканий. Разведочное бурение в этом плане является ведущим как по объемам, так и по материальным затратам. В этой связи совершенствование технологических процессов, буровых станков и бурового инструмента имеет первостепенное значение.

Необходимость издания настоящего учебного пособия продиктована отсутствием новых учебников, учебных пособий с компактной информацией по приведенным в его разделах вопросам. Материалы пособия систематизируют большой объем этой информации, снабжены иллюстративным материалом и изложены достаточно логично, доступно. Оно предназначено для подготовки к экзаменам, выполнения курсовых и дипломных проектов студентами вузов, обучающихся по специальности 130400.65 «Горное дело» и специальности 130101.65 «Прикладная геология».



# 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ПРОЦЕССАХ СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИН, СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

## 1.1. Буровая скважина и ее элементы

Буровой скважиной (рис. 1.1) называют пустотелую цилиндрическую полость большой протяженности, сооружаемую в горных породах. При этом диаметр  $D$ , поперечное сечение скважины, значительно меньше ее протяженности  $L$  [1].

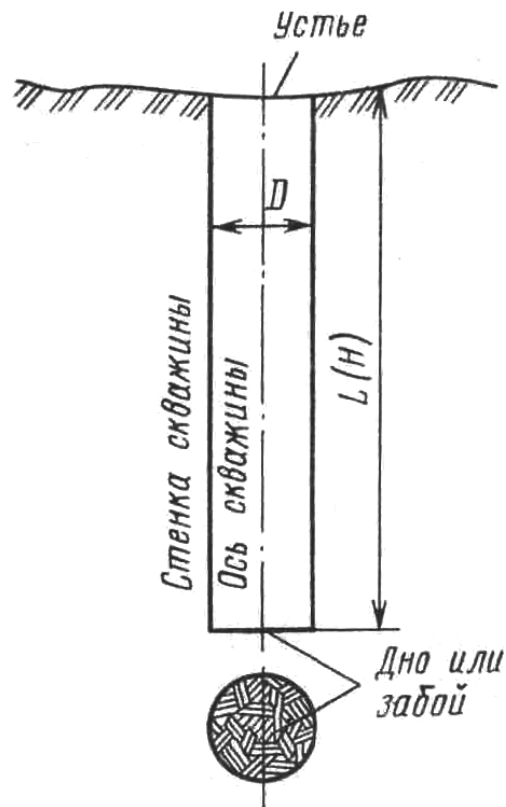


Рис. 1.1. Скважина и ее элементы

Боковая поверхность этой полости называется стенкой, начало скважины – устьем, а дно – забоем. Ствол скважины имеет ось, которая представляет собой воображаемую линию, проходящую через центры поперечных сечений ствола. Проекция оси на вертикальную плоскость называется профилем, а на горизонтальную плоскость – планом скважины (рис. 1.2). Расстояние между устьем и забоем скважины характеризует ее глубину  $H$  или длину ствола  $L$ . Поперечные размеры скважины определяются диаметром ствола  $D$ . Как показывает опыт бурения геологоразведочных скважин, их глубина может быть от нескольких метров до нескольких километров. Диаметры скважин могут быть от 26–36 мм до 1 м и более.

Положение ствола скважины в пространстве характеризуется углами наклона ее оси  $\eta$ , а также зенитным  $\theta$  и азимутальным  $\alpha$  углами

(рис. 1.2). По этим параметрам скважины могут быть: вертикальные, расположенные под углом  $\eta = 90^\circ$  к горизонту; наклонные, расположенные под углом  $0 < \eta < 90^\circ$ ; горизонтальные, когда  $\eta = 0^\circ$ . Устья скважины могут располагаться как на земной поверхности, так и в подземных выработках. В последнем случае они называются подземными (рис. 1.3). В этом случае вертикальные или наклонные скважины направлены вверх от линии горизонта, поэтому они называются восстающими. Условно угол наклона таких скважин принимается со знаком минус ( $-\eta$ ).

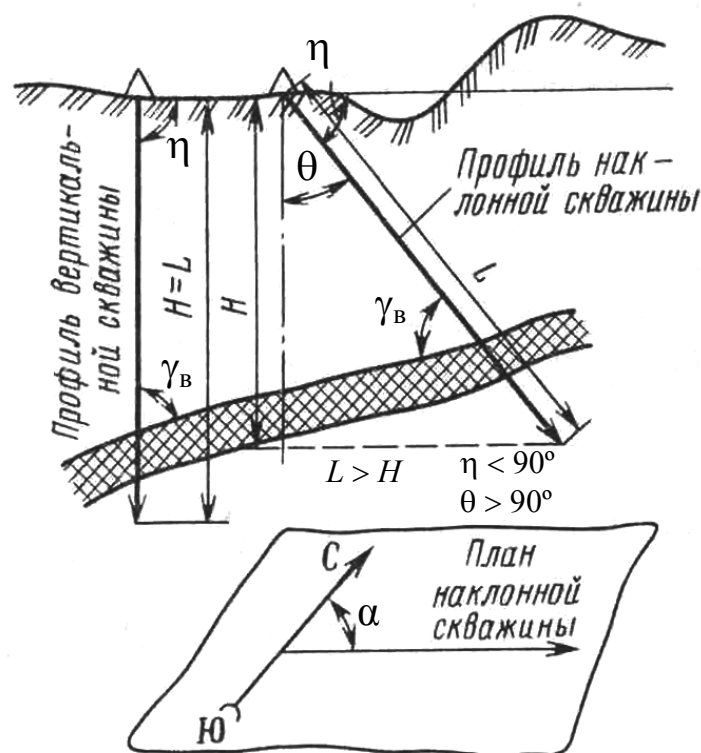


Рис. 1.2. Схема пространственного положения скважин, сооружаемых с поверхности земли

При бурении скважин большой протяженности их стволы часто не остаются прямолинейными, а приобретают криволинейную форму (рис. 1.4). Ось таких скважин имеет вид кривой линии, изогнутой в одной плоскости или в пространстве. Ось искривленной скважины принято называть траекторией или трассой скважины. Процесс изменения пространственного положения скважин носит название – искривление. Иногда в геологоразведочном бурении существует необходимость в искривлении скважин в желаемом направлении. Такой вид бурения называется *направленным*.

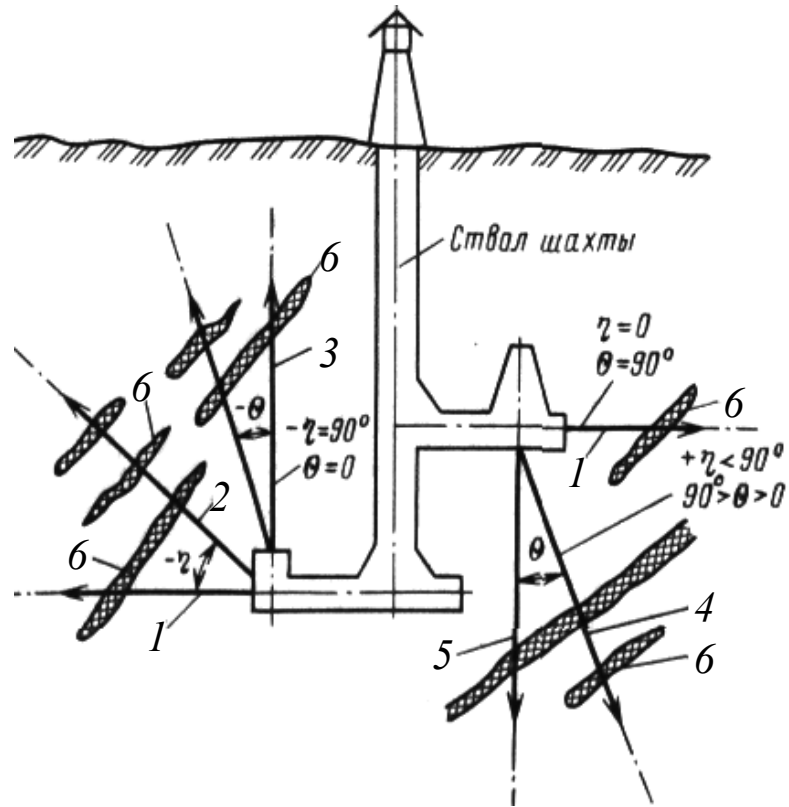


Рис. 1.3. Схема пространственного положения скважин, сооружаемых из подземных выработок: 1 – горизонтальная; 2 – наклонная восходящая; 3 – вертикальная восходящая (восстающая); 4 – наклонная нисходящая; 5 – вертикальная (нисходящая); 6 – рудные тела

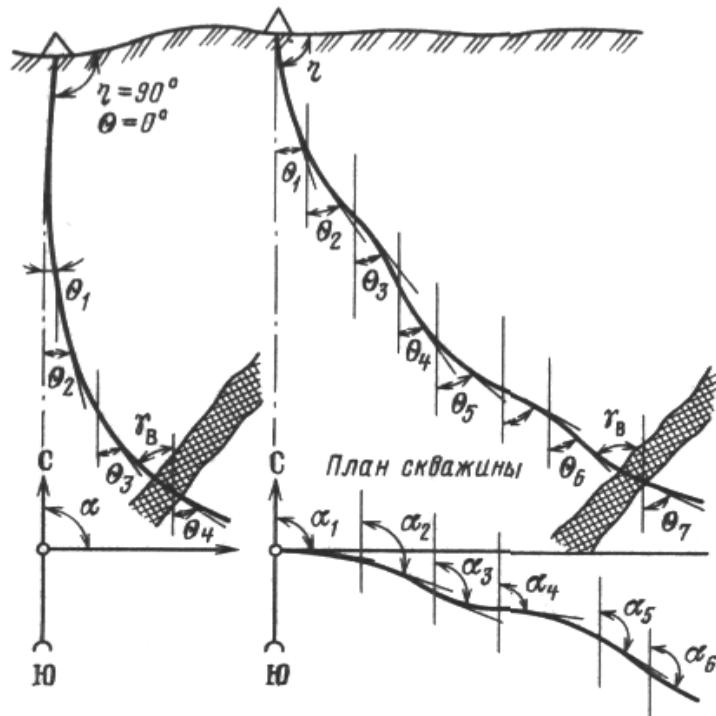


Рис. 1.4. Проекция оси искривляющихся скважин на вертикальную и горизонтальную плоскости с начальным углом наклона:  $\eta = 90^\circ$ ;  $\eta < 90^\circ$

В зависимости от пространственного положения ствола скважины глубина расположения ее забоя по вертикали  $H$  может существенно отличаться от длины ствола  $L$  по его оси. Если для вертикальных скважин  $H = L$ , то для наклонных и тем более для искривленных глубина  $H$  всегда меньше длины ствола  $L$ .

*Сооружение скважин* – сложный процесс, при котором выполняется ряд операций с использованием горных машин, получивших название *буровая установка* (рис. 1.5) [2].



Рис. 1.5. Буровая установка CHRISTENSEN (CS)

В процессе бурения скважин буровой установкой выполняются операции, связанные с разрушением породы на забое. При этом применяются два варианта бурения геологоразведочных скважин: бескерновое бурение (рис. 1.6, *а*) и колонковое (керновое) бурение (рис. 1.6, *б*). Собственно бурение скважин заключается в разрушении породы на забое и удалении продуктов разрушения, в результате чего формируется ствол скважины. Этот процесс сопровождается закреплением стенок ствола и выполнением спускоподъемных и других вспомогательных операций, без которых нельзя углубить ствол скважины. Как видно на рис. 1.6, *в*, по мере увеличения длины скважины ее диаметр уменьшается с  $D_1$  до  $D_3$ , что связано с необходимостью крепления скважины [3].

На рис. 1.7 представлены типовые конструкции инженерно-геологических скважин малого диаметра. Конструкции скважин I, II и III типов зависят от ее глубины: 7–10 м; 10–30 м и 50 м [4].

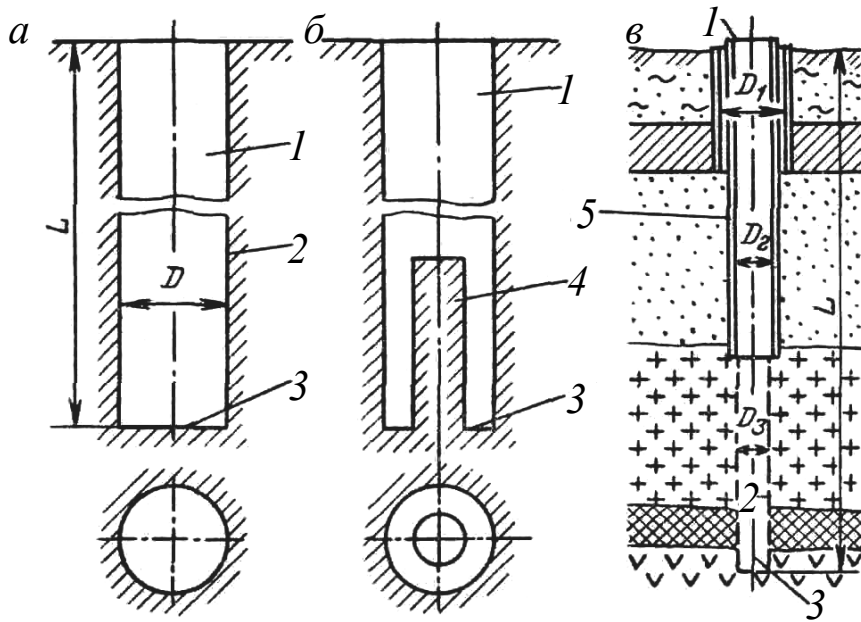


Рис. 1.6. Элементы буровой скважины: *а* – при бескерновом бурении; *б* – при колонковом бурении; *в* – элементы скважины; 1 – устье; 2 – стенки; 3 – забой; 4 – керн; 5 – стенки скважины, закрепленные обсадными трубами; *L* – длина скважины; *D*, *D*<sub>1</sub>, *D*<sub>2</sub>, *D*<sub>3</sub> – диаметры ствола скважины

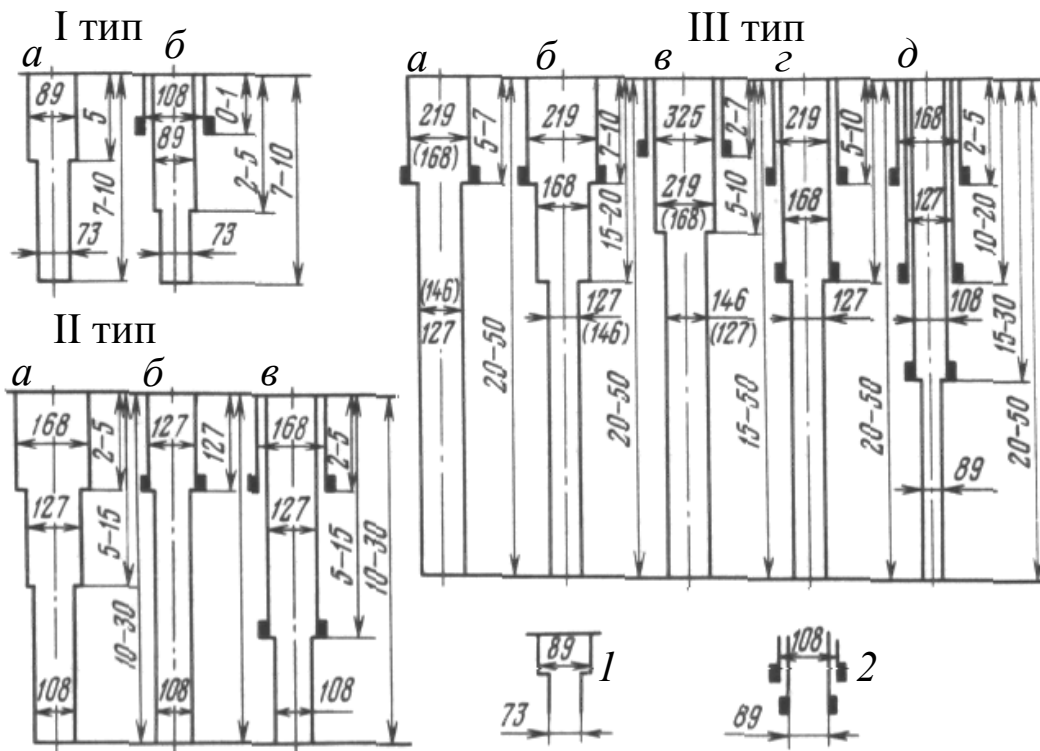


Рис. 1.7. Типовые конструкции инженерно-геологических скважин малого диаметра: *а*, *б*, *в*, *г*, *д* – группы скважин; 1 – скважины или части скважин, бурение которых осуществляется без крепления обсадными трубами; 2 – то же, с креплением обсадными трубами

Как видно из рисунка, скважины могут проводиться без крепления и с креплением обсадными трубами.

Таким образом, все выполняемые при сооружении скважин работы можно разделить на основные, связанные с формированием ствола, вспомогательные и специальные. К основным видам относятся работы, связанные с процессом бурения и закрепления стенок скважин.

При бурении скважин большой протяженности необходимо сооружать *буровой комплекс*, включающий: буровую вышку, буровое здание, подсобные и бытовые помещения.

## **1.2. Физико-механические свойства грунтов**

В широком смысле под грунтом понимается рыхлая горная порода, которую отличает от скальных крепких пород раздробленность и дисперсность. В состав грунтов входят три группы элементов: твердые минеральные частицы, органоминеральные соединения, вода и газообразные включения. То есть грунт представляет собой трехкомпонентную систему, свойства которой зависят от ее состава, происхождения и других факторов. Твердые минеральные частицы грунтов представляют собой разнообразные по форме, размеру и составу зерна частицы. По их крупности грунты распределяются следующим образом: I – высокодисперсные глинистые, содержащие свыше 50 % глинистых частиц размером 0,001–0,005 мм; II – переходные от глинистых к пылеватым с размером частиц 0,005–0,01 мм; III – пылеватые, содержащие более 50 % частиц размером 0,01–0,05 мм; IV – песчаные, содержащие более 50 % частиц и зерен песка размером 0,05–2,0 мм [4]. Вода в грунте может находиться в свободном или связном состояниях. Связная вода представляет собой тонкие пленки, которыми окружены минеральные частицы грунта. Грунты классифицируются на искусственные (намывные, насыпные), осадочные нескальные (песчаные), осадочные полускальные, а также скальные (магматические, метаморфические, осадочные). Магматические скальные породы включают гранит, диорит, сиенит, габбро, липарит, андезит, трахит и базальт. К метаморфическим скальным породам относятся гнейс, кварцит, филлит, глинистый сланец, роговик, скарн, мрамор, милонит. Осадочные скальные породы представлены доломитом, известняком, а осадочные полускальные грунты – мергелем, мелом, диатомитом, песчаником, алевролитом, аргиллитом.

### 1.2.1. Физические свойства грунтов

К физическим свойствам грунтов относятся: плотность  $\gamma$ , влажность  $W$ . Плотностью грунта называют массу единицы его объема. Влажностью грунта – отношение массы воды к массе высушенного грунта.

Плотность грунта изменяется в широких пределах:  $(0,5–3,0) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Для песков она равна  $(1,3–2,65) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, для глин –  $(1,2–2,78) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, для песчаников –  $(2,0–2,9) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, для алевролитов –  $(1,8–2,8) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, для аргиллитов –  $(1,7–2,9) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, для мраморов –  $(1,8–2,8) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, для известняков –  $(1,8–2,9) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Влажность грунтов изменяется в пределах от 0 до 3,0 [4].

### 1.2.2. Механические свойства нескальных грунтов

К механическим свойствам грунтов относят: удельное сцепление  $C_n$ , угол внутреннего трения  $\varphi_n$ , модуль деформации  $E$ .

Удельное сцепление для твердого грунта  $C_n \cdot 10^5 = 1$  Па, для полутвердого – 0,6 Па, для мягкопластичного – 0,2 Па, для текучепластичного – 0,1 Па, а для текучего грунта – 0,05 Па. Суглинки имеют удельное сопротивление  $C_n \cdot 10^5 = (0,12–0,47)$  Па, а глины –  $C_n \cdot 10^5 = (0,29–0,81)$  Па. Угол внутреннего трения  $\varphi_n$  для суглинистых и глинистых грунтов составляет 6–26°. Меньшее значение для текучего, а большее для твердого состояний грунтов. Модуль деформации для суглинистых и глинистых грунтов  $E \cdot 10^5 = 50–340$  Па.

### 1.2.3. Механические свойства скальных грунтов

Скорость бурения разведочных скважин в этих грунтах зависит от механических свойств пород: упругие свойства, временное сопротивление сжатию, твердость, абразивность, пластичность, хрупкость, трещиноватость и др.

Упругость – основное механическое свойство горных пород, характеризующее способность грунта сопротивляться изменению его формы и объема под действием сил, вызвавших его деформацию. К механическим свойствам этих грунтов относятся: модуль упругости Юнга  $E$ , коэффициент Пуассона  $\mu$ , константа Ляме  $\lambda$ , модуль сдвига  $G$ , предел прочности пород на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}$ .

Значения модуля упругости первого рода  $E \cdot 10^{10}$ , Па для некоторых метаморфических, осадочных пород приведены ниже. Кварцит –



(7,5–10); базальт – 9,7; мрамор – (3,9–9,2); известняк – (1,3–8,5); песчаник – (7,3–7,8); гранит – (6–9,42) [4].

Данные по параметру коэффициент Пуассона выглядят следующим образом. Песчаник – 0,33; кварцитопесчаник – 0,1; мрамор – (0,34–0,4); известняк – (0,19–0,33); уголь (0,14–0,16).

Существенное влияние на разрушаемость горных пород при бурении оказывает такой показатель, как сопротивляемость сжатию. Для кварцита  $\sigma_{сж} \cdot 10^5 = (2940–4900)$  Па, для гранита – (2940–4900) Па, для известняка (1000–2000) Па, для песчаника (2000) Па, для мрамора (980) Па.

Важным показателем грунтов является «буримость». Это комплексная характеристика, зависящая от твердости, абразивности, трещиноватости, плотности, влажности, сцепления, угла внутреннего трения, применяемого инструмента и других факторов. В качестве количественного показателя «буримости» применяют механическую скорость бурения. *Буримостью горных пород называется скорость продвижения забоя скважины за время чистого бурения.* В соответствии с буримостью все грунты подразделяются на группы (табл. 1.1–1.3) [4].

Таблица 1.1

Классификация горных пород по буримости  
для шнекового бурения

Категория горных пород	Породы	Время чистого бурения 1 м, мин
I	Растительный слой с небольшой примесью гравия до 10 %. Иловатые породы. Песок. Суглинок	0,8
II	Песчано-глинистые породы с примесью гравия до 10 %. Глины пластичные. Пески средней плотности	1,5
III	Песчано-глинистые породы с примесью гравия, щебня от 10 до 30 %. Полутвердые глины, суглинки, супеси. Мел слабый. Сухие пески. Уголь бурый	2,0
IV	Песчано-глинистые породы с примесью гравия, щебня более 30 %. Твердые глины, суглинки, супеси. Гипс. Уголь каменный. Соль каменная. Известняк-ракушечник. Мерзлый песок, суглинок	4,1
V	Весьма твердые мерзлые глины. Песчаник. Лед	7,2
VI	Мерзлые галечники с глинистыми или песчаными заполнителями. Твердые глины с включениями доломитов	12,7

Классификация горных пород по буримости  
для вращательного бурения скважин

Категория горных пород	Породы	Норма углубления за 1 ч при глубине, м	
		до 300	300– 600
I	Растительный слой. Рыхлые породы. Суглинок. Глины текучие	22,70	15,20
II	Супеси, суглинки с примесью гальки, щебня до 20 %. Глины тугопластичные. Мел твердый. Каменная соль	10,80	7,25
III	Песчано-глинистые породы с примесью гальки и щебня свыше 20 %. Полутвердые глины, суглинки, супеси. Мел слабый. Сухие пески. Уголь каменный слабый. Бурый уголь. Известняк-ракушечник. Алевролиты слабосцементированные. Марганцевая руда	5,70	3,80
IV	Мерзлые пески. Алевролиты плотные. Глины твердые. Песчаники глинистые. Каменная соль. Каменный уголь средней твердости. Бурый уголь крепкий. Сланцы глинистые	3,35	2,40
V	Галечник, связанный глинистым материалом. Мерзлый песок. Алевролиты. Аргиллиты. Глины аргиллитоподобные. Известняки. Мрамор. Доломиты. Сланцы	2,25	1,6
VI	Глины твердые, мерзлые. Песчаники кварцево-известковистые. Алевролиты с включениями кварца. Известняки плотные. Доломиты плотные. Сланцы глинистые и кварцево-хлористые. Апатиты	1,50	1,10
VII	Галечник. Щебень. Песчаник кварцевый. Доломит очень плотный. Сланцы слабокремневые. Граниты, сиениты, габбро изверженные породы	1,15	0,85
VIII	Доломиты окварцованные. Окремененные известняки. Окремененные сланцы. Базальты, диабазы. Кварциты. Бокситы. Известняки окремененные. Сланцы кремнистые	0,70	0,55
IX	Кварциты магнетитовые. Кварцы со значительным содержанием колчедана	0,42	0,35
X	Песчаники кварцевые. Кварциты зернистые. Мелкозернистые граниты. Магнетитовые и мартитовые руды. Кварц жильный. Диабазы. Андезиты. Базальты нефелиновые	0,25	0,21
XI	Сланцы кремнистые яшмовидные. Кварциты. Корундовые породы. Не затронутые выветриванием диабазы, базальты	0,17	0,14
XII	Не затронутые выветриванием кварциты, корундовые породы	0,05	0,05

Таблица 1.3

Классификация горных пород по буримости  
для ударно-вибрационного бурения скважин глубиной 4–20 м

Категория горных пород	Породы	Время чистого бурения 1 м, мин
I	Почвенный слой, чернозем, торф	0,4–1,6
II	Растительный слой с небольшой примесью гравия до 10 %. Глины пластичные. Пески средней плотности	0,6–2,4
III	Полутвердые глины, суглинки, супеси с примесью гравия, щебня от 10 до 20 %. Мел средней плотности	0,9–3,6
IV	Песчано-глинистые пластичные породы с примесью гравия, щебня от 20 до 35 %. Твердые суглинки, супеси. Слабые аргиллиты. Пористый известняк-ракушечник. Твердый мел. Мягкий каменный уголь. Мерзлые глины, суглинки, супеси	1,8–7,2

На показатель «буримость» существенное влияние оказывает анизотропность горных пород [1]. *Под анизотропностью понимается способность твердых тел иметь разные свойства в зависимости от направления.* Это объясняется, прежде всего, кристаллическим строением породообразующих минералов, у которых степень проявления свойств в разных направлениях кристаллографической решетки различна. Ориентированное расположение таких минералов определяет анизотропность и самих пород.

Анизотропность сильнее проявляется у пород, сложенных минералами, имеющими вытянутую игольчатую, пластинчатую или чешуйчатую форму и располагающихся в параллельных плоскостях. Породы такого рода обладают способностью более легко разрушаться вдоль слоев с ориентированным расположением минеральных зерен. В отдельных случаях плоскости анизотропии могут не совпадать с плоскостями напластования породы.

Следует отметить, что анизотропность свойств может проявляться не только у слоистых пород, но и у пород с явно выраженной ориентированной системой трещин. Трещины при этом могут быть представлены как слои, имеющие нулевую твердость. Анизотропность горных пород оценивается признаками: линейностью, сланцеватостью, отдельностью, трещиноватостью.

Наиболее объективный метод оценки анизотропности пород – определение их механических свойств в разных направлениях (модуль упругости, сопротивление породы разрушению, прочность, твердость и т. д.). Широко используются неразрушающие методы определения анизотропии горных пород (ультразвуковой, электрический, термический). Показателем анизотропии во всех методах является соотношение получаемых величин в двух направлениях: в плоскостях, параллельных плоскости, в которой ориентированы минеральные образования; в плоскостях, перпендикулярных к ним. Показатель анизотропии при этом определяется из выражения

$$A = C_{\perp} / C_{\parallel}, \quad (1.1)$$

где  $C_{\perp}$  и  $C_{\parallel}$  – показатели свойства, определяемого в перпендикулярной и параллельной плоскостях. В табл. 1.4 приведены данные определения показателя анизотропии горных пород рудного поля различными методами (по В. Д. Ларионову) [1].

Таблица 1.4

Показатели анизотропии горных пород

Горная порода	Показатель анизотропии		
	по твердости	по теплопроводности	по распространению упругих волн
Алевролит	1,22	1,25	1,16
Алевролит углисто-глинистый	1,17	1,19	1,15
Туф кислого состава	1,35	1,39	1,30
Туф смешанного состава	1,22	1,22	1,25
Туффит кислого состава	1,43	1,23	1,69
Туффит смешанного состава	1,44	1,42	1,48
Альбитофир	1,06	1,00	1,04
Диабаз	1,05	1,00	1,12
Габбро-диабаз	1,09	1,08	1,06
Серицит-кварцевая порода	1,35	1,34	1,36
Серицит-кварцевый сланец	1,26	1,24	1,26

Наиболее ярко анизотропность свойств выражена в слоистых, сланцеватых породах, что видно визуально. Анизотропность горных пород применительно к процессу бурения скважин наиболее показательно определяется по двум механическим скоростям бурения  $v_{\perp}$  и  $v_{\parallel}$ .

При этом установлено, что скорость бурения в направлении, перпендикулярном к плоскостям делимости, отдельности или сланцеватости пород  $v_{\perp}$  выше, чем в направлении, параллельном им  $v_{\parallel}$ . Количественный показатель анизотропии определится из выражения

$$A = v_{\perp} / v_{\parallel}. \quad (1.2)$$

Аналогичным образом показатель анизотропии может быть найден по минимальной  $v_{\min}$  и максимальной  $v_{\max}$  скоростям бурения:

$$A = v_{\max} / v_{\min}. \quad (1.3)$$

Величины  $v_{\max}$  и  $v_{\min}$  являются векторами, по значениям которых можно построить векторную диаграмму, имеющую форму близкую к эллипсу с короткой  $v_{\min}$  и длинной  $v_{\max}$  осями (рис. 1.8) [1]. Эти плоскости носят название главных плоскостей анизотропии породы. При равенстве значений  $v$  во всех направлениях векторная диаграмма приобретает форму круга с радиусом, равным  $v_{\min}$ . Эта плоскость является *главной плоскостью изотропии*. В этом плане все породы делятся на три группы: транстропные, ортотропные и изотропные.

*Транстропные* породы имеют в одной главной плоскости одинаковые значения показателя свойства во всех направлениях, а в двух других разные (рис. 1.8, а).

У *ортотропных* пород показатели свойства отличаются во всех трех главных плоскостях, как показано на рис. 1.8, б.

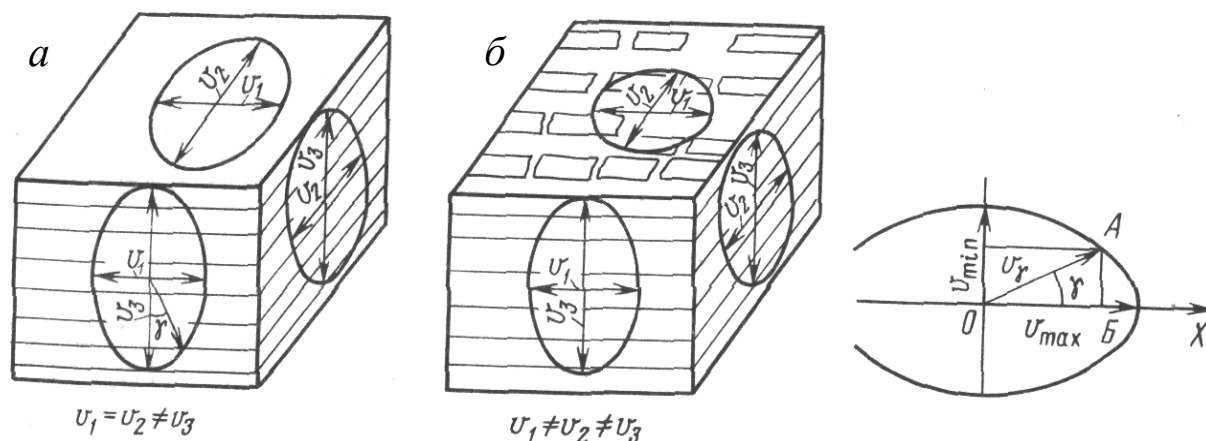


Рис. 1.8. Схемы расположения главных плоскостей анизотропии горной породы

*Изотропные* породы имеют одинаковый показатель свойства в любом направлении во всех трех плоскостях.

В общем случае породы имеют две главные плоскости анизотропии и одну плоскость изотропии (как показано на рис. 1.8, *а*). Учитывая, что для анизотропных пород  $v_{\perp} > v_{\parallel}$ , показатель анизотропности  $A$  будет всегда больше единицы, а для изотропных при  $v_{\perp} = v_{\parallel}$  он равен единице.

Таким образом, максимальное сопротивление пород разрушению будет в направлении, параллельном плоскостям делимости, при  $\gamma = 90^{\circ}$ , а минимальное – в направлении, перпендикулярном к этим плоскостям. Это направление называется *линией наименьшего сопротивления (ЛНС) породы разрушению*.

Как показывают исследования, опыт эксплуатации геолого-разведочных бурильных машин «буримость» всегда выше в направлении, перпендикулярном к плоскостям слоистости, отдельности или делимости. Это следует учитывать при заложении скважин в разрезах, сложенных анизотропными (слоистыми) породами, так как от этого будет зависеть скорость бурения и соответственно производительность труда.

Анизотропность горных пород вызывает искривление скважин в определенном направлении, что обусловлено различной сопротивляемостью горной породы разрушению в зависимости от расположения оси скважины относительно векторов, характеризующих экстремальные значения определяемого свойства горных пород.

Величина искривления определяется углом встречи оси скважины с вектором, имеющим максимальную или минимальную величину. У анизотропных пород, как отмечалось ранее, положение этих векторов определяется их структурно-текстурными признаками: делимостью, линейностью, сланцеватостью, формой и расположением породообразующих минералов.

От анизотропности пород в значительной степени зависит механизм разрушения горных пород при бурении, процесс взаимодействия породоразрушающего инструмента с забоем скважины. Как видно из рис. 1.9, плоскости делимости (наклонные линии) могут быть направлены встречно направлению движения инструмента или попутно [1]. В первом случае (рис. 1.9, *а*) объем разрушения оказывается больше, чем во втором (рис. 1.9, *б*). В случае движения резца вдоль плоскостей делимости (рис. 1.9, *в, г*) порода будет разрушаться-

ся асимметрично, в сторону, противоположную наклону этих плоскостей.

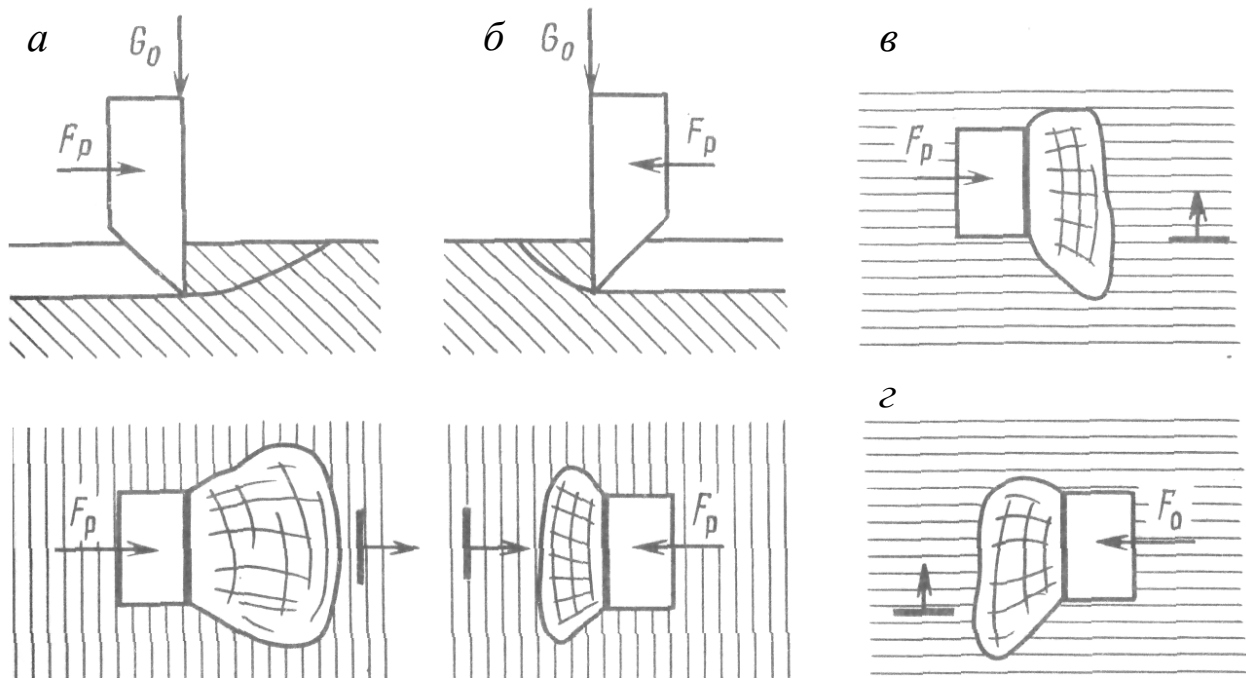


Рис. 1.9. Схемы разрушения анизотропной породы при внедрении резца

Это вызывает отклонение породоразрушающего инструмента.

### 1.3. Физико-технические свойства горных пород, влияющие на процессы бурения скважин

#### 1.3.1. Классификация физических свойств горных пород

На формирование ствола скважины, керна влияют физические свойства горных пород, которые имеют сложный состав и строение.

Физические свойства подразделяются на группы: структурные, технические, механические, акустические, термические, электрические, магнитные, радиоактивные, водно-коллоидные [1]. К структурным относятся линейность, слоистость, отдельность, кливаж, трещиноватость, пористость, раздробленность, сланцеватость и др. К техническим – плотность, удельный вес, влажность, мерзлотность и др. Механическими свойствами являются упругость, хрупкость, пластичность, текучесть, прочность, абразивность, разрушаемость, разрыхляемость, сыпучесть, устойчивость и др. Акустические свойства проявляются при передаче упругих колебаний, поглощении упругих волн. Эти процессы оцениваются параметром – волновое сопротивление.



К термическим свойствам относятся теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость, температура плавления и др.

Электрические, магнитные и радиоактивные свойства горных пород проявляются при воздействии на них электрического, магнитного или радиоактивного полей и оцениваются такими параметрами, как: электропроводность, электрическая прочность, диамагнетизм, парамагнетизм, поглощающая и рассеивающая способности. К водно-коллоидным свойствам относятся: смачиваемость, влагоемкость, водопоглощение, водонасыщенность, водопроницаемость, водоотдача, набухаемость, размокаемость, плавучесть, растворимость и т. д.

Структурные и технические свойства пород связаны с геологическими процессами и широко используются при геологических исследованиях. Остальные описанные выше свойства зависят от условий взаимодействия физических полей или среды с породой. Механические свойства определяют, прежде всего, эффективность процесса взаимодействия бурового инструмента с породой забоя, а такое свойство, как устойчивость, – способность стенки скважины не обрушаться, необходимость в креплении ствола скважины.

В процессе бурения разведочной скважины необходимо решить две противоположные задачи: с одной стороны, необходимо обеспечить рациональные параметры процесса разрушения породы забоя скважины, а с другой – сформировать ствол скважины, получить неразрушенные образцы пород, керны. Эффективность процесса разрушения забоя скважины определяется такими механическими свойствами, как: упругость, пластичность, прочность, твердость, абразивность породы. В свою очередь, такое свойство, как устойчивость, определяет способность породной стенки скважины не разрушаться, а кернов не разрушаться в колонковой трубе. При слабой устойчивости пород потребуются крепление стенки скважины обсадной трубой.

### **1.3.2. Устойчивость горной породы**

В процессе бурения скважины на устойчивость ее стенки влияют следующие факторы [1]:

1) обнажение массива, при котором нарушается равновесие сил горного давления в прилегающей к стволу скважины зоне;

- 2) действие на стенку скважины и керн механических нагрузок, возникающих при вращении, спуске, подъеме бурильных труб;  
 3) действие промывочных жидкостей на породы в стенке скважины и на керн.

Устойчивостью горной породы является ее способность не обрушаться при обнажении и не разрушаться под действием различных факторов. Известно, что горные породы в массиве находятся в сложно-напряженном состоянии под действием горного, пластового и бокового давлений.

Горное давление  $p_{\Gamma}$  определяется весом толщи вышележащих пород:

$$p_{\Gamma} = \gamma_{\Pi} H, \quad (1.4)$$

где  $\gamma_{\Pi}$  – удельный вес пород;  $H$  – мощность толщи пород.

Пластовое давление  $p_{\Pi}$  определяется давлением жидкости (или газа), заключенной в порах пласта:

$$p_{\Gamma} = \gamma_{\text{ж}} L_{\Pi}, \quad (1.5)$$

где  $\gamma_{\text{ж}}$  – удельный вес жидкости, заключенной в порах пласта;  $L_{\Pi}$  – пьезометрическая высота пласта:

$$L_{\Pi} = L + (A_{\Pi} - A_{\text{yc}}), \quad (1.6)$$

где  $L_{\Pi}$  – глубина залегания пласта;  $A_{\Pi}$  – альтитуда пьезометрического уровня пласта;  $A_{\text{yc}}$  – альтитуда устья скважины, т. е. высота над уровнем моря.

Кроме того, на породу действует еще и боковое давление

$$p_{\text{бд}} = \lambda p_{\Gamma}, \quad (1.7)$$

где  $\lambda$  – коэффициент бокового распора.

По данным Л. А. Шрейнера,  $\lambda$  для скальных пород практически близки к единице, для глинистых пород  $\lambda = 0,75-0,8$ , а для песков  $\lambda = 0,35-0,41$ . Этот коэффициент может быть также определен из выражения

$$\lambda = 1 - 1,39 \operatorname{tg} \varphi - 1,52 C / p_{\text{бд}}, \quad (1.8)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент внутреннего трения;  $C$  – сила сцепления частиц, слагающих породу.

Под действием этих давлений горная порода в массиве находится в состоянии равновесия. При бурении скважины породы обнажаются и это равновесие нарушается, в результате чего напряжения перераспределяются, достигая вокруг ствола скважины максимальных значений. Действительно, на элемент объема породы, расположенный в горном массиве на глубине  $H$  от поверхности земли, будут действовать вертикальная  $P_z$  и горизонтальные силы  $P_x = P_y$  (рис. 1.10, а) [1].

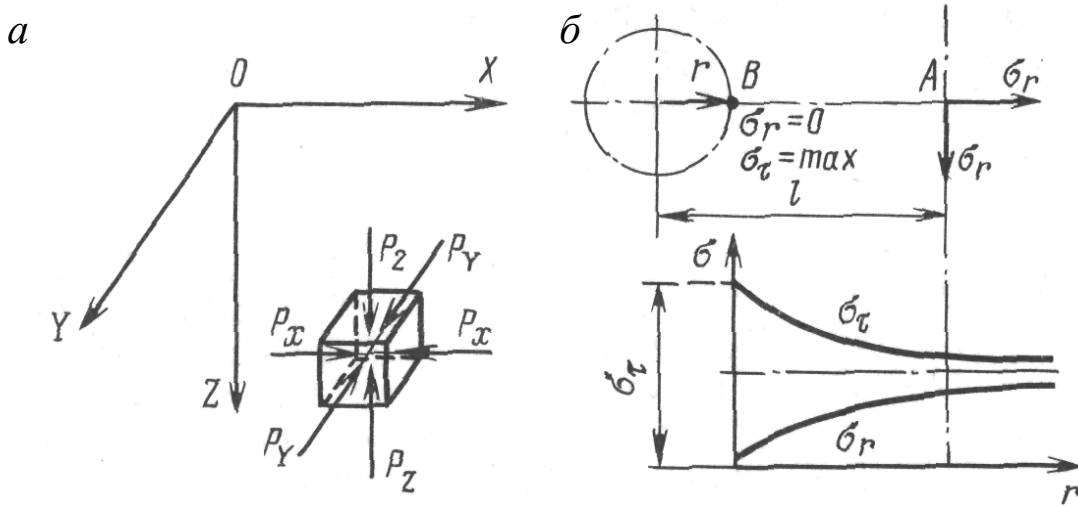


Рис. 1.10. Схемы к расчету устойчивости горных пород в стенках скважины

Вертикальная сила определяется весом толщи вышележащих горных пород

$$P_z = S \gamma_{\text{п}} H, \quad (1.9)$$

где  $S$  – площадь грани выделенного элемента (кубика со стороной, равной единице);  $\gamma_{\text{п}}$  – удельный вес породы;  $H$  – глубина залегания породы.

При отсутствии бокового расширения в объеме кубика горизонтальные силы препятствуют развитию поперечных деформаций. В случае одноосного сжатия продольная деформация кубика

$$\varepsilon = P_z/E, \quad (1.10)$$

где  $E$  – модуль упругости породы при одноосном сжатии.

В плоскости  $XOZ$  в этом случае возникает поперечная деформация

$$\varepsilon_1 = \mu \varepsilon = \mu P_z/E, \quad (1.11)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

При действии только одной горизонтальной силы  $P_y$  по оси  $Y$  возникает поперечная деформация в плоскости  $XOZ$ :

$$\varepsilon_x = \mu P_y/E. \quad (1.12)$$

Аналогично, при действии горизонтальной силы  $P_x$  только по оси  $X$  поперечная деформация в плоскости  $XOZ$  равна

$$\varepsilon_x = P_x/E. \quad (1.13)$$

В ненарушенном массиве при всестороннем сжатии никаких смещений породы не происходит, поэтому сумма всех деформаций будет равна нулю. Следовательно:

$$\mu P_z/E + \mu P_y/E - P_x/E = 0. \quad (1.14)$$

При  $P_x = P_y = P_r$

$$P_r = \mu P_z / (1 - \mu). \quad (1.15)$$

Под действием вертикальной и горизонтальных сил в элементе породы возникают напряжения

$$\sigma_z = \gamma H; \quad (1.16)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z \mu / (1 - \mu). \quad (1.17)$$

Напряженное состояние породы вокруг ствола скважины характеризуется постепенным убыванием вглубь массива до значений, близких к напряженному состоянию нетронутого массива. Для вертикальной скважины на глубине  $H$  напряжения в околоствольной части массива в любой точке, расположенной на расстоянии  $l$ , будут определяться (рис. 1.10, б):

радиальное напряжение в направлении радиуса  $r$  в точке А:

$$\sigma_r = \mu / (1 - \mu) \gamma H (1 - r^2 / l^2); \quad (1.18)$$

тангенциальное напряжение, перпендикулярное к радиусу:

$$\sigma_t = \mu / (1 - \mu) \gamma H (1 + r^2 / l^2). \quad (1.19)$$

При  $l = r$  радиальное напряжение  $\sigma_r$  в точке В (на контуре сечения скважины) будет равно нулю. Тангенциальное же напряжение, наоборот, принимает максимальное значение:

$$\sigma_t = 2\gamma H \mu / (1 - \mu). \quad (1.20)$$

Если тангенциальные напряжения с увеличением глубины скважины превысят силы сцепления в породе, стенки скважины обрушатся.

При заполнении ствола скважины промывочной жидкостью создается усилие, противодействующее обрушению стенки скважины за счет гидростатического давления столба жидкости:

$$p_{гс} = \gamma_{ж} H, \quad (1.21)$$

где  $\gamma_{ж}$  – удельный вес жидкости, заполняющей ствол скважины;  $H$  – высота столба жидкости.

Максимальные напряжения возникают на внутренних стенках ствола скважины (рис. 1.8, б) и могут быть выражены следующими уравнениями:

$$\sigma_z = \gamma_{п} H; \quad (1.22)$$

$$\sigma_r = \gamma_{ж}; \quad (1.23)$$

$$\sigma_t = 2\lambda \gamma_{п} H - \gamma_{ж} H. \quad (1.24)$$

При наличии пластового давления напряжения в стенке ствола скважины будут иметь значения:

$$\sigma_z = \gamma_{п} H - \eta p_{пл}; \quad (1.25)$$

$$\sigma_r = \gamma_{\text{ж}}H - \eta p_{\text{пл}}; \quad (1.26)$$

$$\sigma_t = 2\lambda\gamma_{\text{п}}H - \gamma_{\text{ж}}H - \eta p_{\text{пл}}, \quad (1.27)$$

где  $\eta$  – коэффициент, зависящий от структурных особенностей породы и вязкости жидкости, который изменяется от 0 до 1.

Для того чтобы не происходило обрушения пород, должно быть выполнено условие

$$\sigma_t - \sigma_r = 0. \quad (1.28)$$

Подставляя значения этих напряжений из уравнений (1.23), (1.24), получим

$$\lambda\gamma_{\text{п}} = \gamma_{\text{ж}}. \quad (1.29)$$

Отсюда следует, что, регулируя плотность промывочной жидкости, можно до определенного момента сохранять устойчивость горных пород в стенках пробуренной скважины при условии, что

$$p_{\text{гс}} = \lambda\gamma_{\text{п}}H. \quad (1.30)$$

Глинистые растворы обладают способностью придавать устойчивость слабосвязанным горным породам за счет глинизации: проникновения глинистых частиц в пласт с образованием глинистой корки.

По устойчивости все горные породы разделены на четыре группы:

I – весьма неустойчивые (рыхлые несвязные породы типа песков, гравия и т. д.);

II – слабо устойчивые (сильнотрещиноватые, раздробленные скальные породы типа слабого песчаника, сланцев, угля и т. д.);

III – с изменяющейся устойчивостью (глинистые породы);

IV – устойчивые (скальные породы типа гранитов, базальтов и др.).

Бурение скважин в породах I группы сопровождается одновременным креплением стенки скважины обсадными трубами. Процесс бурения пород II группы осложняется тем, что образуются вывалы отдельных кусков породы из стенок скважины, а керн сильно дробится. Сооружение скважины в породах III группы сталкивается с большими трудностями, так как при увеличении влажности глины любого типа происходит ее разбухание, что сопровождается сужением ствола скважины и прихватыванием бурового снаряда. Что касается пород IV группы, то с точки зрения устойчивости они наиболее благоприятны.

Все горные породы по характеру связи между минералами, частицами, слагающими породу, делятся на связные (скальные, полускальные), связные мягкие, несвязные (рыхлые) [1].

*Связные* породы обладают всеми свойствами твердого тела – упругостью, твердостью, прочностью и др.

*Связные мягкие* породы имеют невысокую прочность и твердость и при увлажнении ведут себя как типично пластичные тела, легко изменяют свою форму.

*Несвязные* рыхлые породы состоят из частиц, не имеющих связи друг с другом. Часто эти породы называют сыпучими, не обладающими типичными свойствами твердого тела.

### 1.3.3. Трещиноватость горных пород

Наибольшее влияние на скорость бурения скважины оказывает трещиноватость горных пород (табл. 1.5). Трещиноватость резко снижает прочностные свойства породы [5], частично или полностью поглощает промывочную жидкость, усиливает динамику работы бурового долота, увеличивает частоту обвалов стенок скважин, прихватов бурового инструмента, уменьшает выход сохранных кернов.

Таблица 1.5

Классификация трещиноватости пород

Группа	Характеристика пород	Удельная кусковатость, шт./м	Выход керна, %
I	Монолитные	< 5,0	87,2
II	Слаботрещиноватые	5,1–10,0	76,9
III	Трещиноватые	10,1–20,0	66,9
IV	Сильнотрещиноватые	20,1–35,0	46,4
V	Раздробленные	> 35,0	34,1

Как видно из табл. 1.6, с увеличением глубины бурения раскрытость трещин уменьшается.

Таблица 1.6

Значения раскрытости трещин на различной глубине (мм)

Глубина бурения, м	Песчаники	Алевролитовые сланцы	Глинистые сланцы
0–100	1,32	0,93	0,53
200–300	0,59	0,42	0,29
400–500	0,26	0,19	0,16
600–700	0,12	0,08	0,08
800–900	0,05	0,04	0,04
1000–1100	0,02	0,02	0,02
1200–1300	0,01	0,01	0,01

Таблица 1.7

## Вероятность прихвата бурового инструмента, %

Интервал бурения, м	0–100	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600	800–900	900–1000
Вероятность прихвата, %	5,0	16,6	48,2	8,4	7,9	5,2	1,7	1,3

Как показывает опыт геологоразведочного бурения скважин по угольным пластам, около 64,8 % прихватов инструмента происходит в диапазоне 100–300 м с большими значениями раскрытости трещин. Вероятность прихвата бурового инструмента приведена в табл. 1.7.

## 2. ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН И БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

### 2.1. Способы бурения инженерно-геологических скважин

*Колонковое бурение* – один из наиболее широко распространенных способов проходки скважин (до 35 % всего объема бурения скважин) [4]. Это вращательное бурение кольцевым забоем скважин малого диаметра в породах любой крепости. Бурение производится последовательными рейсовыми углублениями, с разрушением забоя в основном твердосплавным инструментом. Основные преимущества колонкового бурения: универсальность, т. е. возможность проходки скважин почти во всех разновидностях горных пород, возможность получения керна с незначительными нарушениями природного сложения грунта, сравнительно большие глубины бурения, наличие большого парка выпускаемых промышленностью высокопроизводительных буровых станков, как самоходных, так и стационарных, хорошая освоенность технологии бурения и др.

Существенные недостатки колонкового бурения с точки зрения возможности его широкого использования при инженерных изысканиях: малый диаметр скважин, который во многих случаях не позволяет проводить гидрогеологические исследования и испытания грунтов штампами, во всех породах получать 100%-ный выход керна и качественные образцы рыхлого грунта для лабораторных исследований и т. д.

Проходка скважин этим методом может производиться «всухую» или с промывкой. Бурение «всухую» (без подачи в сква-



жину воды) – наиболее распространенная разновидность колонкового бурения при изысканиях. Колонковое бурение с непрерывным выносом керна потоком промывочной жидкости применяют при разведке ряда месторождений полезных ископаемых. Диаметр получаемого керна 34–38 мм. Этот способ позволяет не только существенно повысить производительность труда, но и достичь почти 100%-ного выноса керна. Для реализации способа требуется большое количество воды. Производительность способа до 300 м/смену.

Колонковый способ бурения с прямой промывкой (рис. 2.1) предусматривает вынос продуктов разрушения водой в любых породах, с прямой циркуляцией промывочного агента, создаваемой насосом на поверхности. Отделение кернов производится с помощью кернорвателей и заклиночного материала.

Колонковый способ бурения с гидротранспортом или пневмотранспортом керна приведен на рис. 2.2.

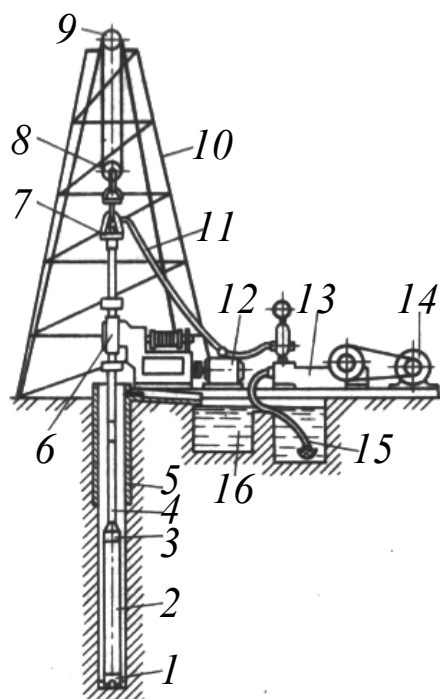


Рис. 2.1. Принципиальная схема колонкового бурения с прямой промывкой: 1 – породоразрушающий инструмент; 2 – колонковая труба; 3 – переходник; 4 – бурильные трубы; 5 – обсадные трубы; 6 – буровой станок; 7 – вертлюг-сальник; 8 – талевый блок; 9 – кронблок; 10 – вышка; 11 – напорный шланг; 12 – электродвигатель станка; 13 – насос; 14 – электродвигатель насоса; 15 – всасывающий шланг; 16 – отстойники

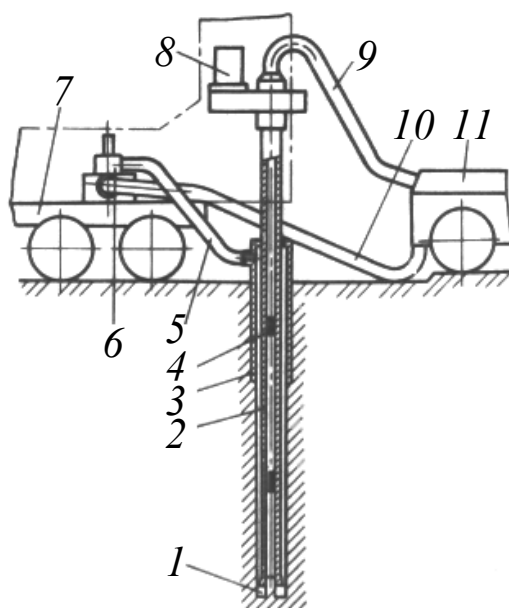


Рис. 2.2. Принципиальная схема колонкового бурения с гидротранспортом керна: 1 – породоразрушающий инструмент; 2 – буровые трубы; 3 – обсадные трубы (кондуктор); 4 – транспортируемый керн; 5 – нагнетательный циан; 6 – насос; 7 – буровая установка; 8 – вращатель; 9 – отводной шланг; 10 – всасывающий шланг; 11 – кернаприемное устройство с емкостью для промывочной жидкости

*Медленновращательное бурение.* Технология этого бурения отличается простотой и состоит в том, что скважину углубляют инструментом режущего типа путем срезания с забоя сплошной стружки. При проходке скважины этим способом (до 3 %) используют обычные, большей частью самоходные станки для колонкового бурения, а в качестве породоразрушающего инструмента – спиральные буры, т. е. инструмент для вращательного бурения. Качественная геологическая документация при этом способе бурения затруднена.

*Шнековое бурение* – разновидность вращательного бурения. Особенность способа состоит в том, что процессы углубления скважины и удаления продуктов разрушения шнековым транспортером в нем совмещены.

Преимущества шнекового способа: высокая механическая скорость бурения, незначительные затраты времени на монтажно-демонтажные работы и вспомогательные операции, сравнительно большой диаметр скважин, отсутствие потребности в воде для промывки. Недостатки: большой расход мощности и ограниченная об-

ласть применения (до 12 %), трудность проведения качественной геологической документации.

*Вращательное бурение сплошным забоем* (роторное бурение) при инженерных изысканиях применяется только для бурения гидрогеологических скважин на воду (до 3 %). Для проходки собственно инженерно-геологических скважин этот способ не используется, так как он не обеспечивает должной инженерно-геологической информации о грунтах. Роторный способ позволяет бурить скважины любого диаметра, практически на любую требуемую глубину и в любых по крепости породах. Скважины можно бурить с прямой и обратной промывкой, а также с продувкой сжатым воздухом. Особенно эффективно роторное бурение при проходке рыхлых пород с обратной промывкой всасывающим способом или с помощью эрлифта (рис. 2.3) [4].

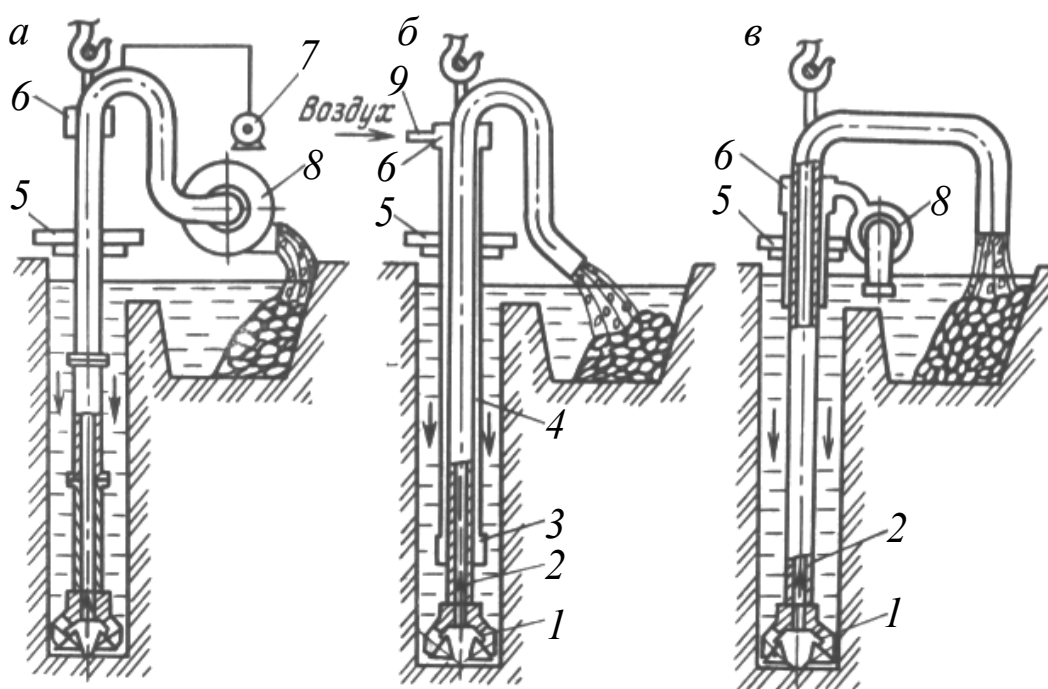


Рис. 2.3. Принципиальная схема роторного бурения с обратной промывкой: *а* – центробежный насос; *б* – эрлифт; *в* – эжекторный (водоструйный) насос; 1 – долото; 2 – бурильные трубы; 3 – смеситель эрлифта; 4 – двойная труба; 5 – вращатель (ротор); 6 – вертлюг; 7 – вакуумный насос; 8 – центробежный насос; 9 – шланг для подачи сжатого воздуха. Стрелками показано направление движения жидкости

*Ударно-канатное бурение сплошным забоем* – достаточно изученный и хорошо освоенный способ проходки скважин. Бурение скважин в основном малого диаметра производится в породах любой крепости, рейсовыми углублениями. При этом буровой инструмент в виде долот, подвешенный на канате, наносит ударную нагрузку по поверхности забоя. Разрушенная порода удаляется из забойной зоны с помощью желонки. Этот способ используют для бурения гидрогеологических скважин. Для бурения (до 4 %) инженерно-геологических скважин его применяют только при наличии валунно-галечных грунтов, где использование других способов бурения крайне затруднено или невозможно. Обычно ударное бурение сплошным забоем ведут с непрерывным погружением обсадных труб. Этот способ малопроизводителен (не более 3–4 м/смену). Качественная геологическая документация при этом способе практически невозможна.

*Ударно-канатное бурение кольцевым забоем* – один из наиболее широко применяемых способов проходки скважин (до 35 %). Основные его преимущества состоят в простоте технологии, удовлетворительном качестве геологической документации в виде образцов кернов, сравнительно высокой производительности ( $\geq 15$  м/смену). К недостаткам способа относят невозможность проходки скважин в скальных грунтах, малую длину рейса, невозможность отбора качественных монолитов в некоторых грунтах.

Различают две разновидности ударно-канатного бурения кольцевым забоем: с отрывом инструмента и без отрыва инструмента от забоя. Все разновидности ударно-канатного бурения можно использовать в зависимости от геологического разреза при проходке одной и той же скважины, поскольку для всех могут быть применены одни и те же ударно-канатные станки и требуется смена лишь породоразрушающего инструмента.

*Вибрационное бурение* (рис. 2.4) относится к числу наиболее производительных способов проходки скважин при инженерных изысканиях (до 50–70 м/смену) [4].

Скважины бурятся в основном малого диаметра в породах малой крепости, кольцевым забоем, рейсовыми углублениями с передачей бурильным трубам ударных импульсов от беспружинного вибромолота. Помимо вертикального статического усилия по инструменту наносят удары высокой частоты. Недостатки вибрационно-

го бурения – ограниченная область применения по глубине скважин и крепости проходимых пород (до 4 %), низкий процент чистого бурения, трудоемкость процесса очистки буровых зондов. При инженерных изысканиях вибромолоты могут быть рекомендованы для бурения неглубоких (преимущественно до 15–20 м) скважин в мягких и рыхлых породах, для погружения труб в процессе бурения скважин, извлечения труб, ликвидации аварий, связанных с прихватом, заклиниванием или зажимом инструмента на забое.

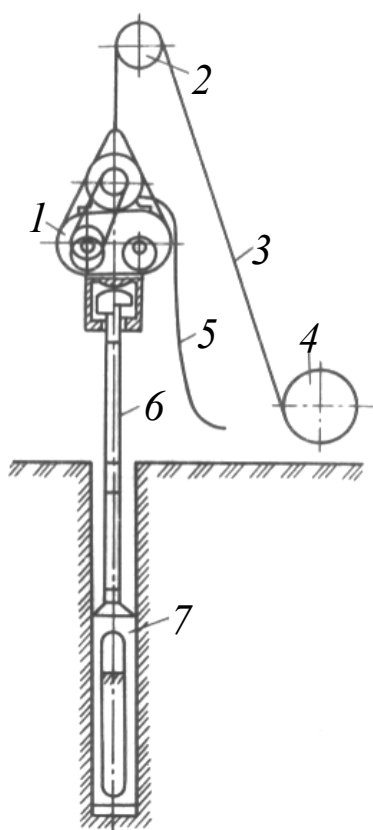


Рис. 2.4. Принципиальная схема ударно-вибрационного бурения: 1 – беспружинный вибромолот; 2 – блок мачты; 3 – канат; 4 – лебедка бурового агрегата; 5 – электрический кабель; 6 – буровые трубы (штанги); 7 – вибронзонд

*Пневмоударное бурение* (рис. 2.5) осуществляется с помощью погружных разведочных пневмоударников или погружных пневмопробойников (в последнем случае только в мягких породах) [4].

При инженерно-геологических изысканиях используют в основном погружные пневмопробойники.

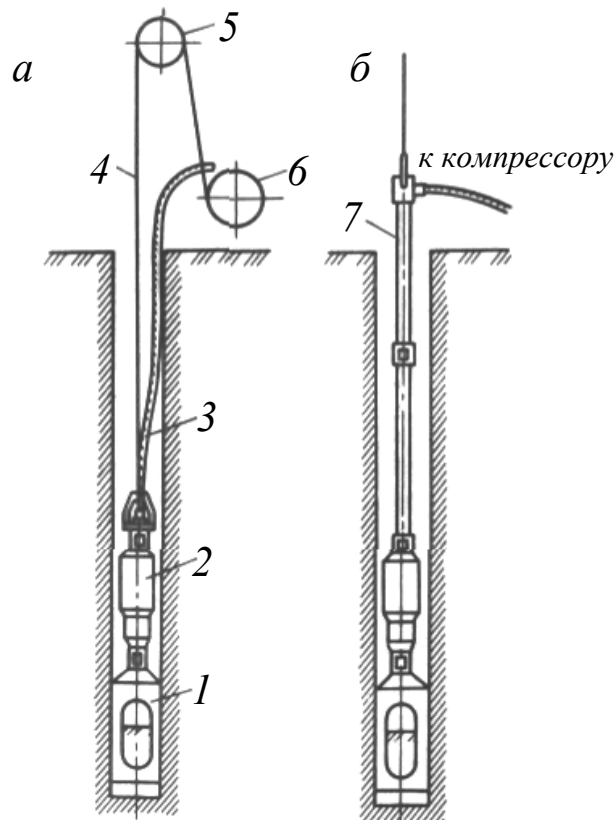


Рис. 2.5. Принципиальная схема пневмоударного бурения погружным пневмопробойником: *а* – на канате; *б* – на штангах; 1 – стакан; 2 – пневмопробойник; 3 – воздухопровод; 4 – канат; 5 – блок мачты; 6 – лебедка; 7 – бурильные трубы (штанги)

Сущность способа состоит в том, что породоразрушающий инструмент погружают в скважину с помощью размещенного над ним погружного пневмопробойника. Сжатый воздух к пневмопробойнику подается по бурильным трубам или по шлангу. Этим же воздухом продукты разрушения выносятся из скважины на поверхность. Привод пневмоударника или пневмопробойника осуществляется от компрессора, установленного на поверхности. По производительности пневмоударное бурение не уступает вибрационному и обеспечивает высокое качество получаемой информации о грунтах. Погружные и поверхностные пневмопробойники используются также для бурения горизонтальных и наклонных скважин под грунтовые анкеры.

*Гидроударное бурение* основано на использовании погружных гидроударников. Бурить можно как с вращением (в скальных породах), так и без вращения инструмента (в мягких породах). При этом обеспечивается достаточно высокая механическая скорость бурения. Недостаток способа с точки зрения возможности использования

его при инженерно-геологических изысканиях – это необходимость иметь на буровой установке насос и достаточное количество воды.

*Вибрационно-вращательное бурение* (рис. 2.6 и 2.7) [4] – также один из прогрессивных способов бурения инженерно-геологических скважин. Породоразрушающему инструменту, помимо ударных импульсов, одновременно сообщается вращательное движение. Основное преимущество этого способа состоит в том, что он, сохраняя все положительные качества вибрационного бурения, существенно расширяет область его применения как по глубине скважин, так и по крепости проходимых грунтов. Если область применения вибрационного бурения ограничивается породами I–IV категорий по буримости, то с помощью вибрационно-вращательного бурения можно проходить скважины в породах V–VI категорий по буримости.

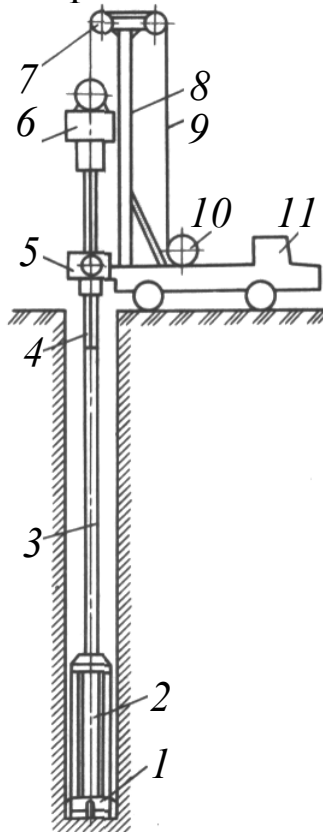


Рис. 2.6. Принципиальная схема вибрационно-вращательного бурения: 1 – породоразрушающий инструмент (коронка); 2 – колонковая труба (зонд); 3 – бурильные трубы; 4 – ведущая труба; 5 – вращатель; 6 – вибропогружатель; 7 – блок; 8 – мачта; 9 – канат; 10 – лебедка; 11 – базовый автомобиль

Вид и способ бурения необходимо выбирать в зависимости от свойств проходимых грунтов, назначения и глубины скважин, а так-



же условий производства работ. На выбор способа бурения определенное влияние оказывает также вид инженерных изысканий. Выбранный способ должен обеспечивать удовлетворительное качество инженерно-геологической информации о грунтах и достаточно высокую производительность. При незначительных объемах буровых работ в отдельно взятой организации следует ориентироваться на универсальные способы, т. е. такие, которые обеспечивают бурение скважин в большинстве разновидностей грунтов.

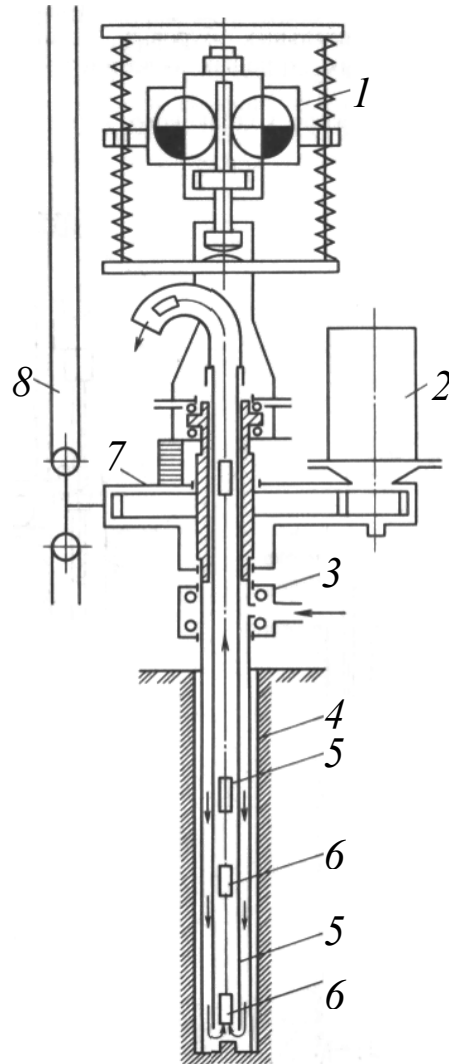


Рис. 2.7. Принципиальная схема вибрационно-вращательного бурения с пневмотранспортом керна: 1 – пружинный вибромолот; 2 – гидродвигатель вращателя; 3 – сальник; 4 – внешняя колонна труб; 5 – внутренняя колонна труб; 6 – транспортируемый потоком воздуха керн; 7 – подвижный вращатель; 8 – механизм подачи. Стрелками показано направление движения воздуха

## 2.2. Буровое оборудование для сооружения инженерно-геологических скважин

### 2.2.1. Станки и установки для бурения неглубоких зондировочных скважин

Установка УКБ-12/25 (рис. 2.8) [4] предназначена для бурения скважин диаметром 64 мм глубиной до 15 м твердосплавным породоразрушающим инструментом с транспортировкой породы шнеками и до глубины 25 м – алмазным и твердосплавным инструментами диаметром 76 мм с промывкой при инженерно-геологических изысканиях, гидрогеологическом зондировании, для бурения взрывных скважин в мерзлых грунтах. Угол наклона скважин составляет 45–90°. Установка УКБ-12/25 имеет габариты 1375×1065×1960 мм и массу 132 кг.

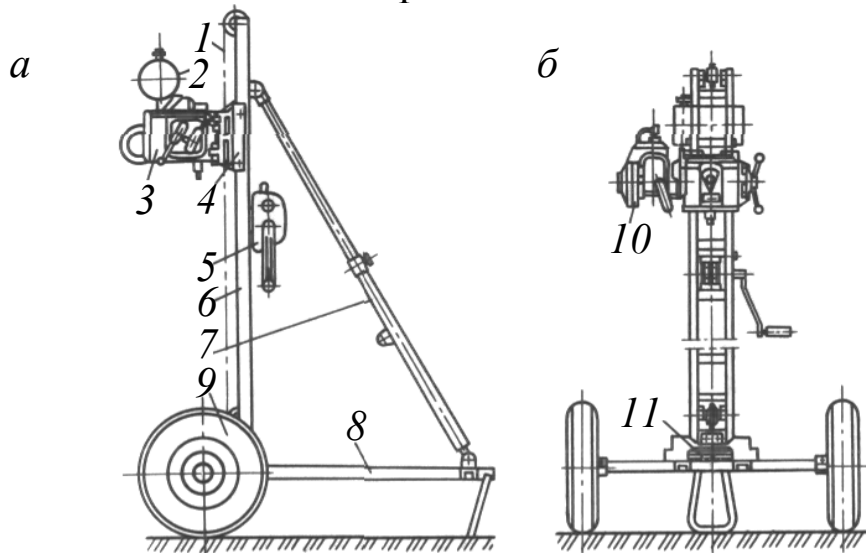


Рис. 2.8. Установка УКБ-12/25: *а* – вид сбоку; *б* – вид спереди; 1 – цепь; 2 – бензобак; 3 – вращатель; 4 – каретка; 5 – лебедка; 6 – стойка; 7 – подкос; 8 – рама; 9 – колеса; 10 – двигатель; 11 – центратор

Установка УКБ-12/25С (рис. 2.9) [4] предназначена для бурения скважин с аналогичными параметрами, но выполнена в самоходном исполнении на базе автомобиля УАЗ-469Б общей массой 1720 кг. В районах со сложными условиями транспортировки буровой станок снимается с автомобиля и используется автономно. Установка используется для бурения скважин глубиной до 15 м шнековым способом, а до глубины 25 м с применением алмазных или твердосплавных коронок с промывкой. С ее помощью могут быть выполнены работы по поиску, съемке и картированию месторождений полезных ископаемых.

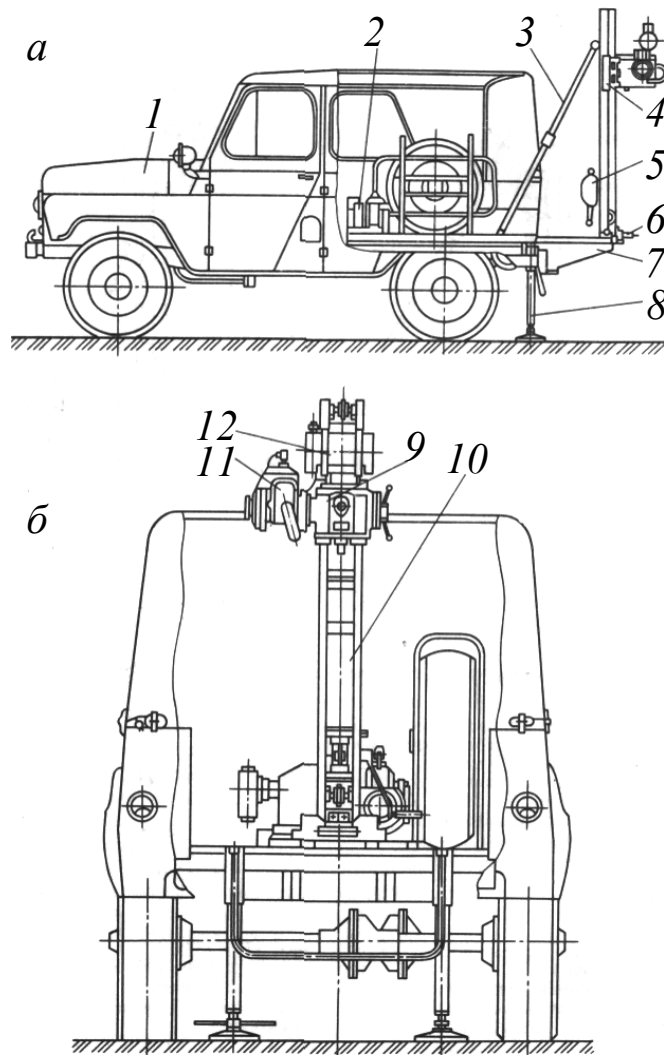


Рис. 2.9. Установка УКБ-12/25С: а – вид сбоку; б – вид спереди; 1 – автомобиль; 2 – насос; 3 – подкос; 4 – каретка; 5 – лебедка; 6 – центратор; 7 – кронштейн; 8 – домкрат; 9 – вращатель; 10 – стойка; 11 – двигатель; 12 – бензобак

### 2.2.2. Станки и установки для бурения разведочных скважин глубиной от 5 до 30 м

Установка УБП-15М выполнена в виде одноосного прицепа (рис. 2.10), на раме которого установлены: двигатель, редуктор, две лебедки, бензобак и станина мачты. Мачта состоит из двух шарнирно соединенных секций, складывающихся в транспортное положение. Прицеп оборудован для устойчивости опорным катком и задней опорой. Установка УБП-15М предназначена для ударно-канатного бурения кольцевым забоем вертикальных скважин глубиной до 15 м в мягких и рыхлых породах с использованием метода зондирования при инженерно-геологических изысканиях [4].

При этом обеспечивается получение начального диаметра скважины 168 мм (с закреплением трубами на глубину 4 м), промежуточного – 127 мм (с закреплением трубами на глубину 10 м) и, наконец, конечного – 108 мм (без закрепления).

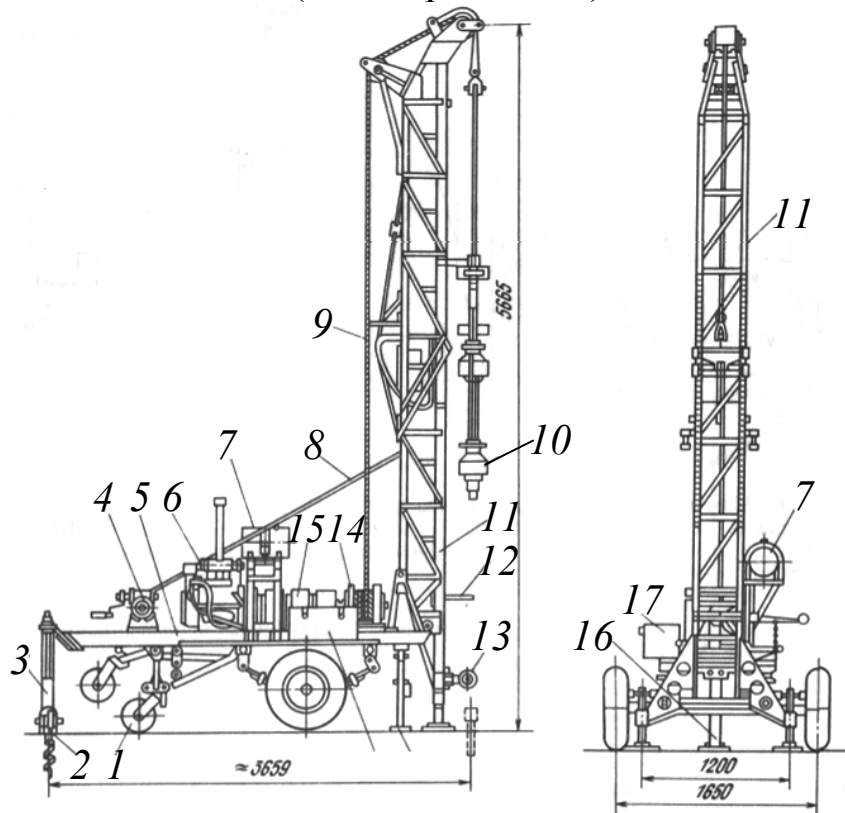


Рис. 2.10. Установка буровая УБП-15М: 1 – каток; 2 – стопор шнековый; 3 – анкер; 4 – лебедка ручная; 5 – рама; 6 – двигатель; 7 – бензобак; 8 – вспомогательный канат; 9 – канат; 10 – молот; 11 – мачта; 12 – центратор; 13 – направляющий ролик; 14 – лебедка; 15 – редуктор; 16 – задняя опора; 17 – ящик для слесарного инструмента

Самоходная установка АВБ-2М (рис. 2.11) смонтирована на шасси автомобиля ГАЗ-66 [4]. Она предназначена для бурения скважин начальным диаметром 168 мм и конечным – 108 мм при инженерно-геологических изысканиях в породах I – IV категории буримости вибрационным способом на глубину 15–20 м, а также ударно-канатным способом на глубину до 30 м в породах IV – VIII категории буримости.

Трансмиссия автомобиля передает крутящий момент от двигателя на генератор и лебедку. Трансмиссия состоит из коробки передач, коробки отбора мощности, раздаточного редуктора и трех карданных валов. Мачта предназначена для проведения спускоподъемных операций при бурении, а также служит направляющей для виб-

ромолота. Коробка отбора мощности включает и отключает трансмиссию буровой установки, а раздаточный редуктор включает и выключает генератор.

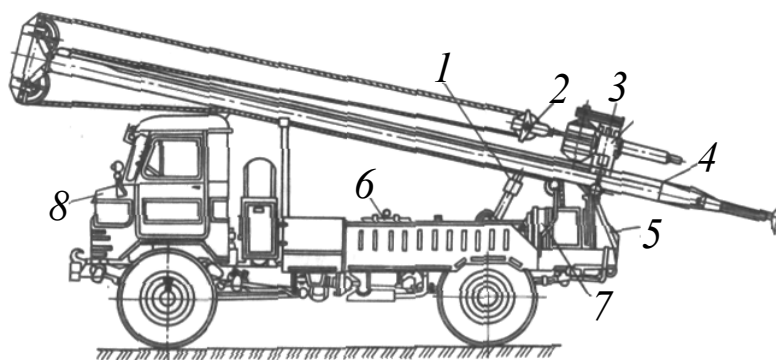


Рис. 2.11. Установка АВБ-2М: 1 – винтовой подъемник мачты; 2 – талевый блок; 3 – вибромолот; 4 – мачта; 5 – опора мачты; 6 – генератор; 7 – лебедка; 8 – автомобиль

Установка УБР-2М (рис. 2.12) смонтирована на базе автомобиля ЗИЛ-131, на платформе которого установлен буровой станок.

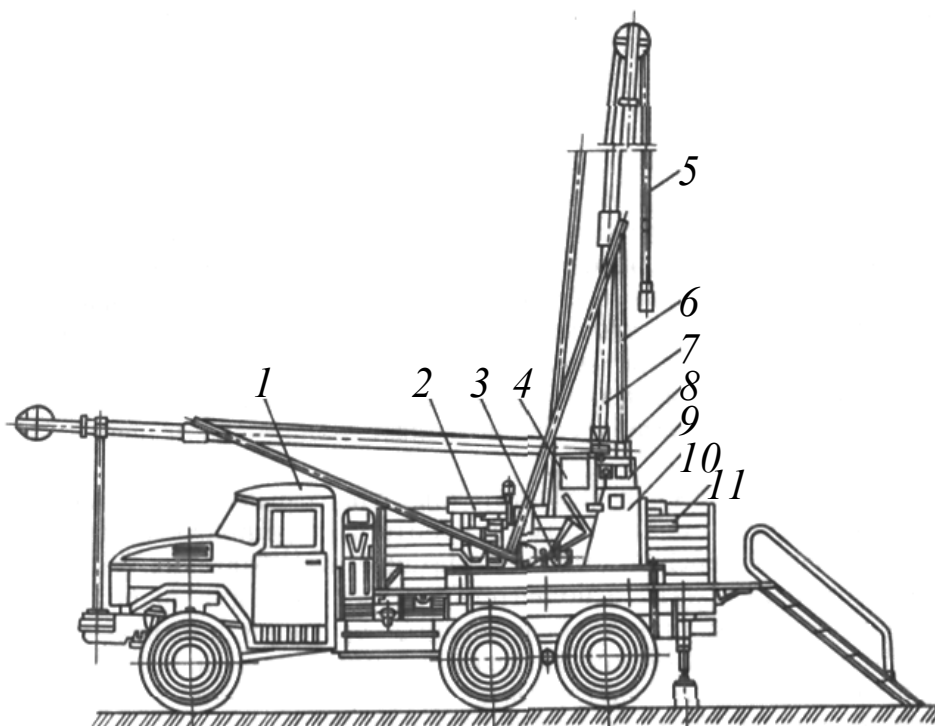


Рис. 2.12. Буровая установка УБР-2М: 1 – автомобиль; 2 – дизельный двигатель; 3 – редуктор; 4 – лебедка с ударным механизмом; 5 – канат с замком; 6 – канат подъема мачты; 7 – мачта; 8 – лебедка подъема мачты; 9 – раздаточная коробка; 10 – рама станка; 11 – вращатель

Буровая установка УБР-2М [4] предназначена для бурения скважин при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых и строительных материалов в условиях, доступных для автомобильного транспорта. Установка обеспечивает бурение скважин следующими способами: ударно-канатным кольцевым забоем с принудительным погружением обсадных труб, медленно вращательным и колонковым «всухую».

Процесс бурения включает следующие операции:

- бурение скважины диаметром 219 мм с креплением трубами на глубину 15 м;
- бурение скважины диаметром 168 мм с креплением трубами на глубину 25 м;
- бурение скважины диаметром 127 мм с креплением трубами на глубину 30 м.

Буровая самоходная установка «Разведчик» УБСР-25М (рис. 2.13) применяется для сооружения скважин диаметром 715 мм на глубину 25 м (взамен шурфов).

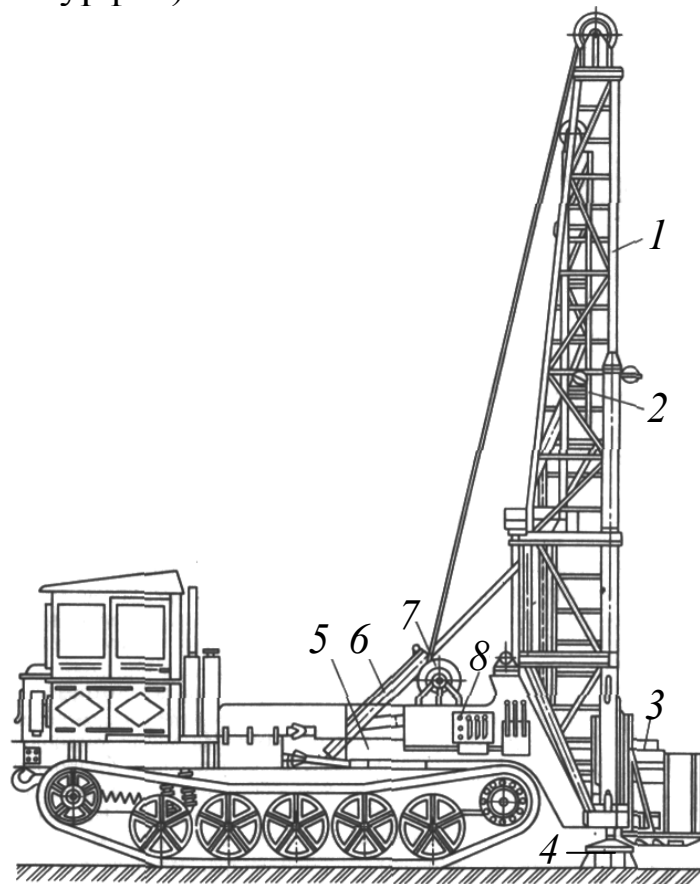


Рис. 2.13. Буровая установка УБСР-25М: 1 – мачта; 2 – укосина; 3 – ротор; 4 – винтовые домкраты; 5 – рама; 6 – гидродомкраты; 7 – лебедка; 8 – пульт управления

Данная установка показала высокую эффективность при работе в заболоченных, лесных районах. Она используется при разведке сильнообводненных россыпных месторождений с высоким содержанием валунов, крупной гальки. Базой установки является трактор ТТ-4 с мощностью двигателя 81 кВт.

К раме установки шарнирно крепится мачта, которая при транспортировании укладывается гидродомкратами и крепится на передней стойке.

### 2.2.3. Станки и установки для бурения разведочных скважин глубиной более 30 м

Установка УГБ-50М (рис. 2.14) предназначена для бурения гидрогеологических и инженерно-геологических скважин двумя способами: шнековым (с начальным диаметром 198 мм и конечным – 151 мм) и колонковым с промывкой (с начальным диаметром 198 мм и конечным – 92 мм) [4]. Глубина бурения составляет для шнекового способа 50 м, а для колонкового – 100 м.

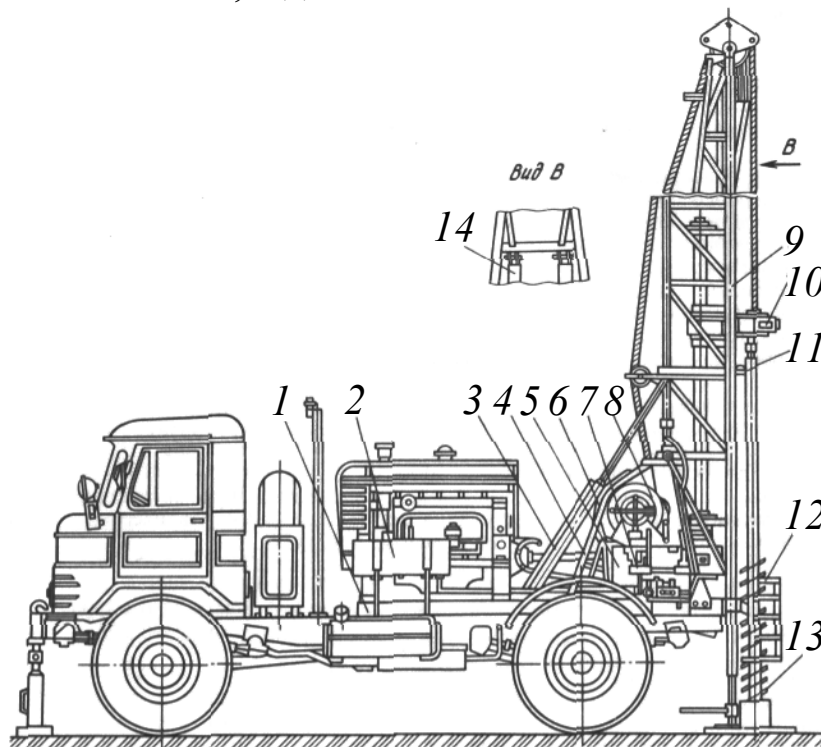


Рис. 2.14. Установка для гидрогеологического бурения УГБ-50М: 1 – рама; 2 – двигатель; 3 – гидродомкраты опускания и подъема мачты; 4 – ударный механизм; 5 – коробка передач; 6 – тормоза; 7 – пульт управления; 8 – лебедка; 9 – мачта; 10 – вращатель; 11 – осветительные фары; 12 – ограждение; 13 – шнек; 14 – гидродомкраты подачи

Установка смонтирована на базе автомобиля ГАЗ-66-02 с прицепом, в котором размещается комплект бурового инструмента. Ее привод осуществляется от дизельного двигателя, расположенного на раме автомобиля, через муфту сцепления и коробку передач. Шнек и долото в процессе бурения приводятся в действие вращателем и гидродомкратами подачи.

Самоходная вибробуровая установка ВАС-75 (рис. 2.15) предназначена для бурения инженерно-геологических скважин тремя способами [4]:

- ударно-канатным с вибратором (начальный диаметр скважины – 219 мм, конечный – 127 мм, глубина – 60 м);
- с высокооборотным вращателем (начальный диаметр скважины – 132 мм, конечный – 59 мм, глубина – 100 м);
- с низкооборотным вращателем (начальный диаметр скважины – 151 мм, конечный – 127 мм, глубина – 25 м).

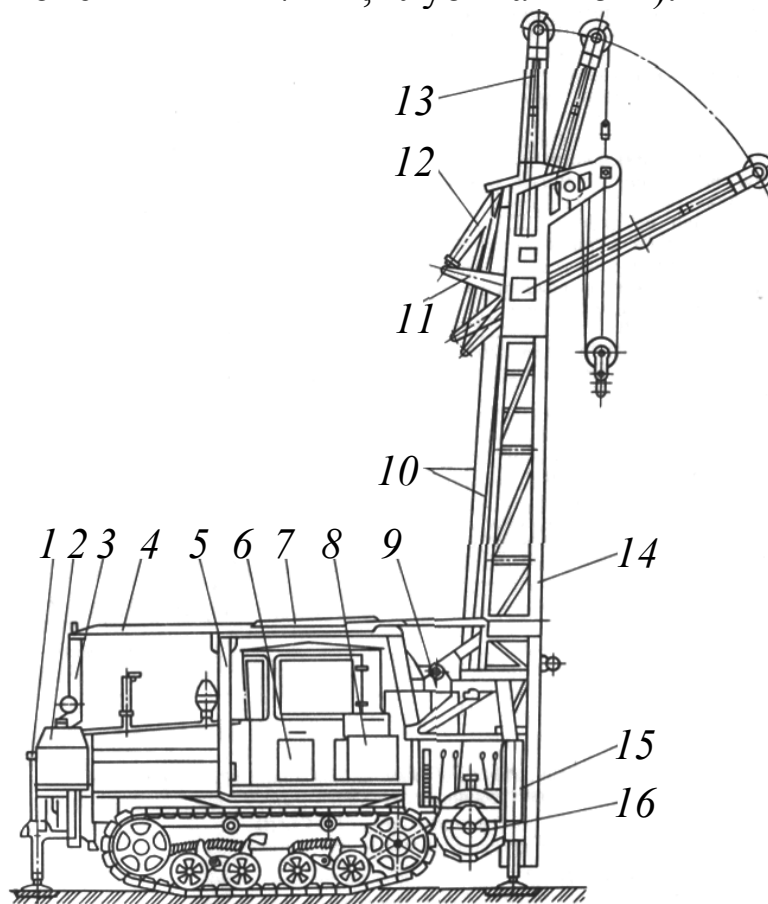


Рис. 2.15. Самоходная вибробуровая установка ВАС-75: 1 – передняя гидравлическая опора; 2 – топливный бак; 3 – передняя рама; 4 – швеллеры связи; 5 – средняя рама; 6 – масляный бак; 7, 12, 15 – гидродомкраты; 8 – генератор; 9 – задняя рама; 10 – канат; 11 – опора гидродомкрата; 13 – стрела; 14 – опорная секция стрелы; 16 – лебедка



Бурение производится в мерзлых и немерзлых породах с погружением и извлечением обсадных труб. Установка выполнена на базе гусеничного трактора ДТ-75Н-С2 мощностью 66 кВт.

Установка разведочного бурения УРБ-2А-2 предназначена для бурения сейсмических и структурно-картировочных скважин на нефть и газ вращательным способом с очисткой забоя скважины промывкой, продувкой или транспортированием разрушенной породы на поверхность шнеками. Установка может использоваться при инженерно-геологических изысканиях. Глубина бурения сейсмических скважин 100 м, картировочных – 200 м, при шнековом бурении – 30 м. Диаметр скважин начальный/конечный для этих скважин соответственно равен: 190/118, 190/93, 135/135 мм.

Все механизмы, входящие в установку УРБ-2А-2 (рис. 2.16), смонтированы на шасси автомобиля и приводятся в действие от его двигателя.

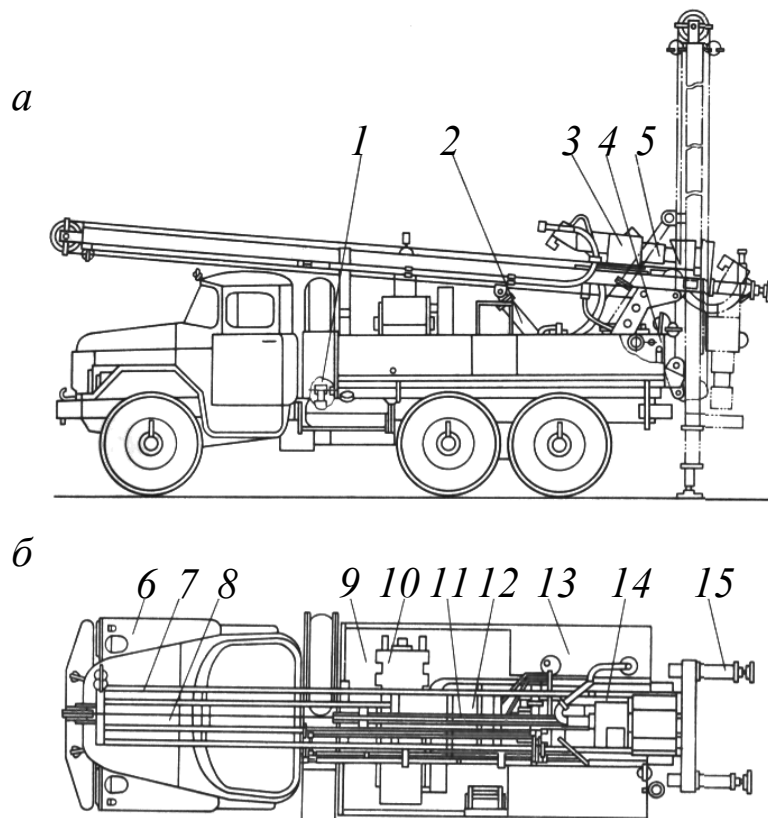


Рис. 2.16. Буровая установка УРБ-2А-2: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху; 1 – коробка отбора мощности; 2 – цилиндр подъема мачты; 3 – вращатель; 4 – пульт управления; 5 – элеватор для труб и патрон для шнеков; 6 – автомобиль; 7 – мачта; 8 – талевая система; 9 – рама; 10 – установки бурового насоса и компрессора; 11 – гидродомкрат подачи; 12 – раздаточная коробка; 13 – обвязка гидросистемы; 14 – каретка; 15 – опорный домкрат

Установка имеет вращатель с гидроприводом, который обеспечивает выполнение операций: бурение, свинчивание и развинчивание бурильных труб. Управление установкой полностью гидрофицировано, в том числе подъем и опускание мачты [4].

Конструкцией установки предусмотрена возможность бурения скважин с очисткой забоя промывкой или продувкой, для чего на ней может быть смонтирован буровой насос или компрессор.

Бурение скважин глубиной 100–300 м с гидротранспортом керна осуществляется с помощью комплексов КГК-100 (рис. 2.17) [4, 5] или КГК-300. Бурение с гидротранспортом керна диаметром 34–38 мм относится к числу прогрессивных, высокопроизводительных методов бурения. Особенности этого метода бурения – применение двойной бурильной колонки, по внутреннему каналу которой выносятся керн.

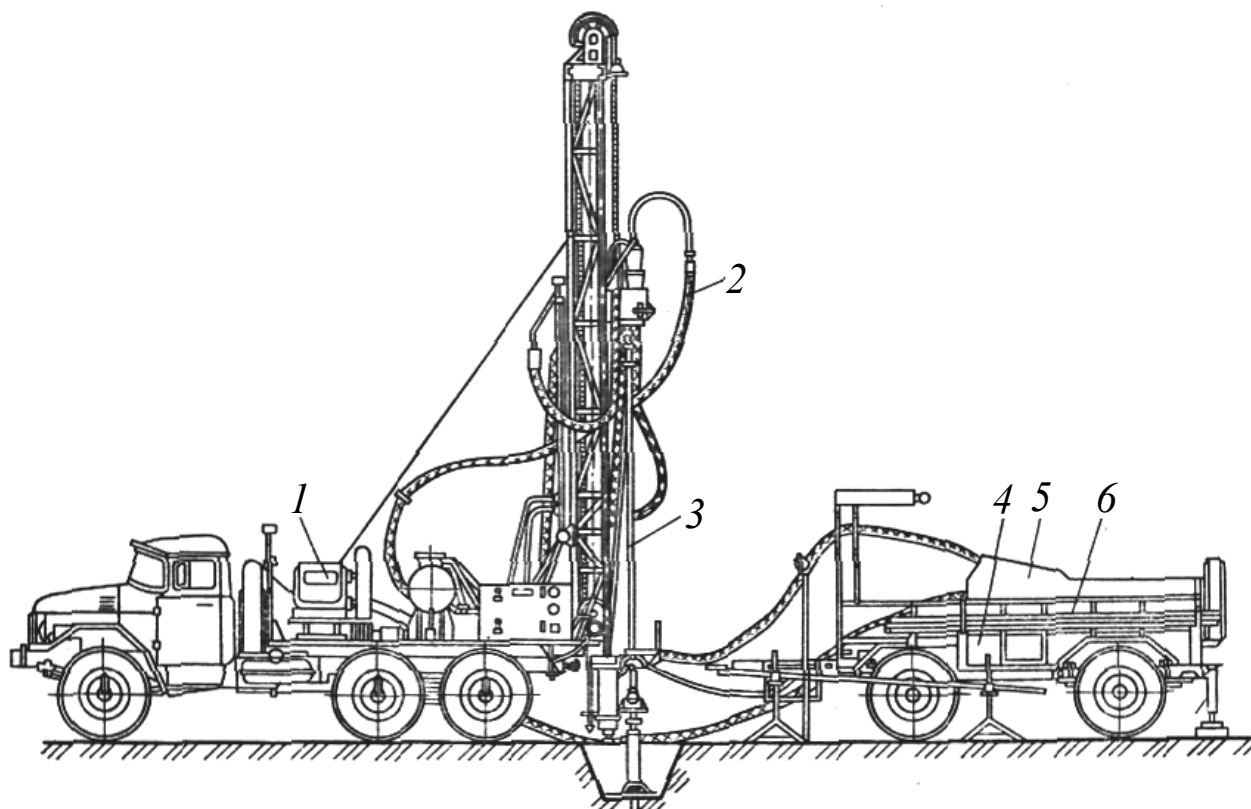


Рис. 2.17. Комплекс для бурения с гидротранспортом керна КГК-100: 1 – буровой насос; 2 – система нагнетания и отвода промывочной жидкости; 3 – двойная бурильная колонна; 4 – стеллаж для труб; 5 – кернаприемное устройство; 6 – передвижная емкость

Все основные элементы комплексов унифицированы и отличаются только конструкцией бурильной колонны. Последняя у КГК-300 состоит из легкосплавных бурильных труб диаметром 75 мм и

длиной 4 м, что позволило за счет снижения массы двойной трубы (22 кг вместо 52 кг) увеличить глубину бурения до 300 м. В состав комплекса входят буровая установка УРБ-2А-2ГК, буровой насос НБ4-320/63, грузоподъемные приспособления, промывочный сальник, система промывки БП-149, кернаприемное устройство БП-150, прицеп для размещения емкости кернаприемного устройства и породоразрушающих коронок КГ-84С, КГ-84МС, КГ-93МС наружным диаметром 84 и 93 мм.

В ПГО «Запсибгеология» буровая установка УРБ-2А-2ГК монтируется на платформе 5 с основанием 6 высотой 500 мм (рис. 2.18). Размеры платформы 9000×4600×2100 мм, а ее масса максимально снижена за счет применения каркасной обшивки с утеплителем. Каркас крыши разборный, состоит из четырех секций. Это позволяет извлекать с помощью автокрана буровое оборудование и укладывать мачту в транспортное положение [5].

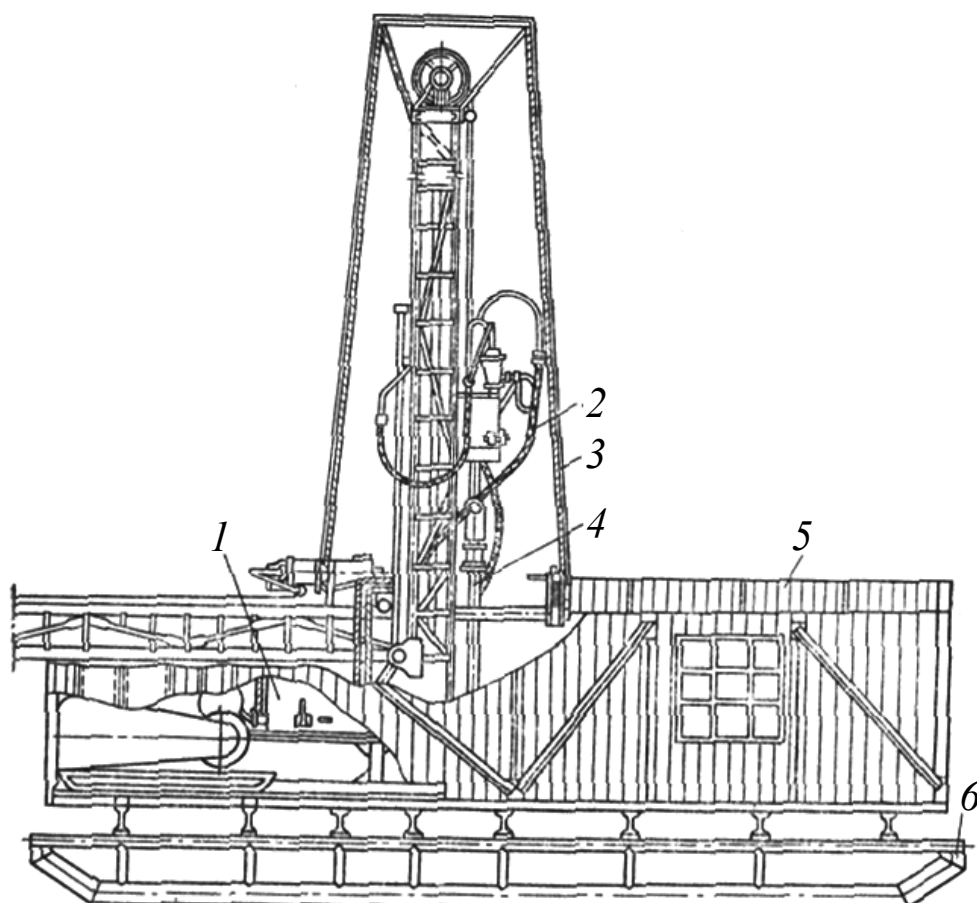


Рис. 2.18. Передвижная буровая установка конструкции ПГО «Запсибгеология»: 1 – буровая установка УРБ-2А-2ГК; 2 – система нагнетания; 3 – укрытие мачты; 4 – бурильная колонна; 5 – платформа; 6 – основание

В процессе бурения скважины промывочная жидкость подается насосом из передвижной емкости через сальник в кольцевое пространство двойной бурильной колонны и далее к забою скважины. Затем жидкость вместе с керном и шламом, последовательно проходя через центральный канал двойных труб, внутреннюю трубу сальника и керноотводящий шланг, поступает на поверхность. Выбуренная порода улавливается лотками керноприемного устройства, смонтированного над передвижной емкостью, которая позволяет создать замкнутую систему циркуляции промывочной жидкости и исключает необходимость отрыва отстойников.

В качестве промывочной жидкости используют техническую воду. Скважины бурят, не закрепляя обсадными трубами. Потери промывочной жидкости невелики даже в условиях, при которых обычное колонковое бурение с глинистым раствором сопровождается полной потерей циркуляции.

#### **2.2.4. Станки и установки Atlas Copco Craelius AB для колонкового бурения с поверхности**

Буровые станки CHRISTENSEN (рис. 2.19) [2], типоразмер CS, производимые Atlas Copco Craelius AB, представляют серию колонковых машин для бурения с поверхности. В предлагаемых моделях воплощены доказавшие свою эффективность технологии алмазного бурения и последние усовершенствования, направленные на упрощение эксплуатации станков. Для достижения высокой производительности, оптимального выхода керна при низкой себестоимости бурения станки CHRISTENSEN имеют следующие достоинства:

- проходные штангодержатель и вращатель;
- дизельный привод;
- варианты установки на гусеничное или колесное шасси;
- лавное изменение и строгий контроль всех рабочих параметров станка.

Геологоразведочные станки выпускаются под марками: CS1000, CS10, CS14, CS3001 и CS4002.

Глубина бурения станками (диаметр скважин 60–121 мм) составляет 200–2200 м.

*a**б*

Рис. 2.19. Буровые установки CHRISTENSEN (CS)  
для открытых горных работ: *a* – на раме; *б* – на шасси

### **2.2.5. Буровые установки Atlas Copco Craelius AB для метода «обратная циркуляция»**

Во всем мире признано, что технология геологоразведочного бурения методом «обратной циркуляции» является наиболее производительным способом получения образцов пород в шламообразном состоянии высокого качества (механическая скорость бурения до 1,5 м/мин и выше). Из-за высокой производительности затраты на отбор проб таким методом в среднем в 2,5–3 раза меньше, чем при традиционном колонковом бурении (рис. 2.20) [2].

Бурение методом «обратной циркуляции» проводится двухстенными буровыми трубами. В качестве рабочего инструмента используются специальные погружные пневмоударники со штыревыми долотами RC или шарошечные долота моделей RC. Для очистки забоя используется сжатый воздух и/или воздушно-водная смесь с возможным добавлением пен. Подача воздуха к забою осуществляется по межтрубному пространству, приводя в действие пневмоударник и обеспечивая разрушение породы в забойной зоне. Затем буровая мелочь по специально спроектированным продувочным каналам долота собирается от забоя скважины под действием сжатого воздуха в его центр, попадая во внутреннюю трубу двухстенного бурового става, и выдается на поверхность. Разделение сжатого воздуха и буровой мелочи (пробы) происходит в специальном циклоне. В нем под действием центробежной силы буровая мелочь оседает на боковые стенки и выпадает через нижнюю часть циклона в сборные емкости. После этого необходимая часть упаковывается в мешки и маркируется. Буровые установки Explorac R50 и Explorac 220, предлагаемые Atlas Copco Craelius AB (рис. 2.21) [2], являются полностью гидрофицированными буровыми машинами шпиндельного типа с основным предназначением для метода «обратная циркуляция» (RC).

Глубина бурения долотами диаметром 101,6–152,4 мм составляет 100–350 м. Угол наклона скважины вертикально вниз +45°.

Explorac 220 RC спроектирован в соответствии со спецификациями специалистов и более чем 20-летним опытом в области геологоразведочного бурения, а каждый компонент был тщательно подобран и точно отрегулирован для обеспечения оптимальных результатов бурения.

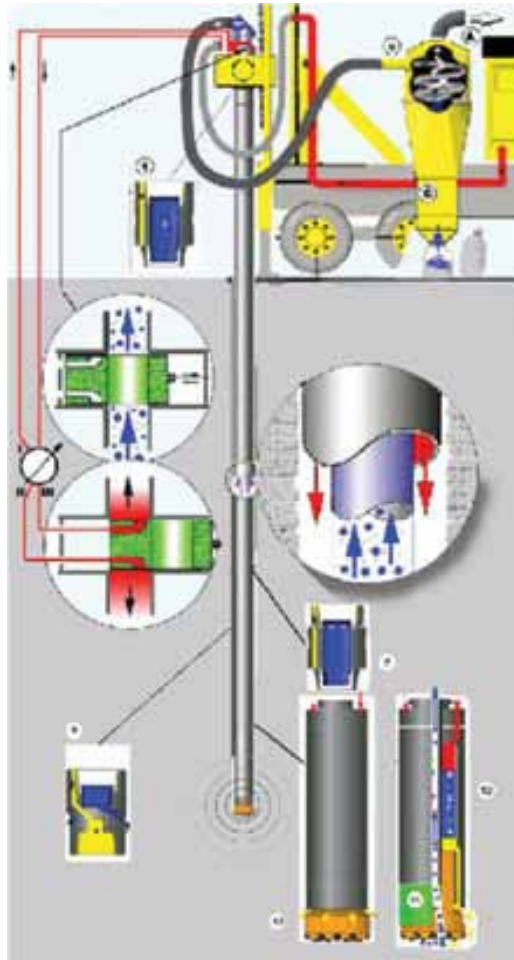


Рис. 2.20. Схема бурения методом «обратная циркуляция»



Рис. 2.21. Буровая установка Explorac 220 RC



Основные достоинства конструкции:

- усиленная платформа станка дополнена системой предварительного распора мачты и ее фиксации на земле;
- универсальный подвижный, полностью гидрофицированный стол позволяет применять разнотипный буровой инструмент;
- специально разработанный для метода «обратная циркуляция» высокомоментный вращатель оборудован роликовыми подшипниками с повышенной способностью и надежностью;
- дизель станка – CAT, отвечает нормам стандарта Euro 2;
- панель управления может располагаться на расстоянии до 15 м от установки, обеспечивая безопасность персонала и максимальную видимость выполняемых операций;
- бортовой компрессор XRV 10 «Атлас Копко» – это новый винтовой компрессор с давлением 30 бар. Компактный и легкий, он идеально подходит для бурения с обратной циркуляцией и потребляет мало энергии, что ведет к значительной экономии топлива;
- эффективная конструкция циклона для отбора проб обеспечивает точный и быстрый отбор проб, минимизируя пыль.

### 2.2.6. Станки и установки Atlas Copco Craelius AB для подземного колонкового бурения

DIAMES – зарегистрированная торговая марка высокооборотных полностью гидрофицированных станков (рис. 2.22), предназначенных для проведения буровых работ с отбором керна в условиях подземных выработок (Diames 232, Diames U4, Diames 262, Diames U6, Diames U6 dh, Diames U8). Возможные варианты исполнения – на раме (салазках), с гусеничным или колесным шасси [2].

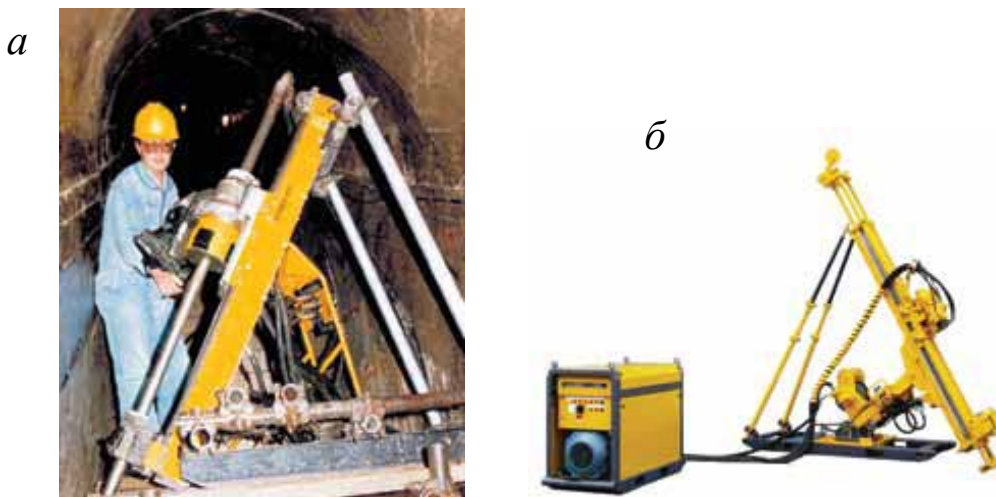


Рис. 2.22. Подземная буровая установка Diames



Все буровые установки семейства Diames объединяют следующие отличительные особенности:

- плавное изменение и строгий контроль всех параметров бурения обеспечивает наиболее оптимальные режимы работы;
- компактность и модульность обеспечивают максимально сжатые сроки монтажа и демонтажа;
- многофункциональность – установки допускают использование ССК, одно-, двухтрубных колонковых снарядов в сочетании с алмазными и твердосплавными коронками, бурение погружными пневмоударниками.

Глубина бурения буровыми станками (диаметр скважин 48–99 мм) составляет 120–2000 м. Стандартно станки серии Diames поставляются укомплектованными силовой установкой (дизельного или электрического типа), промывочным насосом, лебедкой ССК. Возможна поставка станков во взрывозащищенном исполнении.

Новые модели Diames серии U: модернизированная конструкция, контроль и управление параметрами бурения от бортового компьютера третьего поколения (APC) – позволяют повысить эксплуатационные характеристики и надежность. Геологоразведочные станки серии U имеют следующие преимущества:

- увеличенная мощность обеспечивается за счет более рациональной конструкции вращателя, что позволяет увеличить скорость вращения и проходку;
- компьютерная система управления APC на основе MS Windows обеспечивает полную автоматизацию процесса бурения;
- в модификации APC один оператор может выполнять весь перечень необходимых работ благодаря новой конструкции устройства позиционирования станка, ускоряющего подготовку машины, и полуавтоматическому режиму спускоподъемных операций;
- электронная система управления Canbus сокращает количество гидрошлангов и электропроводов, облегчает диагностику неисправностей, а также добавление опций и аксессуаров;
- сенсорный экран управления в сочетании с джойстиком и универсальным регулятором облегчают ввод и настройку рабочих параметров станка, отображаемых на экране для контроля/изменения в автоматическом и/или ручном режимах.

Основные факторы, определяющие выбор буровой установки: целевое назначение, глубина бурения, конечный диаметр скважин,

характер и свойства проходимых грунтов, природные условия местности (рельеф, растительность, климат и др.).

Выбираемая буровая установка должна быть в достаточной степени эффективной технически и экономически, обладать хорошей транспортабельностью (в случае больших габаритных размеров и массы – возможностью разборки на отдельные транспортабельные блоки, а в случае самоходности – высокой проходимостью, маневренностью, достаточной скоростью передвижения), в случае необходимости обеспечивать возможность бурения несколькими способами, укомплектовываться надежными в работе и удобными в обращении буровым и вспомогательным инструментами, обеспечивать простоту проведения ремонта, возможность обслуживания минимальным числом рабочих с незначительной затратой ручного труда, удобство, простоту и безопасность работы.

Выбор буровых установок должен определяться условиями проведения буровых работ, в том числе глубиной и диаметром скважин. Не рекомендуется использовать установки для условий, не соответствующих их параметрам. Выбираемый тип установки должен в наибольшей степени учитывать специфику работ данной конкретной организации. Следует стремиться, чтобы организация была укомплектована тремя-четырьмя марками однотипных станков. В этом случае существенно упрощается ремонтное обслуживание, создаются благоприятные предпосылки для специализации буровых бригад и, следовательно, повышения производительности труда, улучшаются организация и проведение буровых работ. Следует также учитывать возможность использования выбираемых установок для проведения других видов работ (полевых исследований грунтов с помощью навесного оборудования, бурения скважин большого диаметра специальным буровым инструментом и т. д.).

### **2.2.7. Забойные механизмы, бурильные, колонковые и обсадные трубы**

*Керноприемник «Конус»* (рис. 2.23) [5] используют в составе КССК-76, КССК-76М для отбора неустойчивых углей, однородных и неоднородных по физико-механическим свойствам. Керноприемник «Конус» представляет собой самонастраивающееся устройство, в котором в качестве автоматического регулятора применен упругий пакет тарельчатых пружин с заданной нагрузочной характери-

стикой. Этот регулятор отражает изменение буримости угля в форме сигнала управления, регулирующего работу керноприемника.

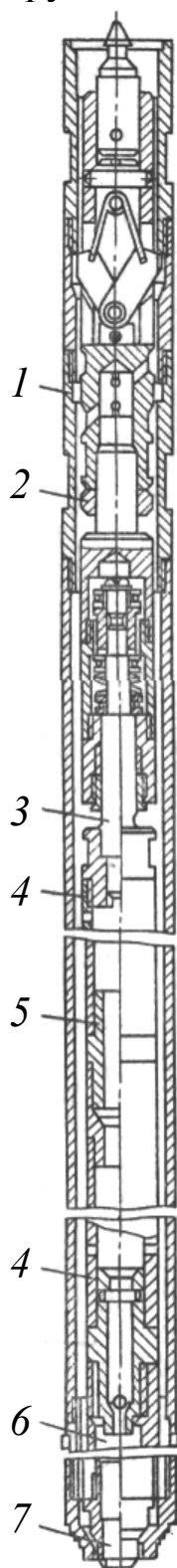


Рис. 2.23. Съемный керноприемник «Конус»: 1 – головка-фиксатор; 2 – гайка; 3 – регулятор; 4 – удлинитель; 5 – ниппель; 6 – контейнер; 7 – штамп

Для получения угольного керна с сохранением в нем естественной структуры кернаприемник «Конус» автоматически настраивается в процессе бурения по величине опережения штампа относительно торца вращающейся алмазной коронки колонкового набора комплекса КССК-76 и по удельному давлению под конусным торцом штампа. Диаметр кернаприемника составляет 51 мм, длина 6860 мм, а масса 43 кг.

При приложении осевой нагрузки  $P$  к колонковому набору (рис. 2.24) [5] головка-фиксатор, корпус регулятора перемещаются вниз. В процессе бурения угольных пластов происходит автоматическая настройка кернаприемника «Конус» по величине опережения штампа и удельной осевой нагрузки на торец штампа.

Срыв и удержание керна осуществляется его заклиниванием в кольцевом выступе внутри штампа путем увеличения осевой нагрузки на буровой снаряд.

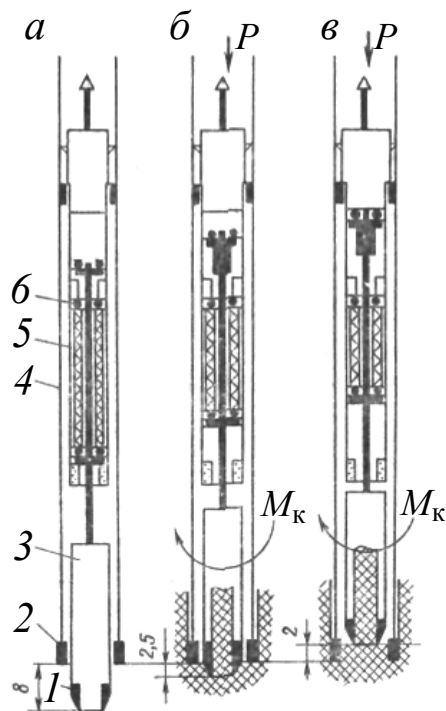


Рис. 2.24. Кинематическая схема работы кернаприемника «Конус»:  $a$  – в ненагруженном состоянии перед бурением угольного пласта, опережение штампа 8 мм;  $б$  – во время бурения пласта штампованием, опережение штампа 2,5 мм;  $в$  – при заклинивании керна, штамп отстает от алмазной коронки на 2 мм;  $1$  – штамп;  $2$  – алмазная коронка;  $3$  – контейнер;  $4$  – колонковый набор комплекса КССК-76;  $5$  – пружинный регулятор;  $6$  – подшипники;  $P$  – осевая нагрузка;  $M_k$  – крутящий момент

*Гидроударный снаряд ССГ-76* применяется для ударно-вращательного бурения разведочных скважин глубиной до 1200 м алмазными коронками диаметром 76 мм в породах VII–X категорий по буримости. Он входит в состав комплекса со съемными кернаприемниками КССК-76-1200. Снаряд (рис. 2.25) [5] включает съемную часть 1 и корпус 3. Съемная часть 1 включает гидроударник 6, состоящий из клапана 4, бойка 7, цилиндра 5, наковальни 10, пружины 8 и подвески 11, соединенной с кернаприемником. Корпус 3 имеет центратор, соединяющий снаряд с колонной бурильных труб, и разъем с опорой для передачи ударов на колонковую трубу и коронку.

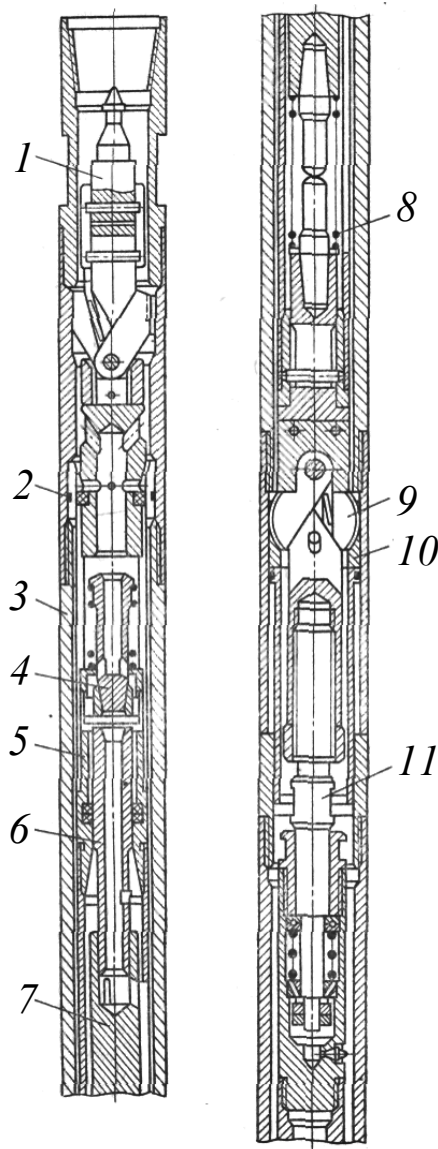


Рис. 2.25. Снаряд со съемным гидроударником ССГ-76

Упоры 9 наковальни 10 в транспортном положении свободно проходят по колонне бурильных труб и корпусу 3 снаряда. При ус-

тановке съемной части 1 на корпус 3 манжета 2 перекрывает межтрубный зазор. Ход съемной части составляет 5–7 мм.

При постановке снаряда на забой начинает работать гидроударник, который наносит удары по поверхности забоя с энергией 5 Дж и с частотой 1600–1800 ударов в 1 мин. При работе клапана поток жидкости перекрывается и возникает гидравлический удар, под действием которого клапан с бойком перемещается вниз. Клапан, дойдя до цилиндра 5, останавливается, а боек продолжает движение вниз и наносит удар по наковальне, который далее передается через колонковую трубу на коронку. За счет отскока и энергии сжатой пружины боек возвращается в исходное положение, соприкасается с клапаном, и цикл повторяется.

Промывочная жидкость после гидроударника проходит в кольцевой зазор между корпусом и съемным керноприемником и поступает на забой. Применение гидроударника в составе комплекса КССК увеличивает производительность бурения на 20–30 % вследствие повышения механической скорости и длины рейса.

*Конструкция кернолома* (рис. 2.26) [5] разработана для коронок диаметром 76, 84 и 93 мм. В керноломе резцы твердого сплава заменены стальными шариками, оказывающими пульсирующее радиальное воздействие на керн, что исключает его заклинивание. Кернолом расположен на расстоянии 80–90 мм от торца коронки.

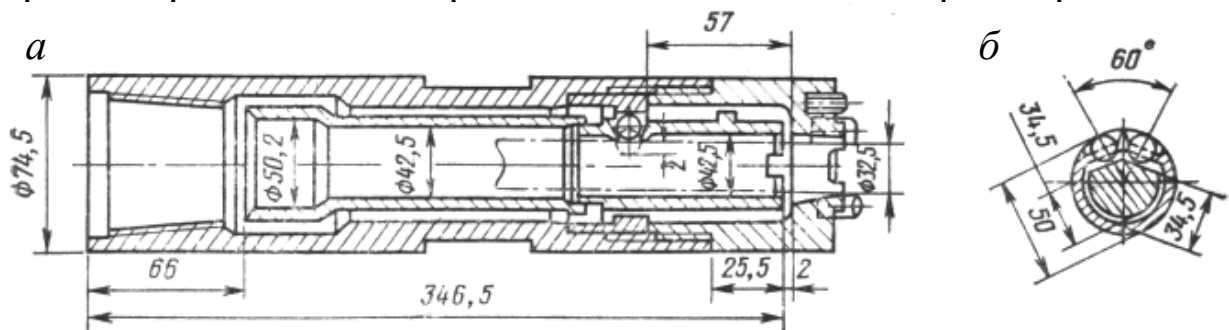


Рис. 2.26. Конструкция кернолома (а) и схема опрессовки шариков (б)

*Бурильные трубы* выполняют одновременно несколько функций:

- передача крутящего момента и усилия подачи на коронку;
- промывка и продувка забоя скважины;
- подъем и спуск бурового инструмента;
- транспортировка керна.

Легкосплавные бурильные трубы (рис. 2.27) [4] применяются с двумя типами соединений: муфтово-замковым ЛБТМ и ниппельным ЛБТН. В качестве материала труб применяются стали марок 45, 36Г2С, 45У, 38ХНМ, а также алюминиевый сплав Д16Т.

Трубы ЛБТМ соединяются друг с другом муфтами из сталей 36Г2С, 40ХН, 45. Трубы ЛБТН имеют ниппельное соединение из сталей 40ХН, 45У.

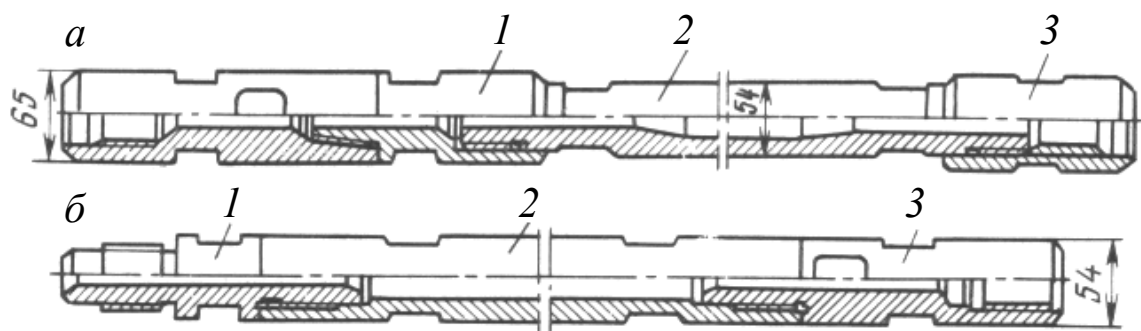


Рис. 2.27. Легкосплавные бурильные трубы: *а* – ЛБТМ-54: 1 – замок; 2 – труба; 3 – муфта; *б* – ЛБТН-54: 1 – ниппель типа А; 2 – труба; 3 – ниппель типа Б

Замки для соединения между собой бурильных труб диаметром 50 мм изготавливают по ГОСТ 7918–75. Замок состоит из ниппеля (рис. 2.28, *а*) и муфты (рис. 2.28, *б*), соединяемых между собой как правой, так и левой замковой резьбой [4].

#### *Колонковые и обсадные трубы*

Колонковые трубы представляют собой технологический инструмент, при помощи которого осуществляется непосредственно бурение скважины, а обсадные трубы – вспомогательный инструмент для крепления стенки скважины.

Колонковые трубы используются для приема керна, последующего его транспортирования на поверхность и поддержания заданного направления оси ствола скважины в процессе бурения. Обсадные трубы (рис. 2.29) предотвращают обвалы и сужение стенок скважины в неустойчивых породах, перекрывают напорные и поглощающие горизонты [4].

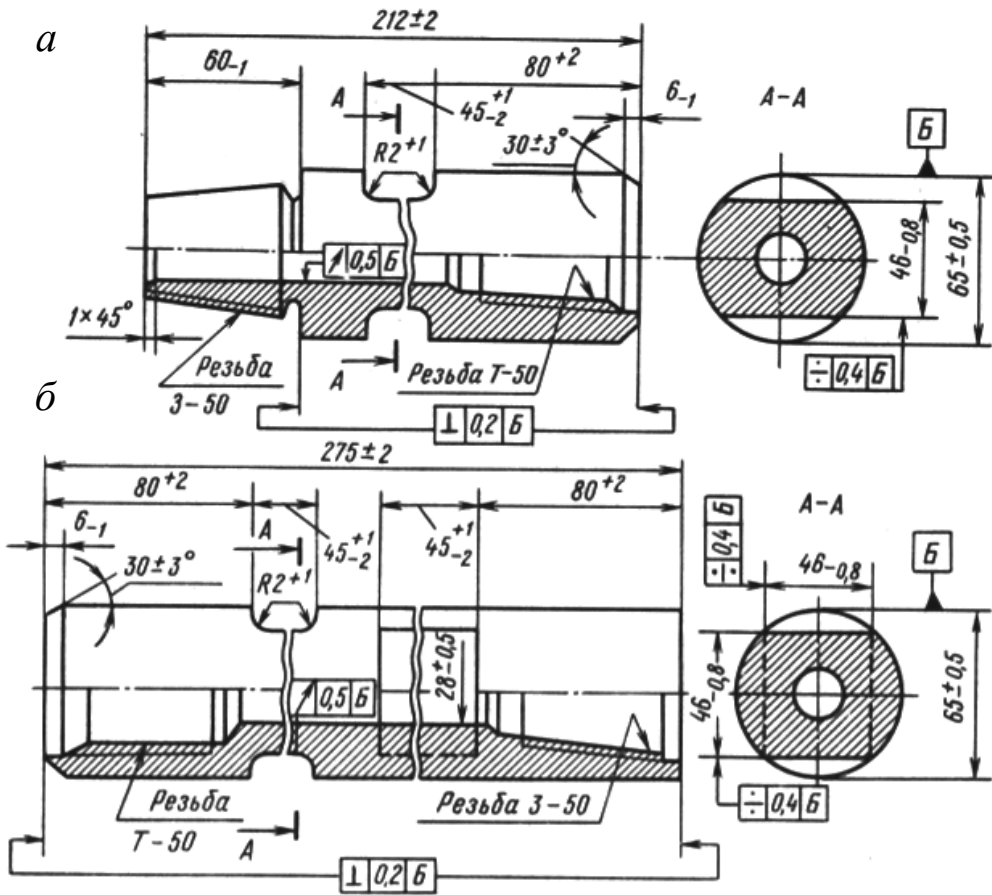


Рис. 2.28. Бурильный замок: а – ниппель; б – муфта

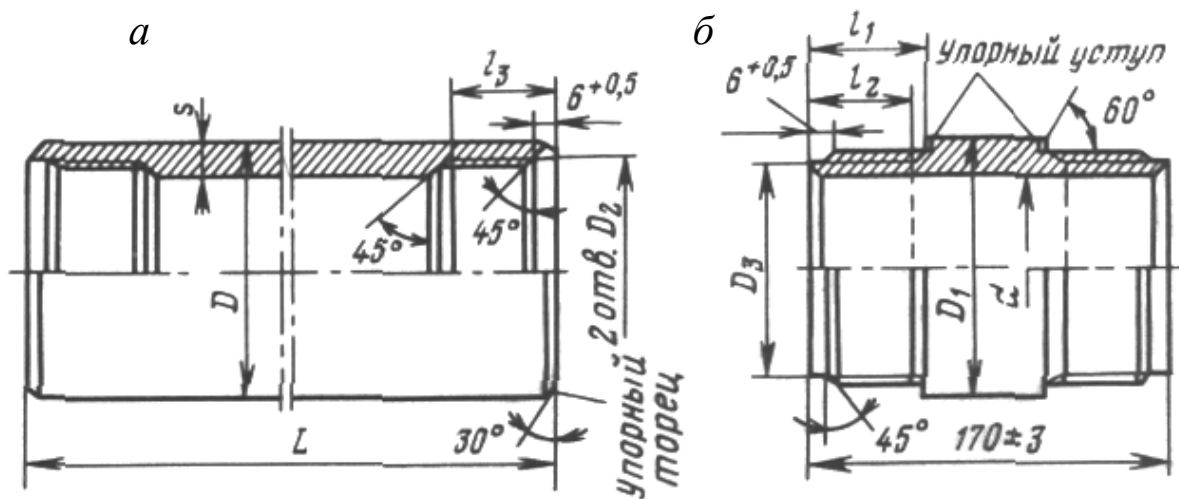


Рис. 2.29. Колонковая обсадная труба ниппельного соединения: а – труба; б – ниппель



### 3. БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ

#### 3.1. Твердосплавные инструменты

##### 3.1.1. Инструмент для ударно-вибрационного бурения

В качестве инструмента при вибробурении грунтов используются виброндзы (рис. 3.1) [4].

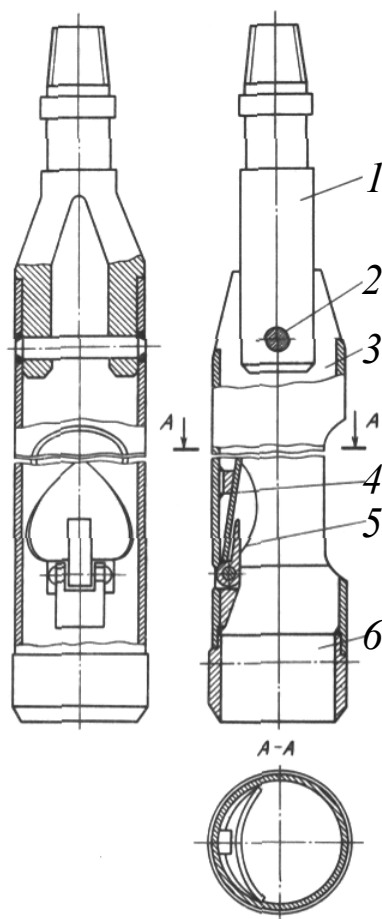


Рис. 3.1. Устройство виброндзы с клапаном: 1 – переходник; 2 – палец; 3 – корпус; 4 – упор; 5 – клапан; 6 – рабочее кольцо

Виброндза представляет собой трубу длиной 1–3 м, имеющую на нижнем конце рабочее кольцо 6, а на верхнем переходник 1 для присоединения к бурильным трубам. Труба по всей длине имеет одну или несколько прорезей для очистки зонда от породы. Зонды имеют диаметры 108, 127, 146 и 168 мм, режущая кромка – 89 и 219 мм. На рис. 3.1 приведена конструкция виброндзы диаметром 168 мм с одной прорезью. Рабочее кольцо виброндзы на 4–6 мм больше корпуса и имеет угол скоса режущей кромки в зависимости от проходных пород от 15 до 60°, что уменьшает силу трения зонда о породу. На режущую кромку рабочего кольца для повышения износостойкости наплавля-

ют твердый сплав. Для бурения устойчивых связных глинистых грунтов применяют зонды с одной прорезью с углом выреза 140–160°, что позволяет легко очищать зонд от породы. В менее устойчивых, но связных породах используют зонды с меньшим углом выреза (90–140°) или зонды с двумя вырезами.

Несвязные (оплывающие и сыпучие) грунты следует проходить желонками, входное отверстие которых полностью перекрывается клапаном. Такие желонки имеют в верхней части отверстия для очистки их от породы.

### **3.1.2. Твердосплавные инструменты вращательного бурения пород**

Этот тип инструментов в виде коронок применяют для выбуривания кернов. Основными конструктивными элементами коронок являются: короночное кольцо, твердосплавные вставки, циркуляционные каналы (рис. 3.2) [1]. Вставки подразделяются на основные и подрезные. Основные вставки выступают над торцом коронки, взаимодействуют с породой кольцевой поверхности забоя скважины и выбуривают керн породы.

Подрезные вставки должны калибровать стенку скважины и выбуриваемый керн, поэтому они выступают за боковую наружную и внутреннюю поверхности кольца. Это исключает трение короночного кольца о стенку скважины и керн.

В соответствии с ГОСТ 11108–70 промышленность выпускает коронки для бурения: М – мягких пород; СМ – средних по твердости малоабразивных пород; СТ – трещиноватых, средних по твердости малоабразивных пород; СА – монолитных, средних по твердости абразивных пород. Коронки типа М выпускаются диаметром 93, 112, 132, 151 мм, а коронки типов СМ, СТ, СА имеют диаметры 36, 46, 59, 76, 93, 112, 132 и 151 мм.

Для армирования коронок при вращательном бурении рекомендуется применять средне- или крупнозернистые малокобальтовые твердые сплавы марок ВК6, ВК8, а при ударно-вращательном – высококобальтовые марок ВК11, ВК15, ВК20, ВК25. Последние обладают большей ударной вязкостью. Коронки используются для бурения пород крепостью до  $f = 8–10$ .

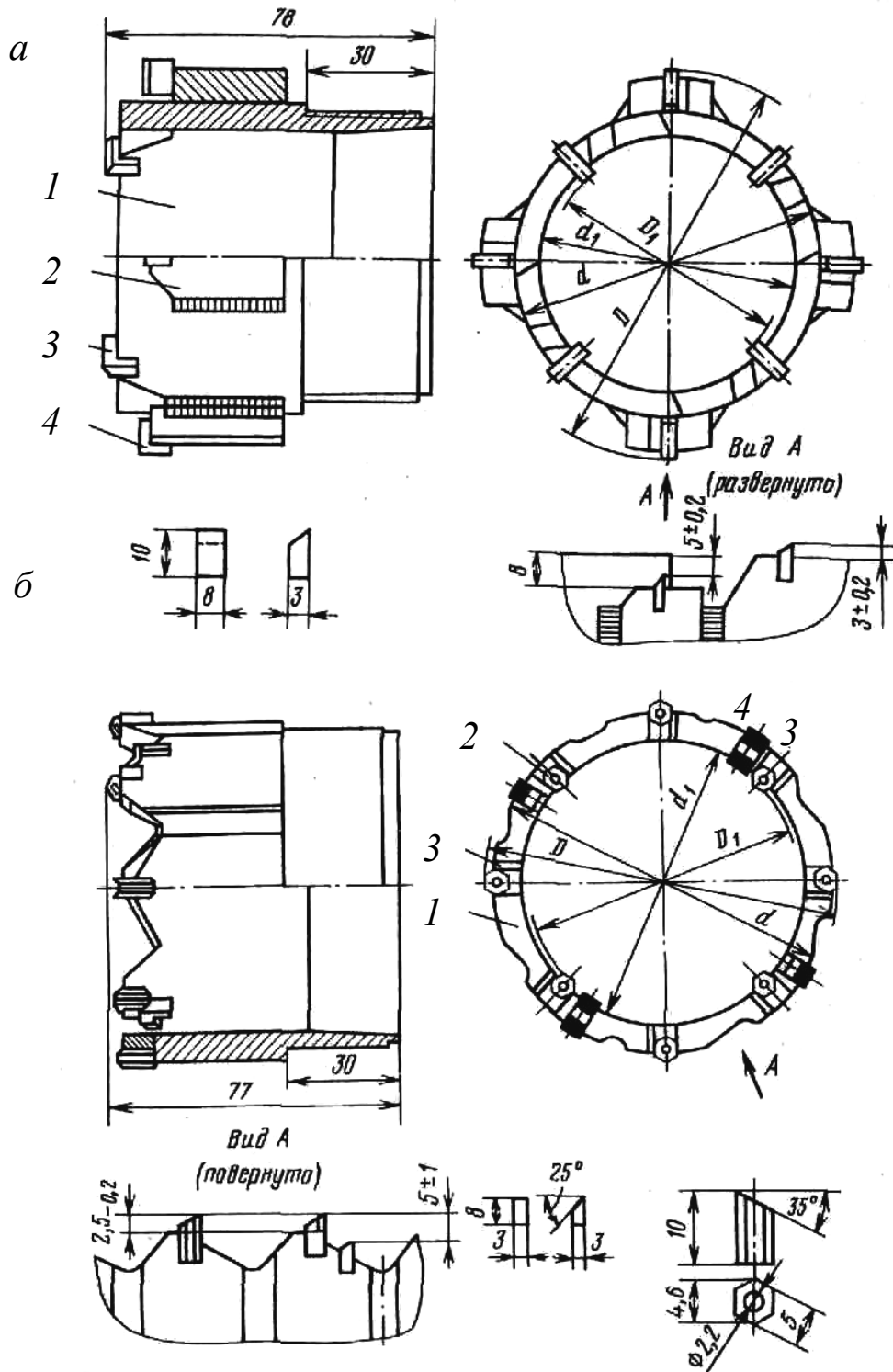


Рис. 3.2. Основные типы твердосплавных режущих коронок: а – М1; б – СМЗ; 1 – короночное кольцо; 2, 4 – внутренняя и наружная калибрующие подрезные вставки; 3 – основная вставка

### 3.1.3. Твердосплавные инструменты для ударно-вращательного бурения пород

Для бурения геологоразведочных скважин СКБ НПО «Геотехника» и ЦНИИГРИ разработаны твердосплавные коронки КГ-1, КГ-2, КГ-3, КГ-4, КГ-5 ГПИ 48М, ГПИ 67М, ГПИ 121М, ГПИ 126М, ГПИ 126МС, ГПИ 101М, КП-113, КП-161, КП-184, КП-216, КДП-113, КДП-132, КДП-151.

Для армирования коронок применяются твердосплавные (ВК15) вставки (рис. 3.3) [1], выполненные в виде пластин Г55, Г57, Г11, Г13, П1А, П97 или штырей ПР-1, ПР-3, ПР-4. Головная часть вставок имеет форму симметричного или асимметричного клина с углом при вершине 70–100°. Коронки используются для бурения пород крепостью  $f = 6–16$ .

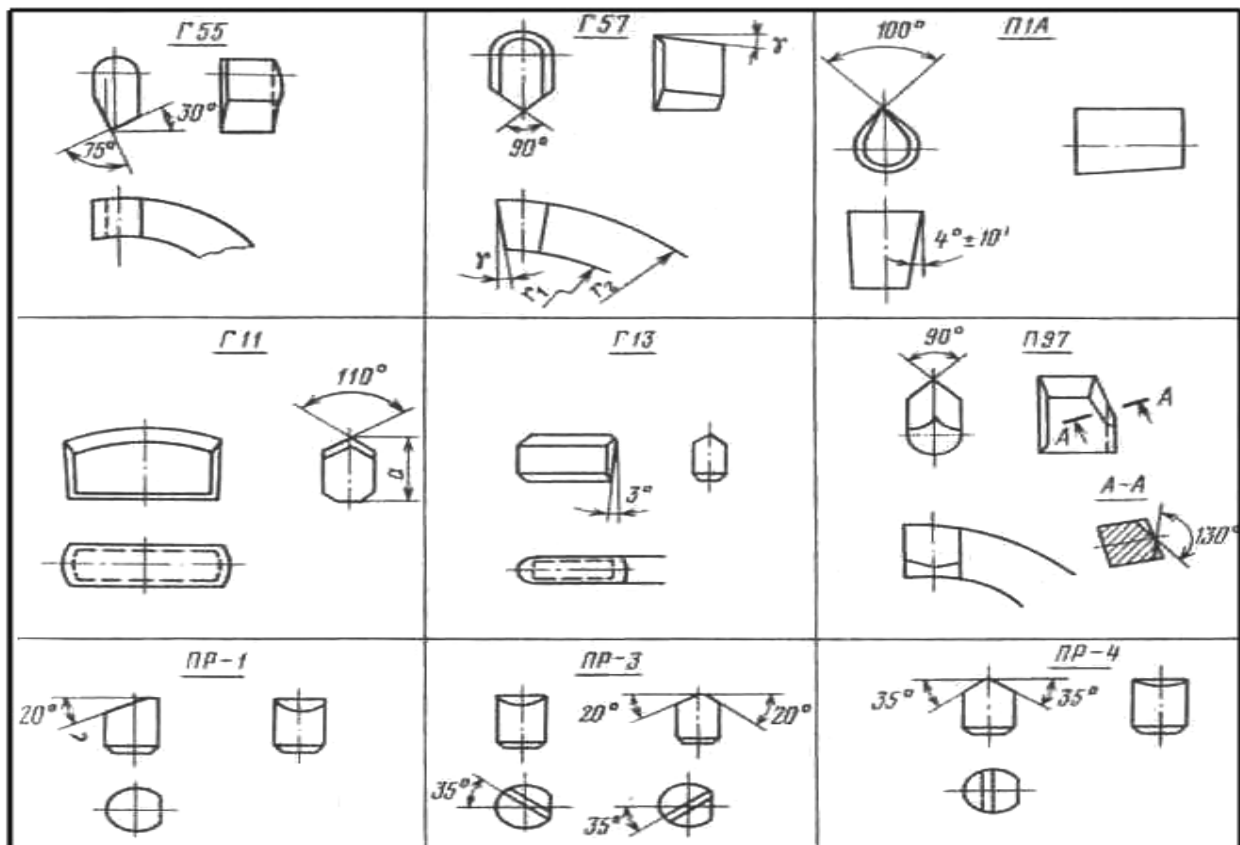


Рис. 3.3. Типы твердосплавных вставок

В коронках для бурения скважин гидроударниками (рис. 3.4) вставки устанавливаются в вырезах-гнездах и закрепляются пайкой. При этом они выступают на 1,5 мм наружу и внутрь короночного кольца, а на торце – на 4,5 мм, что исключает трение кольца о стенку скважины и породный керн [1].

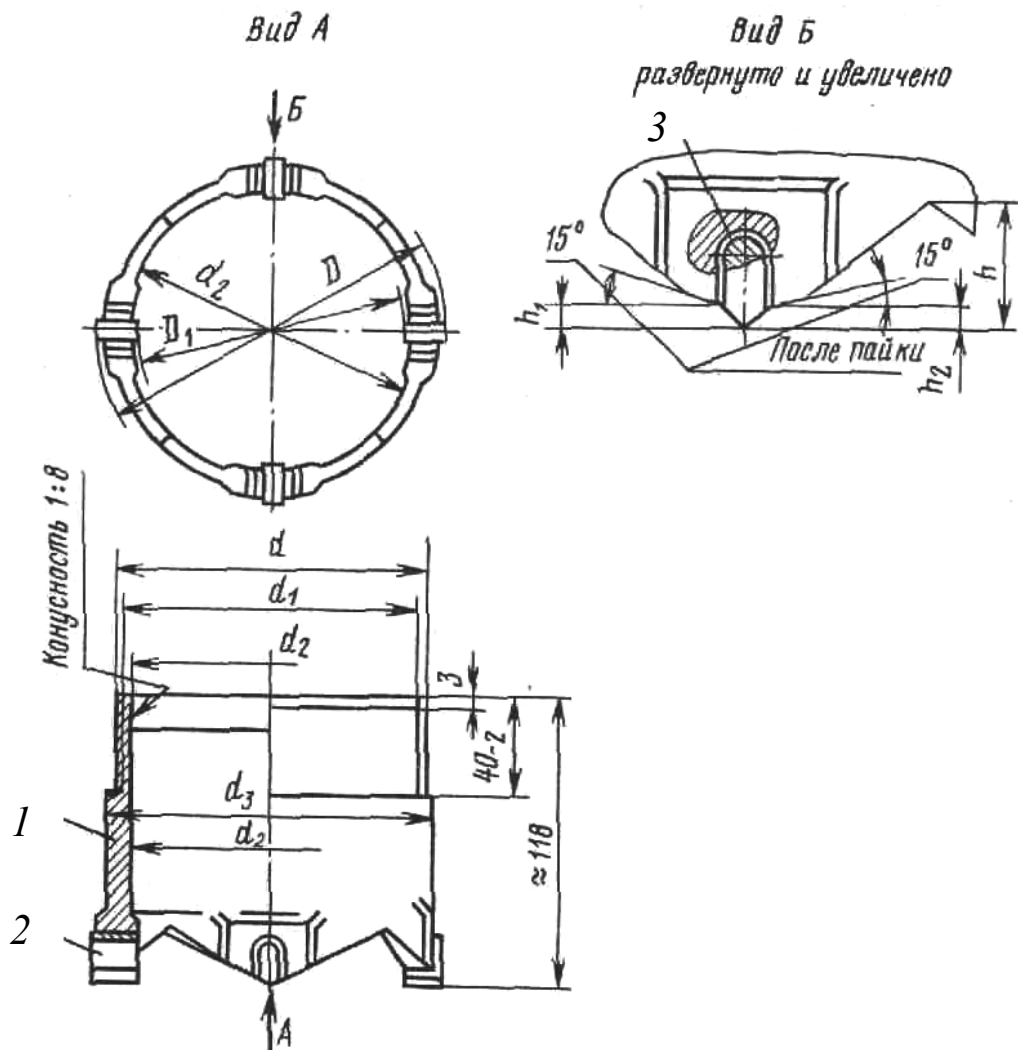


Рис. 3.4. Конструктивные элементы коронок для ударно-вращательного бурения: 1 – короночное кольцо; 2 – вставка; 3 – прокладка из стальной сетки

Для бурения скважин с применением пневмоударников ЦНИГРИ разработаны коронки типа КП (рис. 3.5) для простых колонковых снарядов и КДП – для двойных [1].

Коронка КП выполнена в виде стального толстостенного кольца с ребрами жесткости, в торце которых крепятся твердосплавные вставки. Резьбовая часть коронки в связи с передачей существенных динамических нагрузок имеет коническую форму. Такое резьбовое соединение обеспечивает герметичность, повышенные прочность и износостойкость, а также уменьшает трудоемкость отвинчивания и навинчивания коронки на штангу.

На рис. 3.5, в представлена коронка со вставками, имеющими лезвия треугольной формы. Такая конструкция позволяет уменьшить количество вставок в коронке. Для отрыва керна породы и

удержания его при подъеме из скважины в специальных пазах коронки монтируются две скобы П-образной формы. При отсутствии керна скобы, свободно перемещаясь в пазах, опускаются в нижнее крайнее положение и выступают на 5–6 мм из тела коронки. При продвижении керна внутрь коронки скобы поднимаются и утапливаются в пазах. При подъеме бурового инструмента они под действием сил трения выходят из пазов в зазор между внутренней стенкой коронки и керном. КERN в этом случае заклинивается и надежно удерживается в колонковом буровом снаряде.

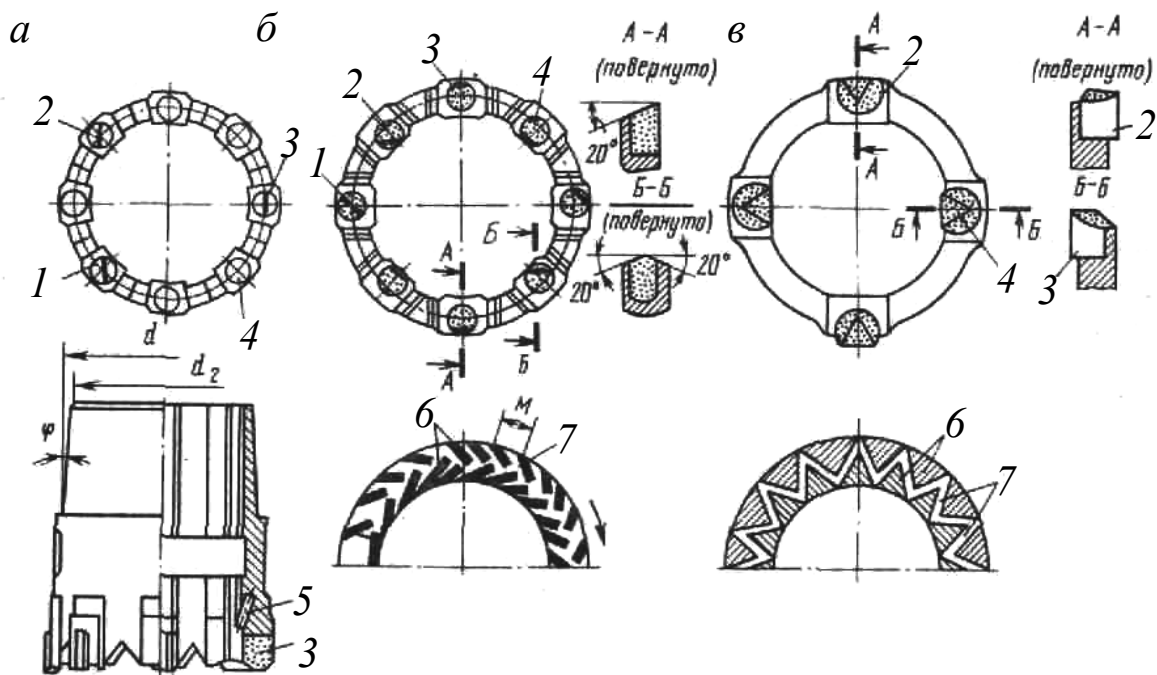


Рис. 3.5. Конструктивные элементы коронок для ударно-вращательного бурения с пневмоударником: 1, 2, 3, 4 – вставки; 5 – скоба кернарвателя; 6 – элементы породы, скалываемые при ударе; 7 – линии контакта лезвия вставки с породой забоя

Для бурения скважин увеличенного диаметра используются твердосплавные долота (рис. 3.6). В отличие от коронок КП они не имеют внутренних ребер [1]. Для получения керна вставки выступают внутрь короночного кольца на 0,7–1 мм. Для захвата и удержания керна в коронках КДП встроены специальные скобы 3.

Рассмотренные выше конструкции обеспечивают получение кольцевого забоя с выбуриванием керна. Долота, представленные ниже (рис. 3.7, 3.8), разрушают породу забоя без образования керна [1].

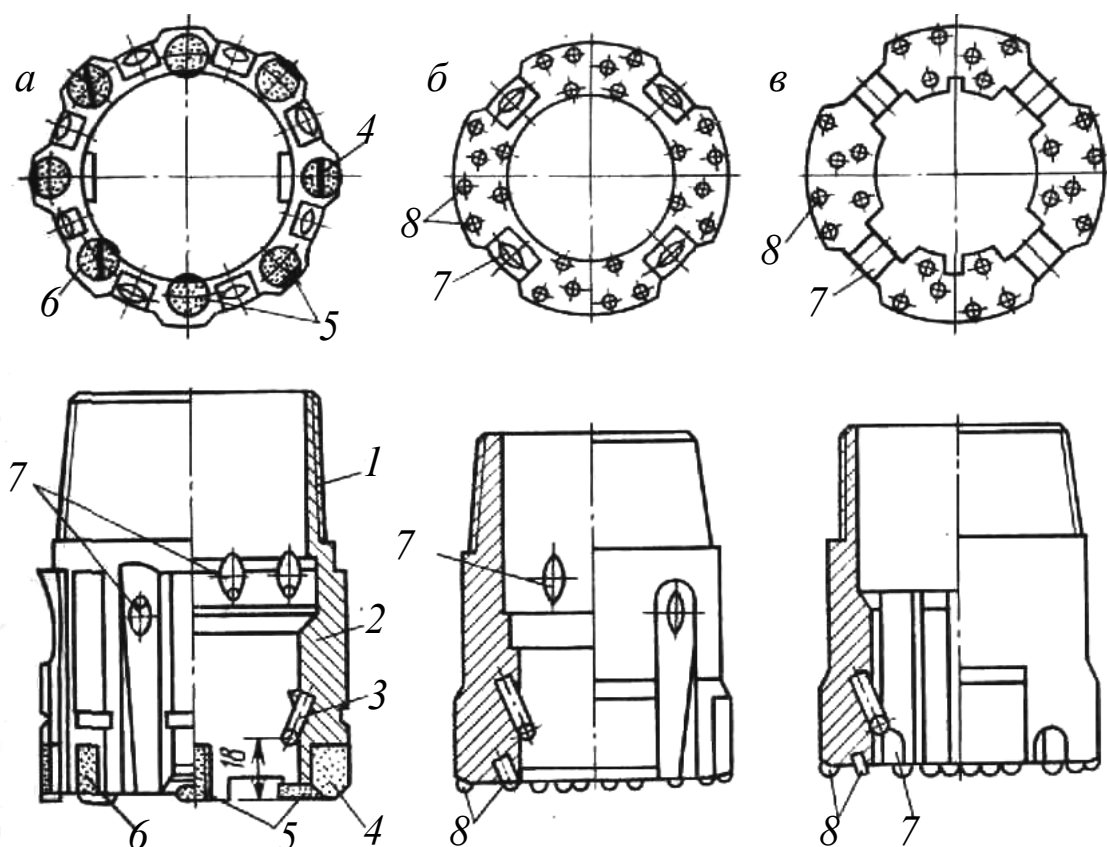


Рис. 3.6. Конструкции долот для ударно-вращательного бурения с пневмоударником: *а* – КДП; *б* – КДП-М; 1 – соединительная резьба; 2 – корончатое кольцо; 3 – скоба кернорвателя; 4, 5, 6, 8 – твердосплавные вставки различной формы; 7 – циркуляционные окна

Долото Д4М-3 (рис. 3.7, *а*) имеет ступенчатую форму с опережающей центральной вставкой 1, что улучшает процесс разрушения породы забоя и снижает его энергоемкость. Долото армируется твердосплавными вставками Г301, Г1109 с клиновидной головной частью. Как видно из рисунка, три боковых вставки расположены под углами  $120^\circ$ . Диаметр этих долот составляет 96, 115 мм. К бурильным трубам долото крепится с помощью наружной резьбы на корпусе 4.

Долото ГПИ 148М (рис. 3.7, *б*) крепится к бурильным трубам внутренней резьбой конической формы. Центральная вставка 1 расположена в корпусе 4 долота диаметрально, что увеличивает прочность ее соединения с корпусом. Долота диаметром 76 мм оснащаются вставками Г1106, Г1105, Г5703.

Долото ГПИ 149М-76 (рис. 3.7, *в*) имеет ступенчатую форму с опережающей центральной вставкой 1 и четыре боковых вставки 2 типа П56, П49. Конструкция корпуса 4 выполнена аналогично долоту ГПИ 148М.

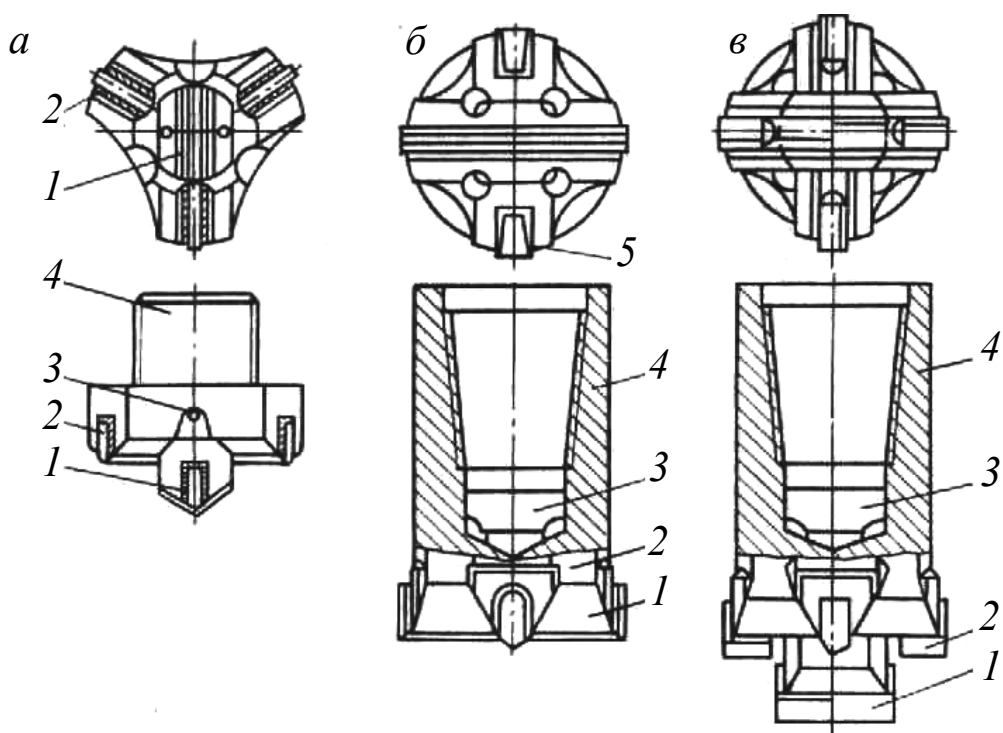


Рис. 3.7. Конструкции долот для гидроударников: 1 – центральная вставка; 2 – боковые вставки; 3 – циркуляционные каналы; 4 – корпус; 5 – калибрующие вставки

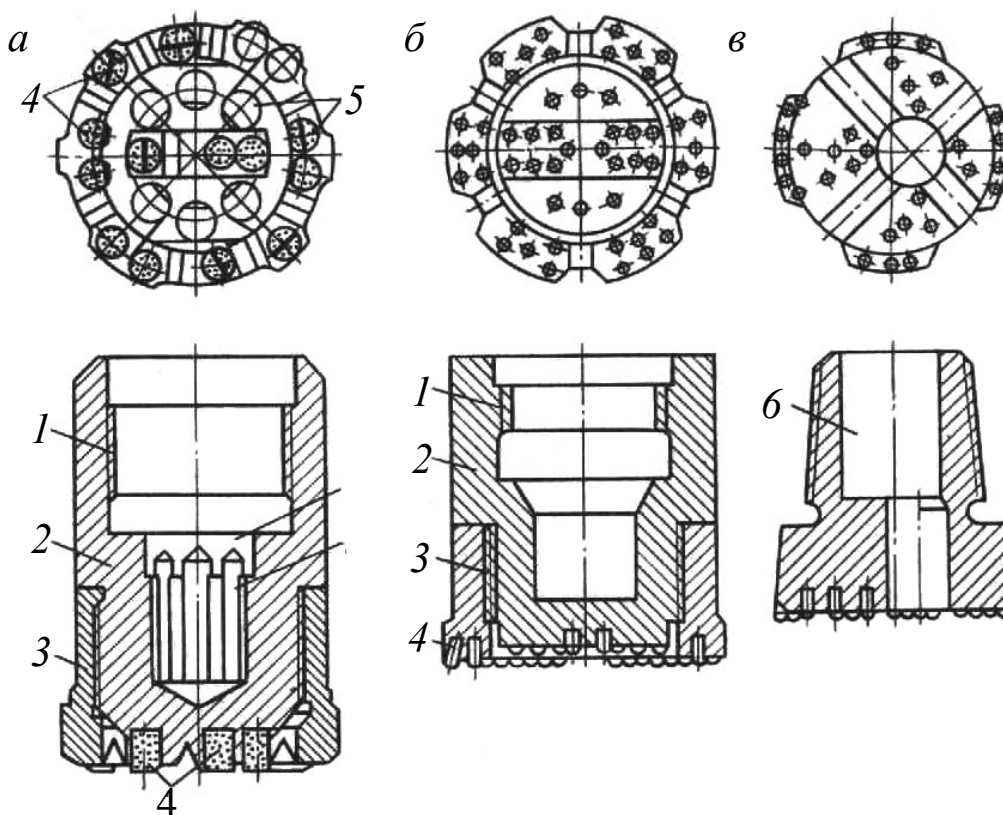


Рис. 3.8. Конструкции долот для пневмоударников: 1 – соединительная резьба; 2 – корпус долота; 3 – кольцо; 4 – вставки; 5, 6 – циркуляционные каналы



Для работы с пневмоударниками нашли применение долота типа КПС, КПС-М (рис. 3.8). Долото КПС (рис. 3.8, а) состоит из корпуса 2 с внутренней резьбой для соединения с бурильными трубами. Для армирования корпуса используются вставки в виде штырей цилиндрической формы ПР1, ПР2, ПР3, ПР4 с клиновидной головной частью, с углом заострения 70–140°. Стандартные диаметры долот 96, 113, 132, 152 мм. Долото КПС-132М (рис. 3.8, б) отличается тем, что оснащается вставками (штырями) меньшего диаметра со сферической головной частью, которая рекомендуется вместо клиновидной для более крепких пород. Область применения долот породы крепостью  $f = 6-16$ . Долото КПС-96М (рис. 3.8, в) имеет более простую технологичную конструкцию с конической наружной присоединительной резьбой.

Коронка К-105К (рис. 3.9) – четырехперая, X-образная. Корпус 1 коронки изготовлен из стали марки 45ХН и снабжен хвостовиком для соединения коронки с пневмоударником. Четыре режущих лезвия 2 армированы вставками (пластинками) 3 твердого сплава марки ВК15 формы Г13 и ГОСТ 880–75. Режущие лезвия выбуривают кольцевую канавку с наружным диаметром 105–106 мм и внутренним 41 мм [6].

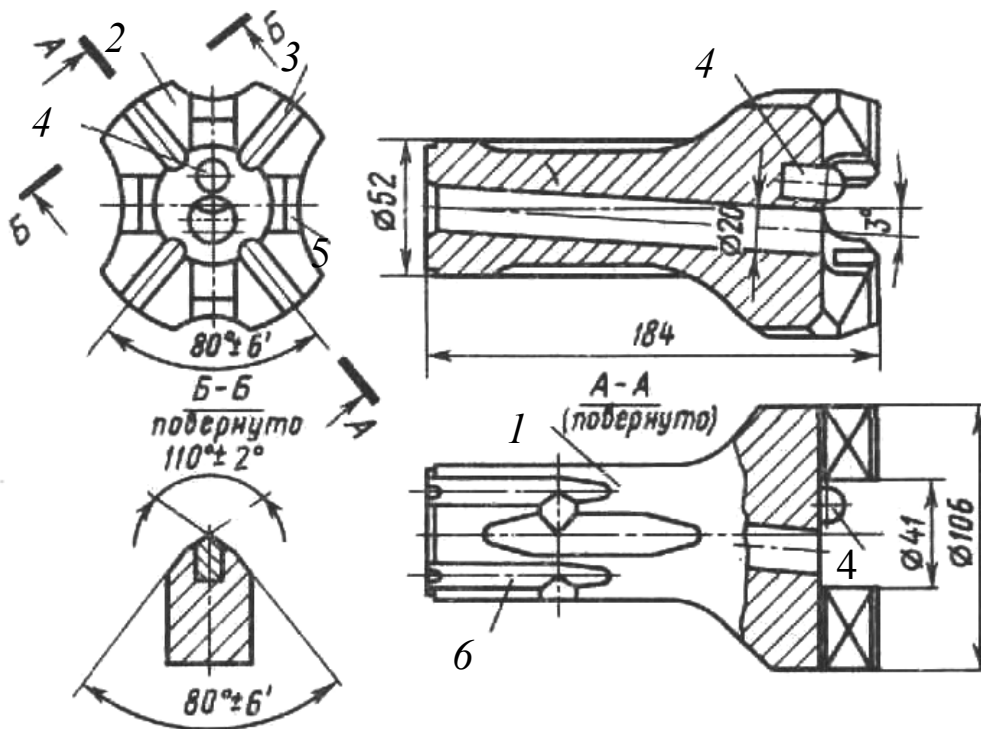


Рис. 3.9. Буровая коронка К-105К для пневмоударника

Образующийся при этом в центре скважины керн диаметром 41 мм разрушается штырем 4 из твердого сплава марки ВК15, запрессованным в корпусе коронки. Сквозной центральный канал диаметром 20 мм служит для подвода сжатого воздуха из цилиндра пневмоударника для очистки забоя от буровой мелочи, которая выдувается в кольцевой зазор между пневмоударником и стенкой скважины через радиальные проточки 5 и полукруглые выточки на наружной поверхности коронки. На хвостовике коронки предусмотрены пазы 6 для шариков диаметром 17 и 46 мм, соединяющих ее с пневмоударником. Коронка К-125К имеет аналогичную конструкцию и отличается от коронки К-105К только размерами.

Буровые долота для ударно-вращательного бурения (рис. 3.10) состоят из головной части 1 и хвостовика 2, который необходим для передачи инструменту крутящего момента и ударного импульса [7].

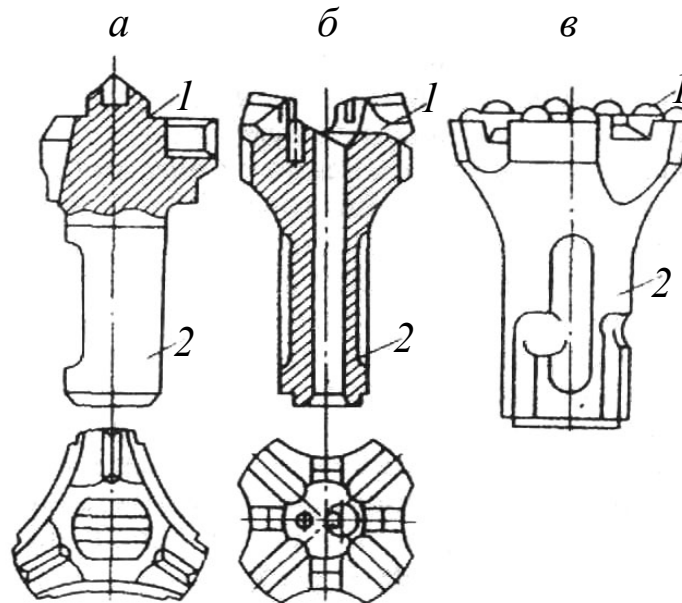


Рис. 3.10. Долота для ударно-вращательного бурения: *а* – К100В и БК-155; *б* – К105КА и К-130К; *в* – КНШ-110

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 скважины – с центральной, внецентренной и внешней продувкой.

Долота с одним лезвием просты и легко затачиваются. Высокая энергия удара на лезвии долота обеспечивает большую скорость

бурения, однако в процессе бурения (особенно по абразивным породам) диаметр долота уменьшается, образуется обратный конус и долото заклинивается. Заклинивание происходит также при бурении по трещиноватым породам.

Многолезвийные долота могут быть с опережающим лезвием и без него. Долота с четырьмя лезвиями могут быть крестовыми и с Х-образным расположением лезвий.

Долота с тремя и четырьмя лезвиями износоустойчивы, хорошо формируют стенки скважины по диаметру и почти не заклиниваются при бурении трещиноватых пород.

Их недостатки: трудность заточки лезвий, относительно небольшая скорость бурения из-за небольшой удельной энергии удара на единицу длины лезвия долота.

### 3.1.4. Твердосплавные инструменты для вращательно-ударного бурения пород

В горнодобывающих отраслях промышленности применяют главным образом составные буровые штанги со съемными коронками, армированными твердосплавными вставками. Буровые коронки [8] для перфораторного бурения (ГОСТ 17196–77) изготавливают четырех типов, диаметром 32–85 мм, с конусным или резьбовым присоединительным отверстием. Коронки диаметром до 43 мм должны применяться с перфораторами с энергией удара не более 63,74 Дж, диаметром от 43 до 65 мм – с энергией удара не более 88,26 Дж, диаметром свыше 65 мм – не более 147,1 Дж.

Типы и область применения коронок приведены в табл. 3.1 и на рис. 3.11.

Таблица 3.1

Типы коронок

Тип	Наименование	Характеристика породы
КДП	Долотчатые пластинчатые	Вязкие монолитные
ККП	Крестовые пластинчатые	Вязкие трещиноватые и абразивные
КТШ	Трехперые штыревые	Хрупкие монолитные и трещиноватые
КНШ	Неперетачиваемые штыревые	Хрупкие абразивные

Коронка перфоратора (рис. 3.11, *a*) состоит из корпуса *1* и пластинчатого или штыревого твердосплавного вооружения *3* из сплава марки ВК15. Для подачи воды к забою предусмотрено отверстие *2*. Твердосплавное вооружение *3* – это либо пластинки, либо круглые стержни из твердого сплава марки ВК15 для пород  $f = 12-16$ , марок ВК8 и ВК8В – для пород с  $f = 10-12$ , марок ВК6 и ВК6В – для пород с  $f = 10$ . Твердые сплавы представляют собой смеси порошков карбида вольфрама и кобальта, спеченные при высоких температуре и давлении. Цифра в марке твердого сплава указывает на содержание кобальта в процентах. Сплавы с малым содержанием кобальта обладают более высокой твердостью, но они и более хрупкие.

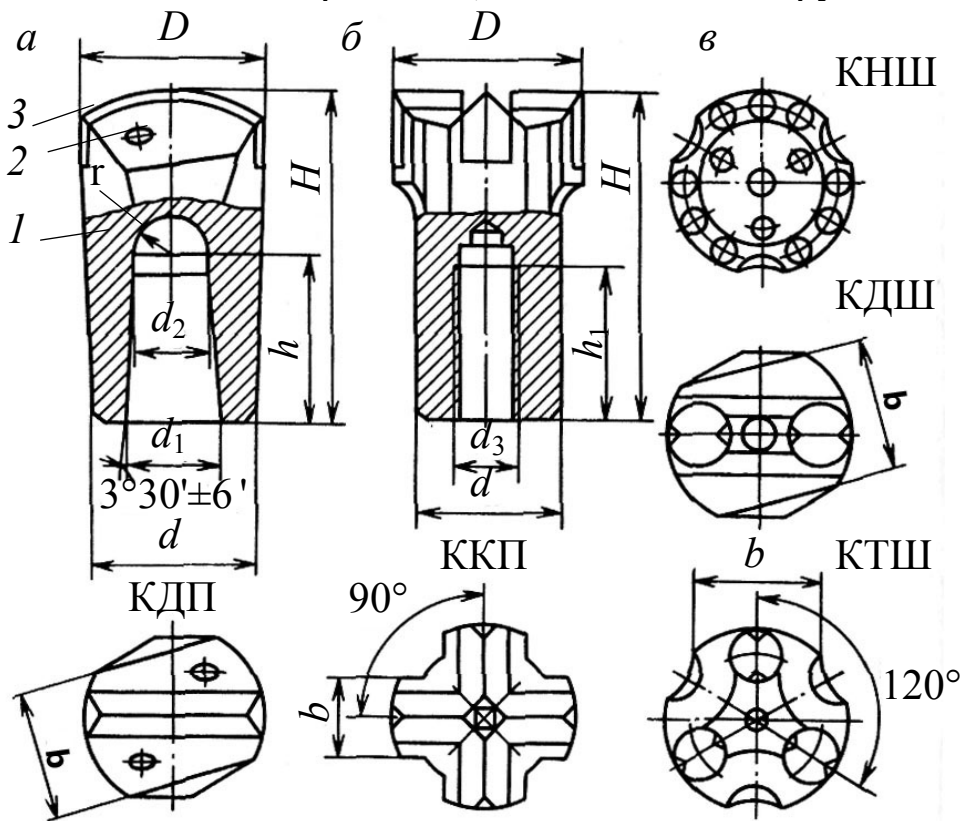


Рис. 3.11. Буровые коронки: *a* – с конусным отверстием; *б* – с резьбовым отверстием; *в* – вид с торца типов КДП; ККП; КНШ; КДШ; КТШ (размеры, мм:  $D$  – диаметр головки,  $d$  – диаметр корпуса,  $d_3$  – диаметр резьбы,  $H$  – высота коронки,  $h_1$  – длина резьбы,  $b$  – толщина лезвия)

*Долотчатые коронки* (КДП) с прямоугольными твердосплавными вставками в виде пластинок применяют для бурения крепких и вязких пород, крестовые пластинчатые рекомендуются для крепких трещиноватых пород. *Штыревыми коронками* (КДШ) бурят шпур в трещиноватых породах средней крепости.

Для бурения скважин диаметром более 65–70 мм и больше вместо крестовой формы головки применяют Х-образную, которая лучше обеспечивает круглое сечение скважины.

*Пример условного обозначения коронки типа КТШ размерами  $D = 52$  мм,  $d_3 = 31$  мм с круглой резьбой: КТШ 52-31К ГОСТ 17196–77. То же, размерами  $D = 52$  мм,  $d_3 = 31$  мм с круглоупорной резьбой: КТШ 52-31К КУ ГОСТ 17196–77.*

Наибольшее распространение получили долотчатые коронки. Так, в рудной промышленности расходуется долотчатых коронок 79,5 %, крестовых 17 %, трехперых 3,5 %. Расход коронок различных диаметров составляет: диаметром 32–38 мм – 1,9 %, 40–46 мм – 89,3 % и 49 мм – 8,8 %. Коронки с резьбовым соединением имеют левую круглую резьбу (К) или левую круглоупорную резьбу (КУ).

Незатачиваемые штыревые коронки (одноразового действия) КНШ армируют цилиндрическими штырями твердого сплава с закругленной головкой. Срок использования таких коронок в 1,7–2 раза больше, чем у долотчатых. Они не требуют заточки, что позволяет бурить ими глубокие скважины без разборки бурового става для замены коронки. После прохода 150–300 м скважины рекомендуется шлифовать торцы вставок для удаления поверхностного слоя усталостных трещин. В противном случае трещины углубляются и приводят к излому твердого сплава.

Коронка считается затупленной, если она имеет притупление, равное 3 мм, на расстоянии 5 мм от внешнего края, или когда высота понижения угла пластины достигает 8 мм. При правильной эксплуатации коронка выдерживает до 10 заточек.

Все коронки, кроме коронок типа КНШ (КОШ), подлежат заточке после затупления.

Для коронок установлен следующий ряд наружных диаметров: 32, 36, 40, 43, 46, 52, 56, 60, 65, 70, 75, 85 мм.

### **3.1.5. Материалы для твердосплавных вставок**

В целях повышения износостойкости горных инструментов их режущую часть оснащают металлокерамическими, наплавочными твердыми сплавами. Соединение сплава с корпусом породоразрушающего инструмента должно быть достаточно прочным, так как большая разница в значениях коэффициентов термического расширения (в 2–4 раза) твердого сплава и стали корпуса приводит к воз-

никновению при пайке (нагреве) термических напряжений, после охлаждения часто превосходящих предел прочности твердого сплава.

Для армирования породоразрушающего инструмента используют спеченные вольфрамокобальтовые сплавы марки ВК (табл. 3.2) [9].

Таблица 3.2

## Характеристика твердых сплавов

Марка сплава	Содержание основных компонентов, %		Физико-механические свойства		
	карбид вольфрама	кобальт	предел прочности при изгибе, МПа, не менее	плотность, г/см <sup>3</sup>	твёрдость НРС, не менее
ВК3	97	3	1100	15,0–15,3	89,5
ВК3-М	97	3	1100	15,0–15,3	91,0
ВК4	96	4	1400	14,9–15,2	89,5
ВК4-В	96	4	1400	14,9–15,2	88,0
ВК6	94	6	1500	14,6–15,0	88,5
ВК6-М	94	6	1350	14,8–15,1	90,0
ВК6-ОМ*	92	6	1200	14,7–15,0	90,5
ВК6-В	91	6	1550	14,6–15,0	87,5
ВК8	92	8	1600	14,4–14,8	87,5
ВК8-В	92	8	1750	14,4–14,8	86,5
ВК8-ВК	92	8	1750	14,5–14,8	87,5
ВК10	90	10	1650	14,2–14,6	87,0
ВК10-М	90	10	1500	14,3–14,6	88,0
ВК10-ОМ*	88	10	1400	14,3–14,6	88,5
ВК10-КС	90	10	1750	14,2–14,6	85,0
ВК11-В	89	11	1800	14,1–14,4	86,0
ВК11-ВК	89	11	1800	14,1–14,4	87,0

Примечание: \* содержит 2 % карбида тантала ([www.drillings.ru/tverdsplav](http://www.drillings.ru/tverdsplav)).

Преимущества твердых сплавов ВК:

- большая твердость (до 91 HRC),
- высокое сопротивление износу при нагреве до 1000 °С,
- неподверженность заметной пластической деформации,
- большая прочность на сжатие,
- отсутствие упругой деформации.

Недостатки твердых сплавов ВК:

- малый предел прочности на изгиб и растяжение,
- небольшая ударная вязкость.

Соединение сплава с корпусом породоразрушающего инструмента должно быть достаточно прочным, так как большая разница в значениях коэффициентов термического расширения (в 2–4 раза) твердого сплава и стали корпуса приводит к возникновению при пайке (нагреве) термических напряжений, после охлаждения часто превосходящих предел прочности твердого сплава.

Сплав изготавливают в специальных графитовых пресс-формах путем спекания при температуре ниже температуры плавления карбидов в соответствии с требованиями ГОСТ 3882–74. Цифры в марке сплава соответствуют процентному содержанию кобальта. Сплавы получают спеканием смеси порошков монокарбида вольфрама и кобальта при температуре 1320–1480 °С. Монокарбид вольфрама – соединение твердостью 1730 МПа с температурой разложения 2600 °С – представлен в сплавах в виде зерен размером 1–5 мкм (основная масса). Кобальт в сплаве – цементирующая составляющая. Твердость кобальта в 4–5 раз ниже, чем карбида вольфрама, температура плавления 1350 °С. Кобальт хорошо смачивает карбид вольфрама, в сплаве он находится не в чистом виде, а содержит твердые растворы вольфрама и углерода (от 1 до 8–10 % по массе) [6, 9, 10].

По структуре промышленность РФ выпускает сплавы: мелкозернистые (размер зерен до 1 мкм), среднезернистые (размер зерен 1–2 мкм) и крупнозернистые (размер зерен 2–5 мкм). Мелкозернистые сплавы при одинаковом химическом составе имеют большие твердость и износостойкость, но меньшую прочность, чем крупнозернистые. Последние имеют повышенные прочность и ударную вязкость, но более низкую износостойкость. В этой связи в горной промышленности широко применяются средне- и крупнозернистые сплавы.

### 3.1.5.1. Физические свойства твердых сплавов

*Плотность.* Плотность сплавов зависит от химического состава сплавов (с увеличением содержания Со и титана уменьшается). Плотность снижается при наличии в конкретном сплаве остаточной пористости, свободного графита.

*Теплопроводность.* Твердые сплавы работают в условиях трения. В результате образуется тепло, которое при хорошей теплопроводности должно отводиться от места контакта резец – порода.

Если твердый сплав имеет низкую теплопроводность, то выделяющееся тепло сосредоточивается на режущей кромке резца, и он интенсивно изнашивается. Поэтому теплопроводность должна быть оптимальной, обеспечивать наилучшие режущие свойства твердого сплава.

В пределах одной группы сплавов теплопроводность зависит от количества карбидной фазы и пористости. С уменьшением карбидной фазы и пористости теплопроводность возрастает. Вольфрамкобальтовые сплавы более теплопроводны, чем титановольфрамкобальтовые.

*Коэффициент термического расширения* твердых сплавов в 2–4 раза меньше, чем у сталей. Такое различие коэффициентов приводит к возникновению после охлаждения в спаянных соединениях температурных напряжений. Теплопроводность сплавов группы ВК в 2–3 раза выше, чем быстрорежущей стали. Определенная по методу Кольрауша, она для сплавов с 4 % Со равна 50,24 Вт/(м·К) и с 15 % Со – 66,99 Вт/(м·К). С повышением температуры теплопроводность снижается. Высокая теплопроводность способствует быстрому отводу тепла от режущих кромок инструмента и уменьшению их износа [9].

*Коэффициент линейного расширения* твердых сплавов характеризует удлинение тела при нагреве, зависит от химического состава сплава и с увеличением содержания кобальта возрастает.

Коэффициент линейного расширения титановольфрамовых сплавов примерно в 2 раза ниже, чем для малоуглеродистой стали. Это различие отражается на качестве инструмента с напаянными пластинами. Из-за дополнительных напряжений, возникающих в результате различия в коэффициентах линейного расширения, пластины могут отслаиваться от корпуса резца или иметь трещины.



Термические свойства твердых сплавов играют большую роль при изготовлении и эксплуатации инструмента. Твердые сплавы чувствительны к условиям нагрева и охлаждения, а они всегда имеют место при пайке пластин твердого сплава к инструменту, при шлифовании и заточке изделий. Во избежание образования трещин в изделиях из твердых сплавов следует применять медленное нагревание и охлаждение при пайке, оптимальные режимы при шлифовании и обильное охлаждение.

*Красностойкость* – свойство твердого сплава сохранять твердость, износостойкость и другие качества, необходимые для резания. Она проявляется в интервале температур 900–1000 °С. Красностойкость титановольфрамовых сплавов выше, чем вольфрамокобальтовых, благодаря присутствию карбида титана.

### **3.1.5.2. Механические свойства твердых сплавов**

Твердость – свойство твердого тела сопротивляться проникновению в него другого тела. Твердость – одно из главных свойств твердых сплавов, т. к. от нее зависит их износостойкость. Главное влияние на нее оказывает количество карбидной фазы и размер зерна этой фазы. С увеличением количества карбидной фазы или уменьшением размера зерна твердость возрастает [9].

Твердость сплавов в несколько раз выше твердости сталей и составляет от 84–86 до 90–91 HRA. При нагреве сплава твердость его снижается, но остается в 2–3 раза выше, чем у быстрорежущей стали. Титановольфрамовые сплавы отличаются более высокой твердостью, чем вольфрамовые, т. к. карбид титана тверже, чем карбид вольфрама.

Предел прочности при изгибе.

Прочность – свойство твердого тела сопротивляться воздействию внешних сил. Прочность сплавов на изгиб с повышением содержания кобальта возрастает от 1000 (сплав ВК2) до 1800–2000 МПа (сплав ВК15) и снижается при повышении температуры. С увеличением крупности зерен карбида вольфрама прочность на изгиб повышается.

Ударная вязкость твердых сплавов весьма низка и находится в пределах 2–7 Дж/см<sup>2</sup>, тогда как, например, у стали 40Х она во много раз выше (120–170 Дж/см<sup>2</sup>). С повышением содержания кобальта

ударная вязкость растет от 1,0 (ВК2) до 6,5 Дж/см<sup>2</sup> (ВК30). У крупнозернистых сплавов она на 20–30 % выше, чем у мелкозернистых.

Модуль упругости сплавов в среднем в 3 раза выше, чем у легированных сталей, и составляет  $6 \cdot 10^5$  МПа. С увеличением содержания кобальта модуль упругости несколько снижается. Большое различие в модулях упругости двух материалов (стали и твердого сплава), из которых изготавливают и которыми армируют инструмент, приводит к значительной перегрузке твердого сплава. Поэтому место соединения твердого сплава со сталью должно быть жестким.

Прочность характеризуется величиной разрушающих нагрузок при сжатии, изгибе, растяжении и находится в обратной зависимости от твердости. Она зависит от размера зерен карбидной фазы и возрастает с увеличением содержания кобальта, достигая максимума при  $C_{Co}$  15–20 %. Титановольфрамовые сплавы менее прочные, т. к. карбид титана имеет меньшую прочность. Прочность твердых сплавов при сжатии имеет весьма большое значение и характеризует в некоторой степени их пластические свойства. С увеличением размера зерна карбидных зерен, а также содержания кобальта предел прочности твердых сплавов при сжатии  $\sigma_{сж}$  монотонно уменьшается.

### 3.2. Шарошечные инструменты

Большое разнообразие бурильных машин и способов разрушения массива угля и горных пород предопределило и большое разнообразие шарошечных инструментов. Разработан и предложен целый ряд классификаций этого инструмента, в основу которых положены различные признаки: назначение, область применения, конструктивные особенности и др.

Раздавливающий инструмент классифицируется на *дисковые*, *штыревые* и *зубчатые шарошки* (рис. 3.12) [11].

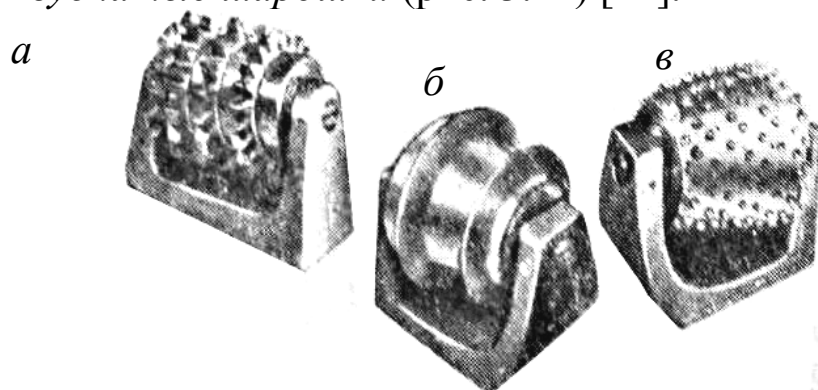


Рис. 3.12. Шарошки фирмы “Хугес Тул” США: *а* – трехвенцовая зубчатая; *б* – двухдисковая; *в* – многовенцовая штыревая

*Шарошечный инструмент* по принципу воздействия на разрушаемую породу отличается от других статическим приложением осевой нагрузки. Он характеризуется непрерывностью процесса разрушения, низкими затратами энергии на трение, что позволяет применять его по крепким абразивным породам. Однако статическое раздавливание породы требует больших осевых усилий, поэтому машины с таким инструментом имеют большую массу и габариты. Шарошки применяют для бурения скважин в широком диапазоне по крепости пород от  $f=3$  до  $f=18$ .

### **3.2.1. Шарошечные долота для бурения скважин на открытых горных работах**

Основным породоразрушающим инструментом, которым в настоящее время бурится свыше 80 % скважин на открытых горных работах, являются шарошечные долота. Шарошечные долота представляют собой наиболее универсальный породоразрушающий буровой инструмент, поскольку область его применения охватывает практически все многообразие горных пород: от очень мягких до весьма твердых.

Согласно ГОСТ 20692–2003 шарошечные долота [7, 12–18] для бурения взрывных скважин могут быть с *одной* (рис. 3.13, 3.14) [12, 13], *двумя* (рис. 3.15) [13, 18], *тремя* (рис. 3.16, 3.17) и более шарошками. Наибольшее распространение получили трехшарошечные долота.

*Одношарошечные долота* (см. рис. 3.13) состоят из корпуса 1 с присоединенной головкой, лапы 2 и сферической шарошки 3. Промывочное устройство выполнено в виде сквозного периферийного отверстия 4, просверленного в лапе недалеко от основания цапфы, направляющего струю жидкости по касательной к поверхности шарошки. Шарошка выполняется с продольными вырезами на ее наружной поверхности, способствующими лучшей промывке долота, и оснащается вставными твердосплавными зубками (ВК8ВК, ВК11ВК). Одношарошечные долота изготавливались диаметрами 97, 140, 161, 190, 214 (серийные) и 269 мм (опытные) (см. рис. 3.13, 3.14).

*Двухшарошечные долота* (см. рис. 3.15) выпускались в более широком ассортименте, чем одношарошечные. Их применяют главным образом при бурении геологоразведочных скважин. Например, долото В112МГ выполняется двухсекционным. Секции этого долота, похожие на секции трехшарошечного долота, сопрягаются плоскостями на фиксирующих штифтах и соединяются сварными швами.

Угол наклона цапф к оси долота  $57^{\circ}30'$ . Опора каждой шарошки выполнена по схеме СШР, т. е. подшипник скольжения, шарикоподшипник (замковый) и роликовый подшипник. Шарошки – самоочищающиеся со смещением их осей относительно осей долота на 3 мм.

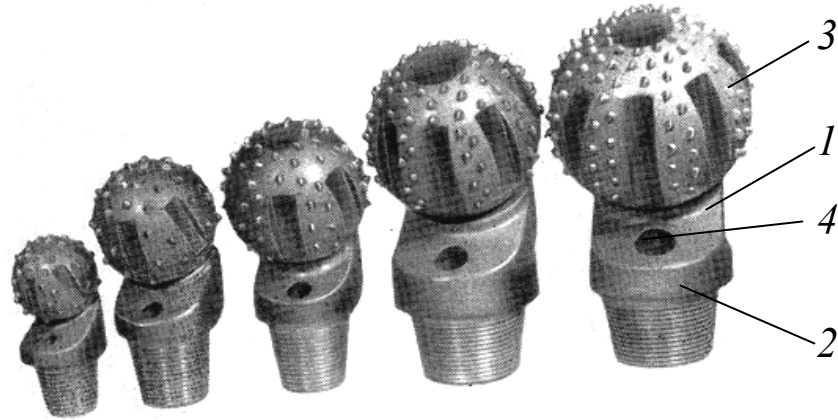


Рис. 3.13. Нормальный ряд одношарошечных долот СевКавНИИ

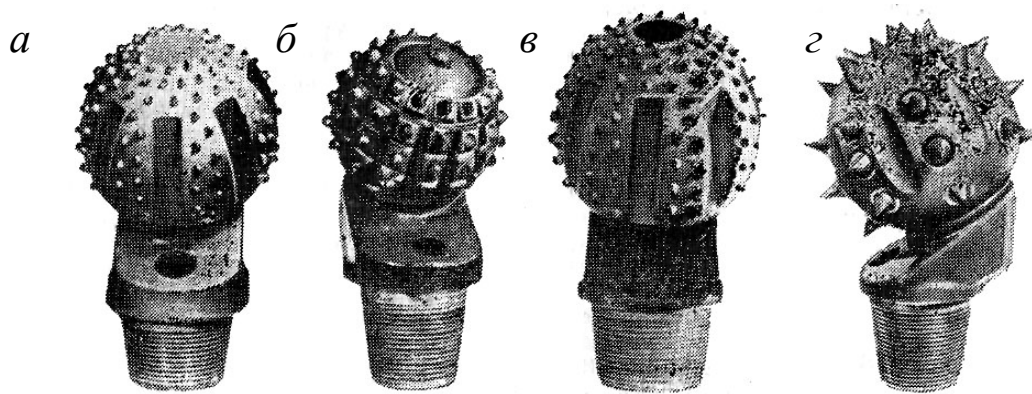


Рис. 3.14. Модификации отечественных одношарошечных долот: *а* – серийная; *б* – с кольцевыми расточками на шарошке; *в* – с нижней промывкой; *г* – с коническими зубками

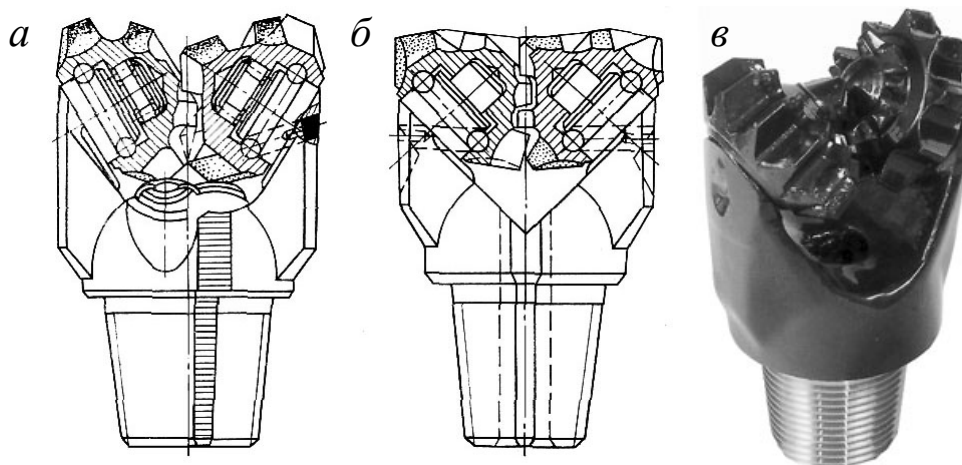


Рис. 3.15. Двухшарошечные долота: *а* – В112МГ; *б* – 2В39С; *в* – П 112 М-ЦВ ОАО «ВБМ-групп»

*Обозначение долота II 112 М-ЦВ* означает «двухшарошечное долото диаметром 112 мм для бурения мягких пород (М) с центральной промывкой (Ц) на подшипниках качения (ЦВ)».

Фрезерованные зубья шарошек – крупные, заостренные, защищенные твердосплавной наплавкой. Выемки между зубьями по венцу довольно широкие и глубокие, так же как и межвенцовые расточки. Такое вооружение обеспечивает наиболее высокую эффективность в очень мягких и вязких породах. Промывка – боковая. Промывочные каналы иногда оснащаются минералокерамическими соплами, направляющими струи жидкости в зазоры между шарошками.

В определенных геологотехнических условиях эти долота обеспечивают превосходство над трехшарошечными на 10–15 % по проходке и на 15–20 % по механической скорости, т. е. в условиях, когда невозможно создать необходимые осевые нагрузки для нормальной работы трехшарошечных долот. Каждая отдельная секция двухшарошечного долота имеет большие диаметры шарошек по сравнению с трехшарошечным, что позволяет иметь на шарошке увеличенное число зубчатого или твердосплавного вооружения при увеличенном шаге между зубками. Зубки, расположенные на шарошке с увеличенным шагом, наносят по забою более интенсивные удары со сколом более крупных частиц разбуриваемой породы.

*Преимуществом* двухшарошечных долот над трехшарошечными является упрощение технологии их изготовления. Двухшарошечные долота имеют меньшую стоимость. *К недостаткам* двухшарошечных долот относится недостаточно мощное калибрующее вооружение – насыщенность зубьями снижена на 30 % по сравнению с трехшарошечными долотами. Это приводит к преждевременному износу долота по диаметру, а также является причиной вибрации при бурении, приводящей к более интенсивному искривлению скважины, чем при бурении трехшарошечными долотами.

*Трехшарошечные долота.* Наиболее распространенными являются трехшарошечные долота. Это объясняется наилучшей вписываемостью в круглое поперечное сечение скважины трех конических шарошек, обеспечивающих лучшее центрирование и устойчивость долота, относительно небольшое естественное искривление ствола буримой скважины, хорошую калибровку стенки скважины, возможность размещения в их внутренних полостях достаточно прочной опоры.

Трехшарошечные долота [7, 13–18] используют для разработки пород от мягких до очень крепких с вооружением шарошки в виде фрезерованных на ней зубьев (см. рис. 3.16, *а*, 3.17, *а*) различной длины и конфигурации или впрессованных в нее штырей из твердого сплава – карбида вольфрама (см. рис. 3.16, *б*, 3.17, *б*).

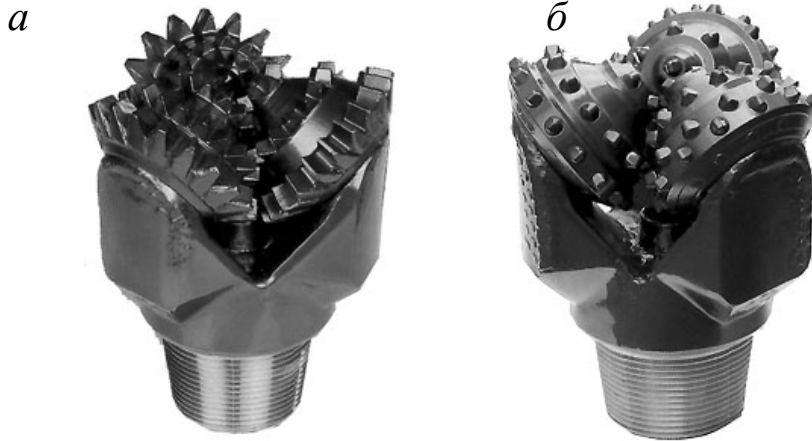


Рис. 3.16. Трехшарошечные долота ОАО «ВБМ-групп»: *а* – с фрезерованным вооружением Ш 215,9 Т-ПВ для бурения твердых пород; *б* – с твердосплавным вооружением Ш 215,9 ТЗ-ПВ W75-2 для бурения твердых абразивных пород

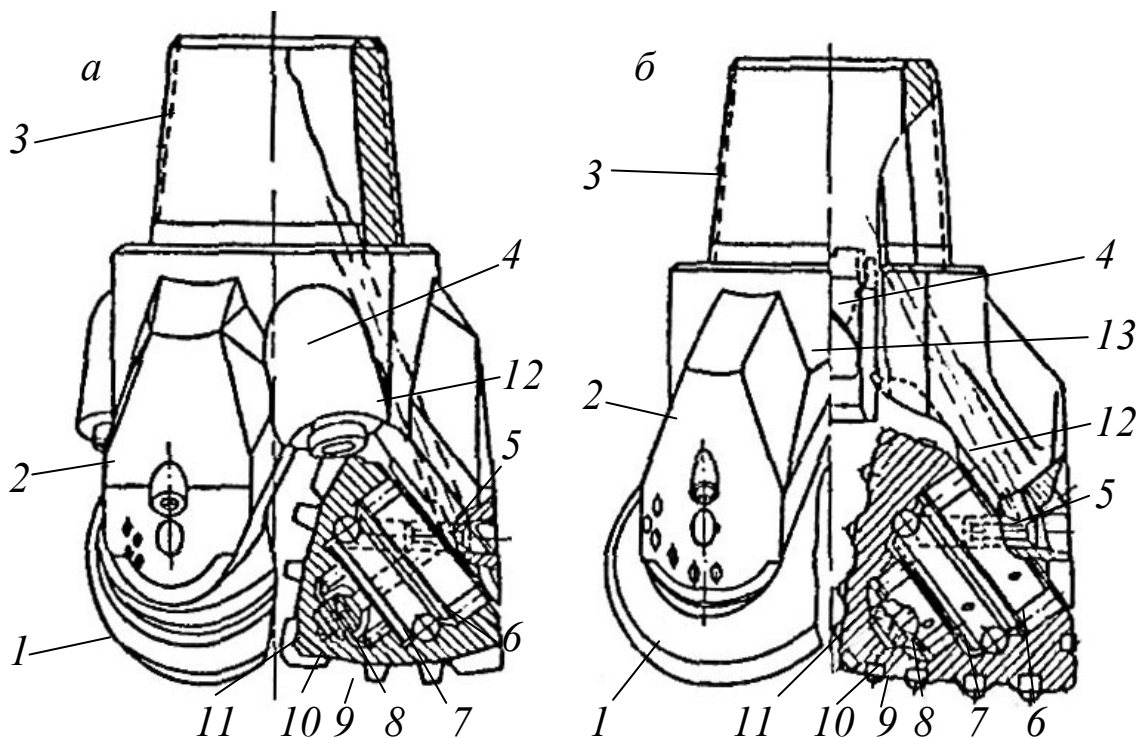


Рис. 3.17. Конструктивные схемы трехшарошечных долот: *а* – зубчатого с фрезерованным вооружением шарошек и периферийной продувкой; *б* – штыревого с вооружением цилиндрическими элементами из твердого сплава и центральной продувкой

Трехшарошечные долота на рис. 3.17 [7] состоят из элементов: 1 – шарошка; 2 – лапа долота; 3 – присоединительный ниппель с резьбой; 4 – периферийный (рис. 3.17, а) и центральный (рис. 3.17, б) продувочные каналы; 5 – канал для подачи замкового ряда шарикового подшипника с фиксатором; 6 – роликовый подшипник опоры; 7 – замковый шариковый подшипник; 8 – роликовый подшипник опоры; 9 – элементы породоразрушающего фрезерованного (рис. 3.17, а) и твердосплавного (рис. 3.17, б) вооружения шарошки; 10 – корпус шарошки; 11 – упорная пятя шарошки; 12 – воздушный канал к подшипникам шарошки; 13 – воздухо-направляющий винт.

Трехшарошечные долота состоят из трех сварных секций (лап) 2, на которых монтируют шарошки 1. Опоры шарошек в зависимости от размеров долот выполняют по различным схемам.

В горной промышленности трехшарошечные долота применяют с опорами (Р-Ш-Р), имеющими два силовых роликоподшипника 6 и 8 и между ними один шариковый (замковый) 7. На долотах малых диаметров нижний подшипник может быть шариковым (Р-Ш-Ш) или скользящего типа. Долота, предназначенные для тяжелых условий эксплуатации, снабжают упорной пятой скольжения (УПС) 11.

Для подачи сжатого воздуха на забой скважины с целью ее очистки от продуктов разрушения в хвостовике и лапах долота имеются каналы. Для бурения взрывных скважин на карьерах применяют долота с продувкой. При бурении скважин с продувкой воздухом могут использоваться *четыре способа продувки* с учетом расположения и конструкции продувочных каналов: боковая (ПГ), центральная (П), комбинированная (ПК) и реверсивная. На рис. 3.18 представлены *способы продувки* ОАО «ВБМ-групп» [17]. Также есть центральная (Ц) и боковая (гидромониторная) промывка (Г).

У долот с центральной продувкой основная часть воздуха непосредственно направляется на забой скважины. Однако в последнее время преимущественное распространение получают долота с боковой продувкой, у которых воздух из центрального канала поступает к соплам, направляющим воздушные струи на зубья шарошек, что способствует их очистке и охлаждению.

Часть воздуха (от 5 до 25 %) поступает в каналы лап и цапф и подводится к опорам шарошек для их охлаждения, смазки и предотвращения попадания в опоры буровой пыли и воды.

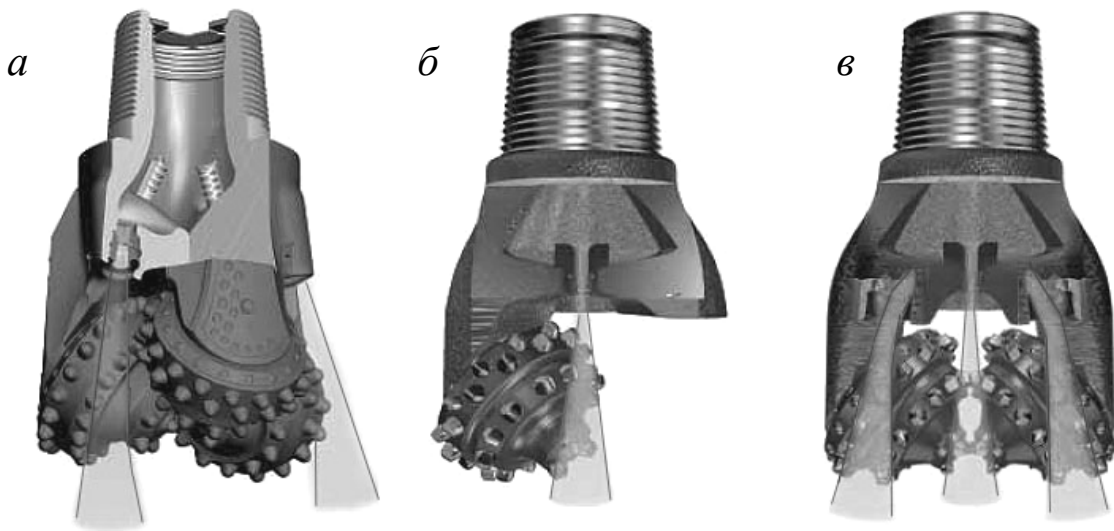


Рис. 3.18. Способы продувки: *а* – боковая; *б* – центральная; *в* – комбинированная

Долговечность шарошечного долота во многом зависит от стойкости подшипниковых опор шарошек.

Опоры шарошек (рис. 3.19) долот диаметром 215,9 мм и выше выполнены по схеме: роликовый подшипник – шариковый (замковый) подшипник – роликовый подшипник (сокращенно Р-Ш-Р) [15].

Долота диаметром 244,5 мм и более могут дополнительно содержать упорный подшипник скольжения (УПС) в виде шайбы, воспринимающей осевую нагрузку. Опоры скольжения (С) имеют долота диаметром меньше 120 мм.

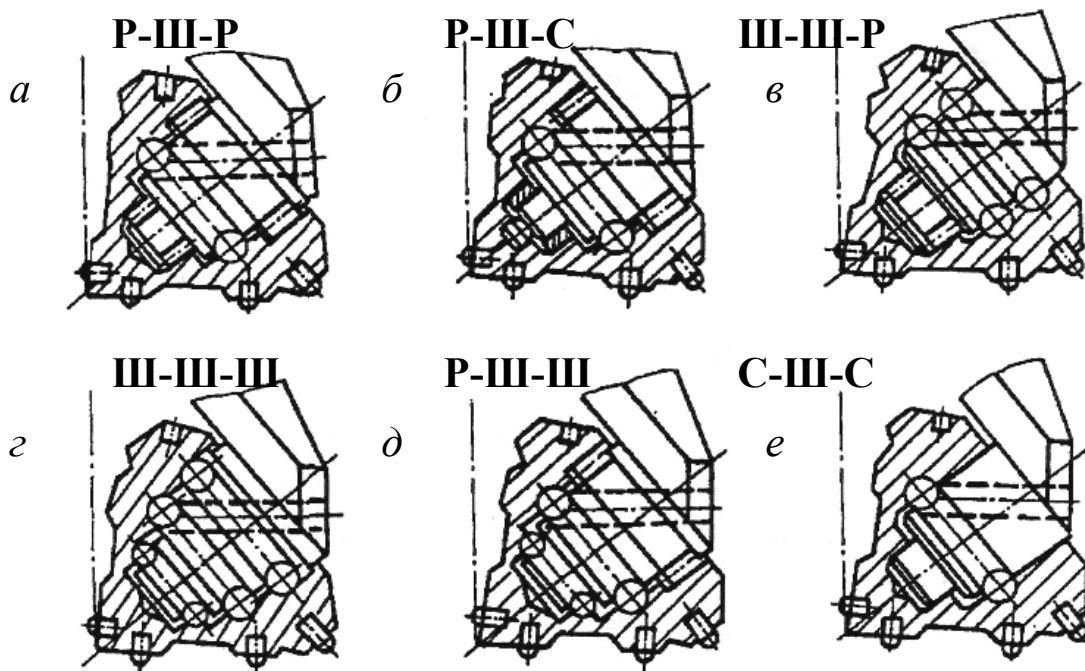


Рис. 3.19. Опоры шарошечных долот



Опоры шарошек согласно ГОСТ 20692–2003 изготавливают:

- на подшипниках с телами качения и одним или более упорных подшипниках скольжения, или без упорных подшипников скольжения – В;
- на подшипниках с телами качения и одним или более упорных подшипниках скольжения и герметизацией опоры – ВУ;
- на одном радиальном и одним или более упорных подшипниках скольжения (остальные подшипники с телами качения) – Н;
- на одном радиальном и одним или более упорных подшипниках скольжения (остальные подшипники с телами качения) и герметизацией опоры – НУ;
- на двух или более радиальных подшипниках скольжения с одним или более упорным подшипником скольжения – А;
- на двух или более радиальных подшипниках скольжения с одним или более упорным подшипником скольжения и герметизацией опоры – АУ.

Опоры шарошек типа АУ (рис. 3.20), Н (рис. 3.21), В (рис. 3.22) наиболее распространены в горнорудной промышленности и выпускаются ОАО «ВБМ-групп» [17]. Таким образом, современные долота содержат торцовый упорный подшипник скольжения (УПС) в виде шайбы, воспринимающей осевую нагрузку.



Рис. 3.20. Герметизированная опора типа АУ



Рис. 3.21. Открытая опора типа Н



Рис. 3.22. Открытая опора типа В

### 3.2.2. Типы твердосплавного вооружения шарошек

Для получения наилучших показателей при бурении необходимо использовать долота с параметрами, соответствующими горно-геологическим условиям работы и физико-механическим свойствам буримых пород. Поэтому существуют типы шарошечных долот для разных условий применения (табл. 3.3) с разными типами вооружения шарошек (табл. 3.4) [1, 7, 15, 18]. Зубья шарошек фрезеруются в

теле конуса шарошки и наплавляются твердым сплавом. Вставки-штыри запрессованы в отверстия в корпусе шарошек.

Таблица 3.3

Область рационального применения шарошечных долот  
различных типов

Тип долота по ГОСТ 20692–2003	Буримые горные породы	Показатель трудности бурения $P_b$ , в соответствии с классификацией В. В. Ржевского
<b>С и СТ</b>	<u>Породы средней твердости и с пропластками твердых пород:</u> плотные глины, гипс, соли, мергель, песчаные сланцы, неплотные и огипсованные известняки и другие малоабразивные легкобуримые породы с пропластками пород средней буримости	
<b>СЗ</b>	<u>Абразивные породы средней твердости:</u> известняки органогенно-обломочные, местами перекристаллизованные, иногда доломитизированные, с прослоями аргиллитов; переслаивание плотных глин, иногда аргиллитоподобных, в различной степени песчаных, известковистых, загипсованных с песчаниками разномерными, кварцевыми, известковистыми, глинистыми, аргиллитами слюдястыми, иногда окремнелыми, алевролитами кварцевыми, песчаными, известковистыми	< 6
<b>Т</b>	<u>Твердые породы:</u> сланцы, известняки, алевролиты, аргиллиты; слабосцементированные песчаники и другие мало- и среднеабразивные породы средней трудности бурения	6–8
<b>ТК</b>	<u>Твердые породы с пропластками крепких:</u> мелкокристаллические и слабодломитизированные окварцованные известняки; известково-глинистые сланцы, магнезит и другие среднеабразивные породы средней трудности бурения	8–10

## Продолжение табл. 3.3

Тип долота по ГОСТ 20692–2003	Буримые горные породы	Показатель трудности бурения $P_6$ , в соответствии с классификацией В. В. Ржевского
ТЗ	<u>Абразивные твердые породы:</u> апатитно-нефелиновые руды, перидотиты, доломитизированные окварцованные известняки и доломиты; выветрелые габбро, мартитогематитовые и гидрогематитовые руды, плотные песчаники, средние гранодиоритпорфиры, сиениты; вторичные кварциты, туфы и другие абразивные породы средней трудности бурения и труднобуримые	8–12
ТКЗ	<u>Твердые абразивные породы с пропластками крепких:</u> доломитизированные известняки с пропластками прочных песчаников, окварцованные известняки с пропластками кремне-лых пород, диориты, габбро и другие абразивные труднобуримые породы	10–12
К	<u>Крепкие породы:</u> кремне-ые известняки, доломиты, диориты, гранодиориты, вторичные кварциты, средние граниты и другие абразивные труднобуримые породы	12–16
ОК	<u>Очень крепкие породы:</u> граниты, гранито-гнейсы, гнейсы, роговики, скарны, кварциты, габбро, диабазы, граносиениты, гранодиориты, базальты, диориты, джеспилиты и другие труднобуримые и весьма труднобуримые высокоабразивные породы	> 16

Типы вооружения шарошек

Тип долота	Исполнение шарошек
<b>М</b>	С фрезерованными зубьями
<b>МЗ</b>	Со вставными штырями
<b>МС</b>	С фрезерованными зубьями
<b>МЗС</b>	С фрезерованными зубьями и вставными штырями
<b>С</b>	С фрезерованными зубьями
<b>СЗ</b>	Со вставными штырями
<b>СТ</b>	С фрезерованными зубьями
<b>Т</b>	С фрезерованными зубьями
<b>ТЗ</b>	Со вставными штырями
<b>ТК</b>	С фрезерованными зубьями и вставными штырями
<b>ТКЗ</b>	Со вставными штырями
<b>К</b>	Со вставными штырями
<b>ОК</b>	Со вставными штырями

*Шарошки долот ОК* (штыревые) армированы твердосплавными штырями с полусферическими головками. Штыри закрепляются в теле шарошек методом холодной запрессовки.

*Шарошки долот ТК* имеют комбинированное вооружение, состоящее из чередующихся твердосплавных штырей, запрессованных в тело шарошек, и выфрезерованных в их корпусе зубцов.

*Шарошки долот Т* имеют зубцы, выфрезерованные в корпусе шарошек и наплавленные твердым сплавом. Для предохранения долот от износа по диаметру обратные конусы шарошек также наплавляются твердым сплавом.

Фрезерованные зубья шарошек фрезеруются в теле конуса шарошки и наплаваются твердым сплавом. Вставные штыри запрессованы в отверстия в корпусе шарошек.

*Долота типа К и ОК* характеризуются ударным действием вооружения на разрушаемый забой. Шарошки долот имеют чистое качение по забою без проскальзывания, а вооружение состоит из цилиндрических твердосплавных зубков со сферической головкой.

*Долота типа ТК и Т* характеризуются ударно-скалывающим действием вооружения на разрушаемый забой. Шарошки этих долот имеют кинематические схемы, обеспечивающие чистое качение с небольшим проскальзыванием основного конуса по поверхности забоя. Поэтому твердосплавные и фрезерованные зубья наносят по

забою удары с некоторым сдвигом по ходу вращения шарошек. Шарошечные долота типа Т и ТК образуют забой выпуклой формы.

*Долота типа СТ и С* характеризуются скалывающим действием вооружения на разрушаемые породы. Их шарошки имеют многоконусную форму самоочищающегося типа и работают по кинематической схеме, обеспечивающей качение со значительным проскальзыванием основных конусов шарошки вдоль поверхности забоя. Оси шарошек смещены относительно оси долота на 2–3 мм, в зависимости от размеров долота, поэтому вооружение шарошек, состоящее из твердосплавных зубков и фрезерованных зубьев, наносит по забою наклонный удар со значительным сдвигом по ходу их вращения. Шарошечные долота типа СТ и С образуют забой выпуклой формы. Для предохранения долот от износа по диаметру обратные конусы шарошек также наплавляются твердым сплавом. Область применения твердых сплавов, выпускаемых ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов», приведена в табл. 3.5 [19].

Таблица 3.5

## Область применения твердых сплавов

Сплав	Область применения
ВК8ВК	Шарошечное бурение геологоразведочных, эксплуатационных и взрывных скважин в крепких и очень крепких абразивных горных породах с коэффициентом крепости по шкале Протодяконова до $f = 18$
ВК11ВК	Шарошечное бурение геологоразведочных, эксплуатационных и взрывных скважин в вязких, средней твердости и твердых абразивных горных породах с коэффициентом крепости по шкале Протодяконова до $f = 16$
ВК12КС	Шарошечное бурение геологоразведочных, эксплуатационных и взрывных скважин в вязких, средней твердости и абразивных горных породах с коэффициентом крепости по шкале Протодяконова до $f = 18$
ВК13	Легированный сплав заменяет сплавы ВК8ВК и ВК11ВК

*Примечание.* Цифровой индекс в обозначении марки сплава указывает на процентное содержание кобальта.

На рис. 3.23 [17] и 3.24 [10] приведены типы твердосплавного вооружения шарошек.

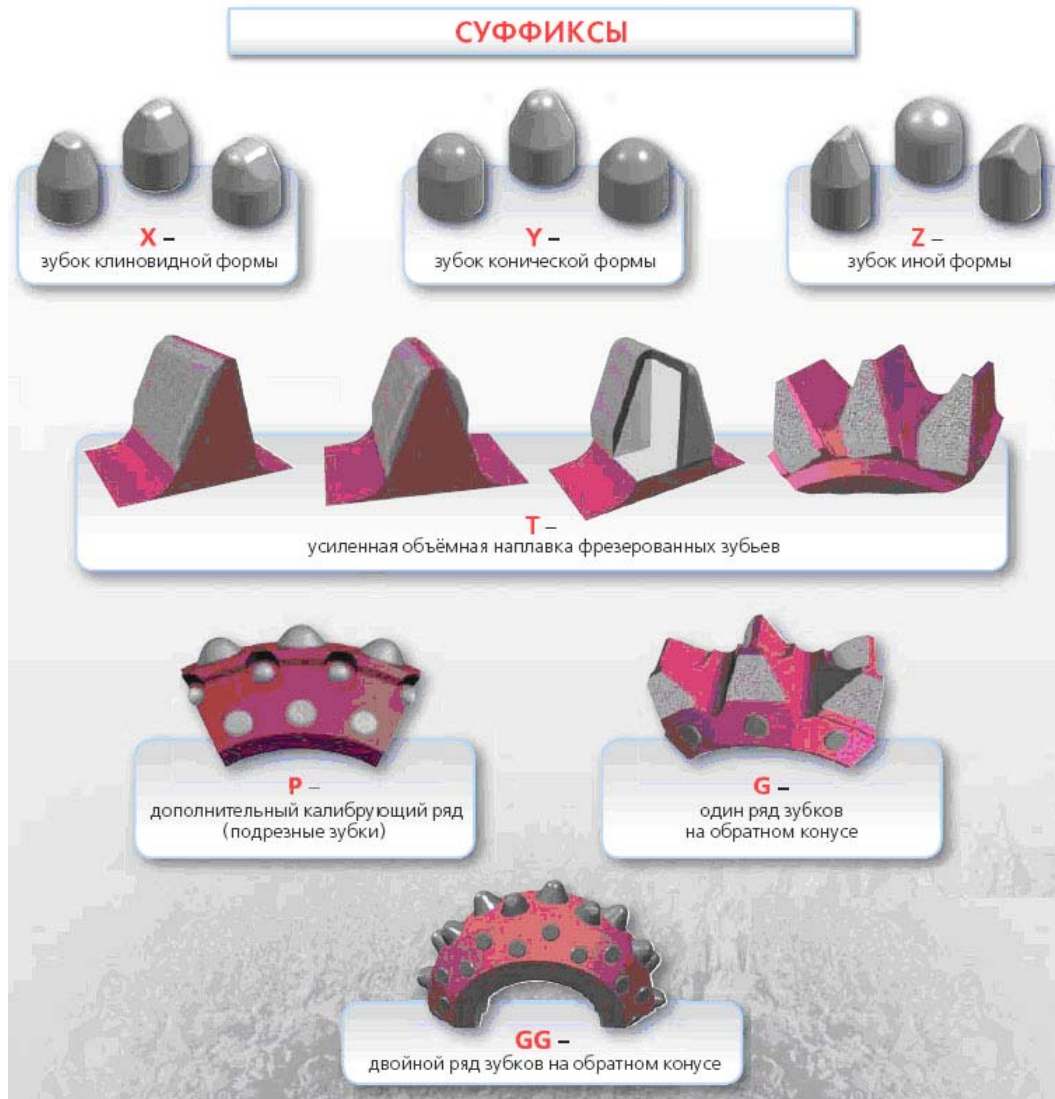


Рис. 3.23. Типы твердосплавного вооружения шарошек

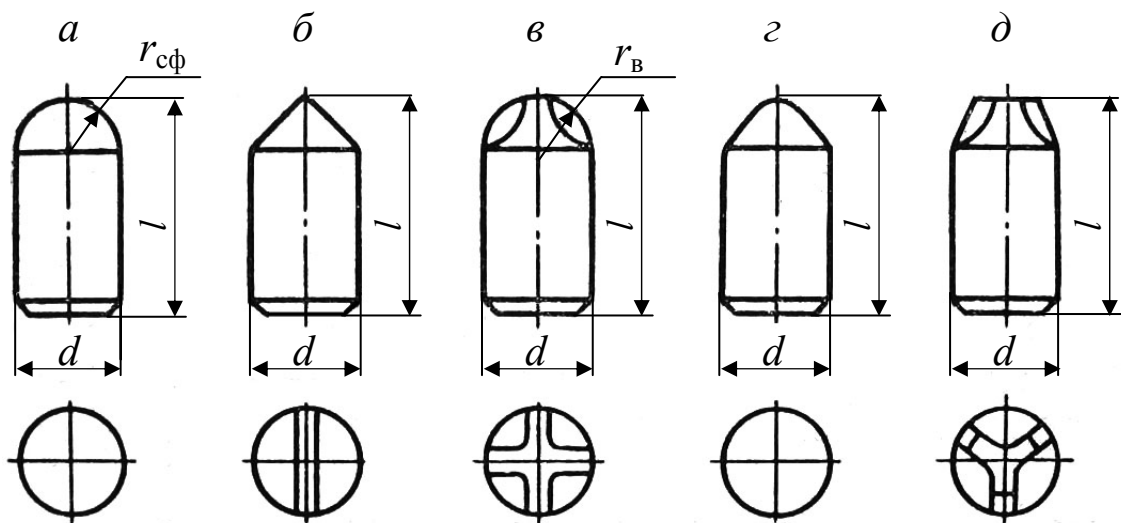


Рис. 3.24. Формы головок штырей: *a* – сферическая; *б* – клиновидная; *в* – лучевая; *г* – параболоидная; *д* – трехгранная

Штыри со сферической головкой значительно прочнее клиновидных. Экспериментально доказано, что целесообразно применять шарошки с комбинированным вооружением в виде чередующихся штырей с головками сферической и клиновидной форм. При этом головку клиновидного штыря следует располагать под углом  $90^\circ$  к оси вращения шарошки. Применение комбинированных шарошек в сравнении с шарошкой, оснащенной только сферическими штырями, дает снижение удельной энергоемкости на 21 %, а напорного усилия – на 25 %.

### 3.2.3. Обозначение шарошечных долот

Классификация долот выполняется по ГОСТ 20692–2003.

Система обозначения шарошечных долот (см. рис. 3.25) [17].

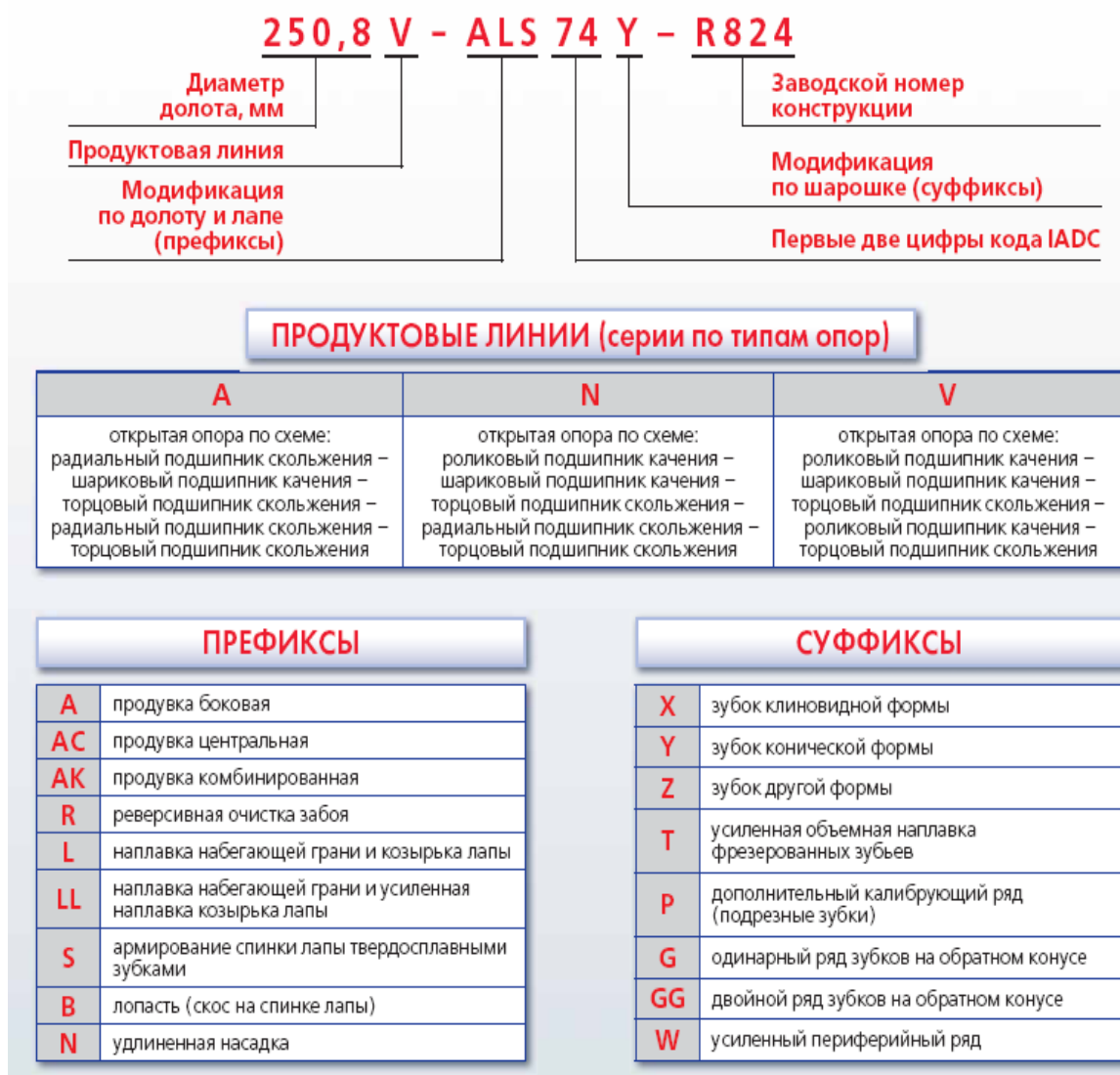


Рис. 3.25. Система обозначения шарошечных долот



*Обозначение долота III-320ТЗ-ПГВ ГОСТ 20692–2003* означает «трехшарошечное долото диаметром 320 мм с вооружением шарошками ТЗ с продувкой опор (П) и боковой (из сопел) схемой очистки забоя (Г) сжатым воздухом с шарошками на подшипниках качения (В)». Так как для бурения на карьерах применяются в основном трехшарошечные долота, индекс III часто опускают.

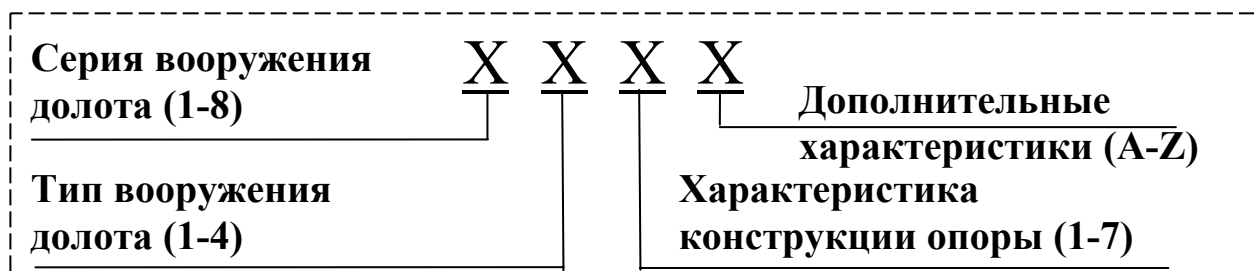
*Пример условного обозначения трехшарошечного долота диаметром 215,9 мм для бурения абразивных пород средней твердости (СЗ), с центральной продувкой (П), на двух или более радиальных подшипниках скольжения с одним или более упорным подшипником скольжения и герметизацией опоры (АУ):*

Долото шарошечное III 215,9 СЗ-ПАУ ГОСТ 20692–2003.

Шарошки и лапы долот в основном изготавливают из хромоникелевой малоуглеродистой (12ХН2), (20ХН3А) и никель-молибденовой (17НЗМА) сталей и подвергают химико-термической обработке.

### 3.2.4. Классификация шарошечных долот по коду IADC

Код IADC (International Association of Drilling Contractors) – Международной ассоциации буровых подрядчиков основан на четырехсимвольном коде, отражающем конструкцию долота и тип горных пород, для бурения которых оно предназначено. Первые три символа – цифровые, а четвертый – буквенный [17].



Серия вооружения долота – первая цифра кода. Восемь категорий серий вооружения соответствуют общей характеристике горных пород, для бурения которых предназначено долото. Серии от 1 до 3 определяют долота с фрезерованным вооружением, а серии от 4 до 8 – долота с твердосплавным вооружением. Внутри групп долот с фрезерованным и твердосплавным вооружением увеличение цифры серии означает увеличение твердости пород, для которых предназначено долото.

Тип вооружения долота – вторая цифра кода. Каждая серия разделена на 4 типа в зависимости от твердости разбуриваемых пород. Тип 1 означает долота для бурения наиболее мягких пород в

пределах серии, а тип 4 – относится к наиболее твердым породам в пределах серии.

Характеристика конструкции опоры определяется третьей цифрой кода:

- 1 – открытая (негерметизированная) опора;
- 2 – открытая опора для бурения с продувкой воздухом;
- 3 – открытая опора и твердосплавные вставки на калибрующих поверхностях шарошек;
- 4 – герметизированная опора на подшипниках качения;
- 5 – герметизированная опора на подшипниках качения и твердосплавные вставки на калибрующих поверхностях шарошек;
- 6 – герметизированная опора на подшипниках скольжения;
- 7 – герметизированная опора на подшипниках скольжения и твердосплавные вставки на калибрующих поверхностях шарошек;
- 8, 9 – резервные, для возможного применения в будущем.

Дополнительные характеристики определяются четвертым буквенным символом (необязательно):

- А – долота для бурения с продувкой воздухом;
- В – герметизированная опора, специальная; конструкция уплотнений, допускающая, например, бурение с повышенной частотой вращения;
- С – центральная насадка;
- Д – специальная конструкция вооружения, минимизирующая отклонение ствола скважины;
- Е – удлиненные насадки;
- Г – усиленная защита козырьков лап наплавкой или твердосплавными зубками;
- Н – долота для направленного или горизонтального бурения;
- J – гидромониторные долота для бурения с набором кривизны;
- Л – калибрующие накладки на спинках лап, армированные твердосплавными зубками;
- М – долота для бурения с забойными двигателями;
- S – стандартные долота с фрезерованным вооружением;
- Т – двухшарошечные долота;
- W – усовершенствованное вооружение;
- Х – зубки преимущественно клиновидной формы;
- У – зубки конической формы;
- Z – другие формы зубков.

### 3.2.5. Конструктивные элементы геологоразведочного породоразрушающего инструмента шарошечного типа

Конструктивные элементы инструмента шарошечного типа определяют кинематику и динамику их работы на забое. Основные элементы инструментов создавались с учетом многообразия свойств горных пород и постоянно совершенствуются. Это касается, прежде всего, вооружения и опор шарошек, а также схемы очистки забоя скважины от продуктов разрушения.

Как было показано ранее, основными конструктивными элементами являются: корпус, лапы, цапфы, подшипники, шарошки и их вооружение, промывочные каналы. Породоразрушающие инструменты отличаются друг от друга числом, формой и расположением шарошек; геометрической формой, размером и качеством вооружения; числом, конструкцией и расположением промывочных каналов и другими деталями.

*Корпус* долота представляет собой литое кольцо, имеющее на верхнем конце внутреннюю присоединительную резьбу; к корпусу привариваются лапы. Секционные долота изготавливают сваркой отдельных секций – лап, образующих корпус, на верхнем конце которого нарезается наружная присоединительная резьба. По этому признаку все шарошечные долота делятся на две группы: группа А – секционные (диаметром от 46 до 320 мм) и группа Б – корпусные (диаметром от 346 до 490 мм).

*Долота геологоразведочного стандарта* диаметром более 59 мм имеют конусную замковую резьбу (рис. 3.26, а) [1], а диаметром 59 мм и менее – цилиндрическую ниппельную резьбу трапецеидального профиля (рис. 3.26, б). Шарошечные коронки также могут иметь наружную или внутреннюю резьбу (замковую или специальную цилиндрической формы) для присоединения к колонковой трубе при сборке бурового снаряда.

*Лапы* служат для закрепления цапф (осей), вокруг которых вращаются шарошки.

*Шарошки* – основной рабочий орган инструмента. Форма шарошек может быть различной: конической, цилиндрической, сферической, полусферической, дисковой, в виде усеченного конуса.

Наиболее распространенная форма шарошек – коническая с ее разновидностями. Применяются одно- и многоконусные шарошки, которые могут иметь основной конус, несколько дополнительных и

обратный конусы. Заостренная часть шарошки называется вершиной, противоположная плоская – тыльной частью (рис. 3.27) [1].

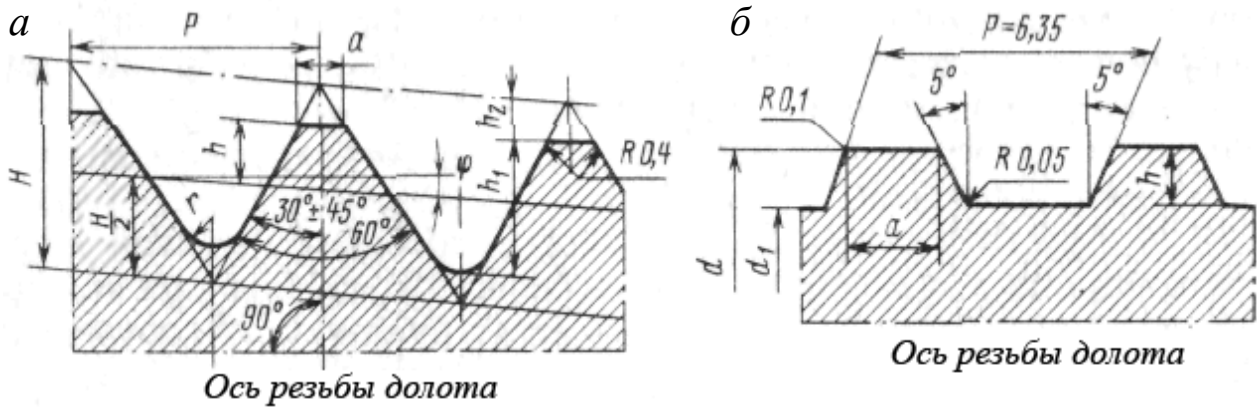


Рис. 3.26. Профили резьбы шарошечных долот:  
а – коническая; б – трапецеидальная

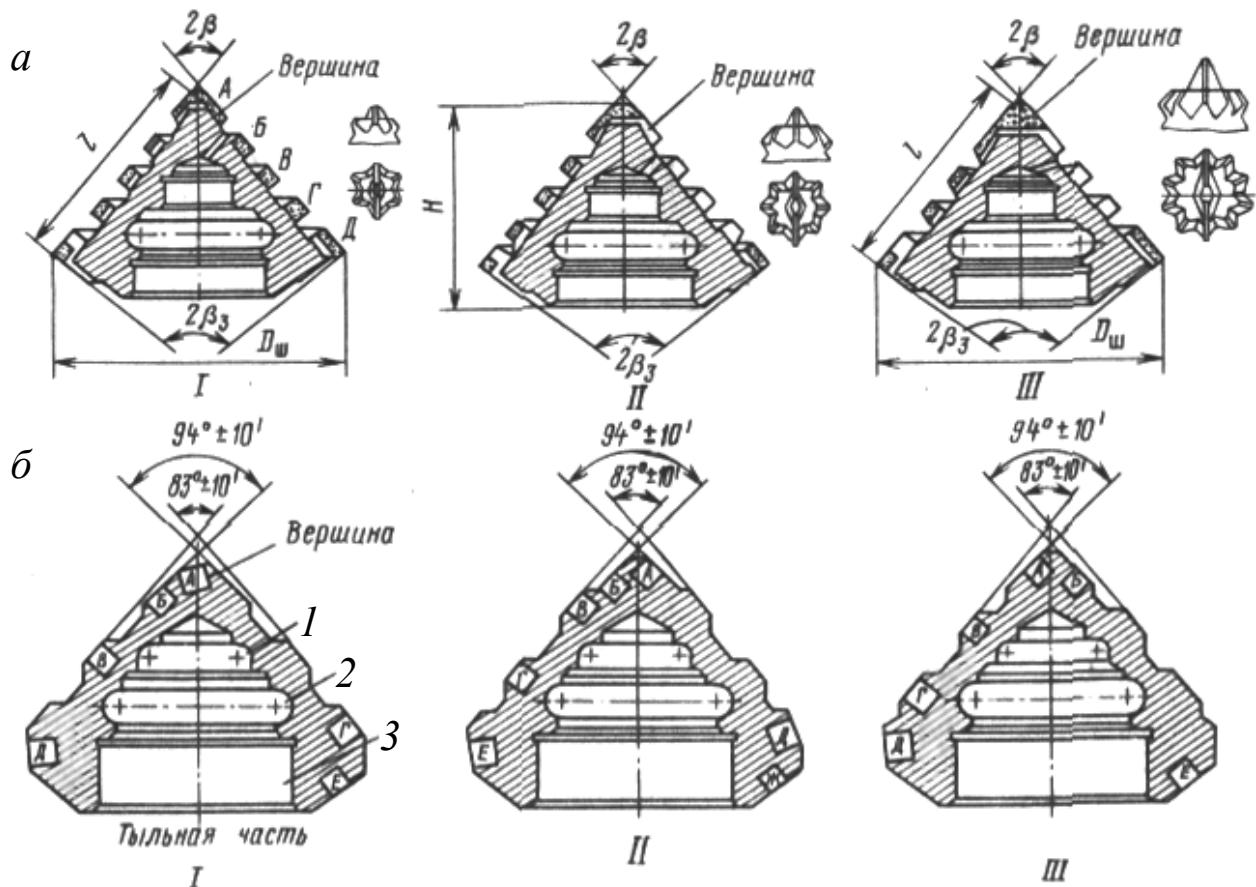


Рис. 3.27. Схемы расположения венцов на шарошках:  
а – с фрезерованными зубьями; б – с вставными штырями из твердых сплавов; I, II, III – номера шарошек; 1, 2, 3 – беговые дорожки

Геометрическая форма конусных шарошек определяется числом и углами конусов  $2\beta$ ,  $2\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ , длиной образующих, а габариты –

высотой шарошки  $H$  и диаметром калибрующей окружности  $D_{ш}$ . Положение шарошек относительно корпуса определяется углом наклона оси шарошки, величиной вылета вершины шарошки и смещением оси шарошки.

Для оснащения одношарошечных долот применяются обычно шарошки сферической формы, в форме дисков, кольцевой формы, конической формы. В связи с тем, что долото оснащается одной шарошкой, появляется возможность усилить опору, что существенно повышает стойкость долот в целом и эффективность разрушения породы по всей площади забоя, включая и его центральную часть.

Вооружение или породоразрушающие элементы шарошек могут быть в виде отдельных зубьев или штырей (зубков) из твердых сплавов, располагающихся дискретно концентрическими венцами по определенной системе (см. рис. 3.27). Всем венцам присваиваются буквенные или цифровые обозначения (от вершины к торцу): А, Б, В, Г, Д, Е или 1, 2, 3, 4.

В большинстве случаев зубья шарошек имеют форму клина, основные элементы которого показаны на рис. 3.28, а, б [1].

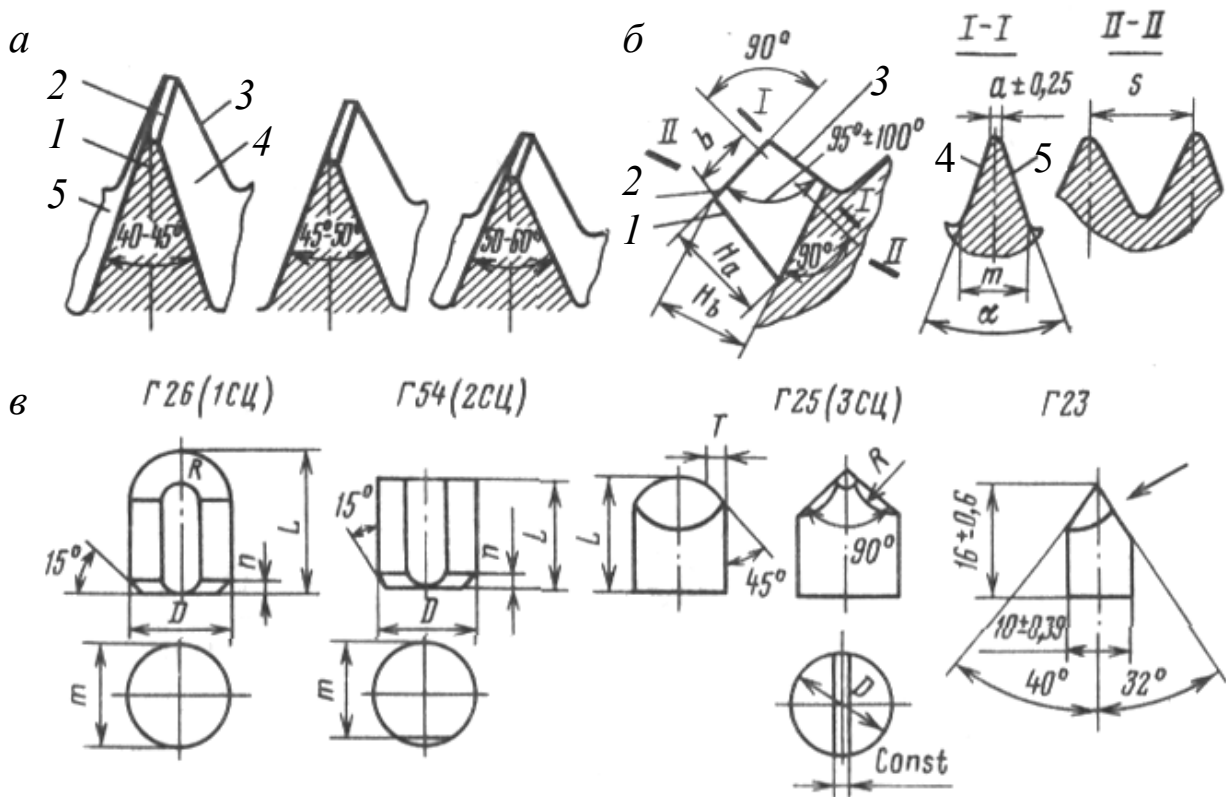


Рис. 3.28. Геометрические формы и конструктивные элементы вооружения шарошек

На рис. 3.28 представлены следующие обозначения:  $a, б$  – зубья;  $в$  – твердосплавные штыри (вставки);  $1, 2, 3$  – наружный, рабочий, внутренний торцы зуба;  $4, 5$  – сбегающая и набегающая поверхности зуба;  $б$  – длина зуба;  $H_a$  и  $H_b$  – высота зуба по нормали к конусу шарошки соответственно наружному и внутреннему;  $m$  и  $a$  – ширина зуба у основания и при вершине;  $S$  – шаг зубьев;  $\alpha$  – угол заострения зуба.

Длина зуба зависит от числа венцов на шарошке и ее размеров. На периферийных венцах длина зубьев обычно больше, чем на основных. Минимальная длина зубьев 5 мм у долот малого диаметра. У долот со смещенными осями шарошек обычно  $b \geq 2e$  (где  $e$  – величина смещения осей, мм). Высота зубьев на разных венцах различна и увеличивается к тыльной части шарошки в зависимости от характера пород, для разрушения которых предназначается долото, и его размеров. Обычно для более мягких пород высота берется больше, а для твердых – меньше. Ширина зуба у основания  $m$  зависит от высоты и угла заострения смежных зубьев на одном и том же венце.

Породоразрушающие инструменты шарошечного типа, предназначенные для работы в породах повышенной твердости и абразивности (ОК, К, ТК, ТКЗ, ТЗ, СЗ, МСЗ, МЗ), оснащаются твердосплавными штырями (зубками) трех основных форм (рис. 3.28, в): с полусферическим торцом рабочей части формы Г-26 или типа 1СЦ, с плоским торцом формы Г-54 или типа 2СЦ и с клиновидным торцом формы Г-25 или типа 3СЦ. Штыри типа 2СЦ, применяемые в качестве калибрующих, имеют плоский торец.

Диаметр твердосплавных штырей в зависимости от номера изделия может быть от 3,14 до 14,14 мм, а высота в зависимости от диаметра – от 3 до 24 мм.

Твердосплавные штыри укрепляются в теле шарошки прессованием в отверстиях, имеющих по диаметру минусовый допуск в пределах 0,06–0,09 мм.

### **3.2.6. Конструктивные особенности геологоразведочных шарошечных долот**

СКБ НПО «Геотехника» создана серия малогабаритных одно-, двух- и трех-шарошечных долот диаметром от 42 до 151 мм типоразмеров М, С, Т, К и ОК [1]. Долота используются для бурения скважин в породах от IV до XII категорий по буримости. Долота типа М предназначены для самых мягких пород (I–IV категории по буримости).

Как видно из рис. 3.29, долото типа М имеет две конусные шарошки с высокими зубьями и углом их заострения  $45\text{--}50^\circ$ . Промывочная жидкость подается на поверхность забоя с очень высокой скоростью (до 70 м/с), так как долото оснащено гидромониторными насадками.

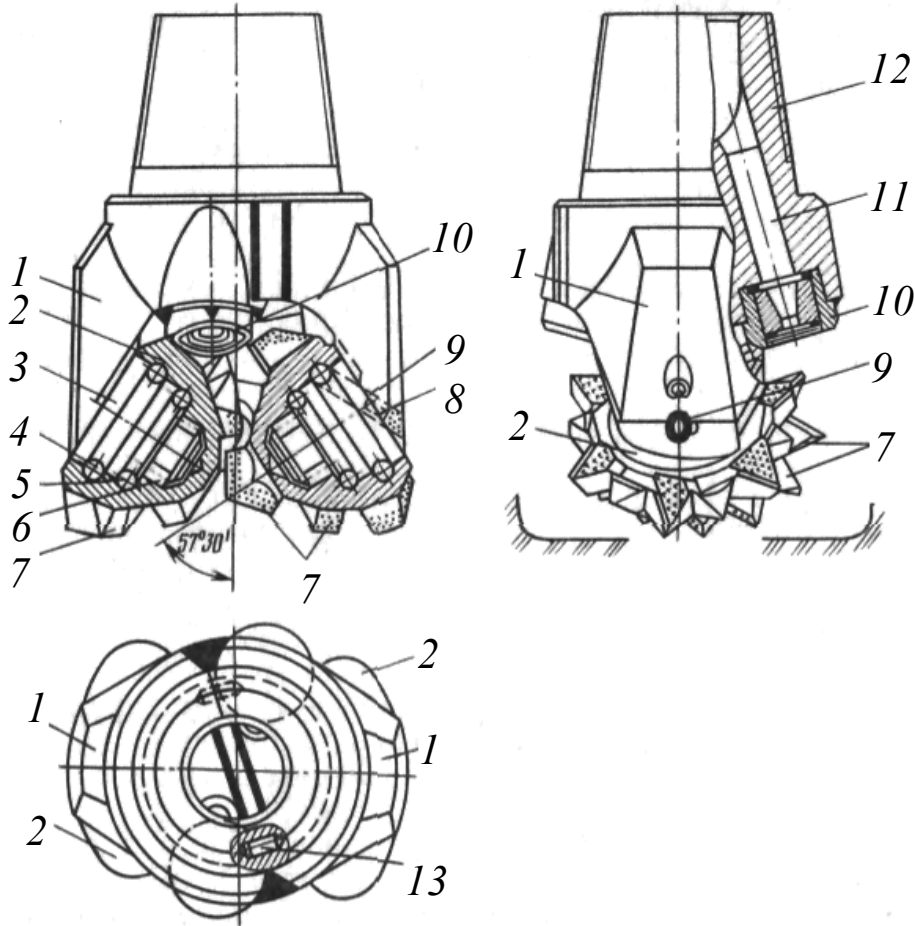


Рис. 3.29. Конструктивные элементы долота для бурения в мягких породах с гидромониторными насадками: 1 – лапа; 2 – шарошка; 3 – цапфа; 4 – шариковый замковый подшипник; 5 – шариковый промежуточный подшипник; 6 – роликовый концевой подшипник; 7 – зубья шарошки, 8 – штифт-фиксатор; 9 – замковый палец; 10 – гидромониторная насадка; 11 – промывочный канал; 12 – присоединительная резьба; 13 – ориентирующий штифт

Долота типа С (рис. 3.30) предназначены для пород средней крепости и могут быть выполнены зубчатыми или штыревыми. В корпусе долота могут быть установлены конусные или сферические или дисковые шарошки.

Зубчатые конусные шарошки (рис. 3.30, а) имеют зубья меньшей высоты, чем у долот типа М, и с большими углами заострения.

Для повышения износостойкости зубья армируются зернистым твердым сплавом марки релит.

В практике бурения глубоких скважин в породах средней крепости широко применяются одношарошечные долота 10К-100С, 1-139.7СЗ-Н (рис. 3.30, б).

Для бурения в породах средней твердости в СКВ НПО «Гео-техника» созданы долота с шарошками дисковой формы.

Долото типа ЗДЛ-76С (рис. 3.30, в) имеет два диска, оснащенных твердосплавными вставками. При этом венцы могут располагаться соосно с корпусом долота и под некоторым углом.

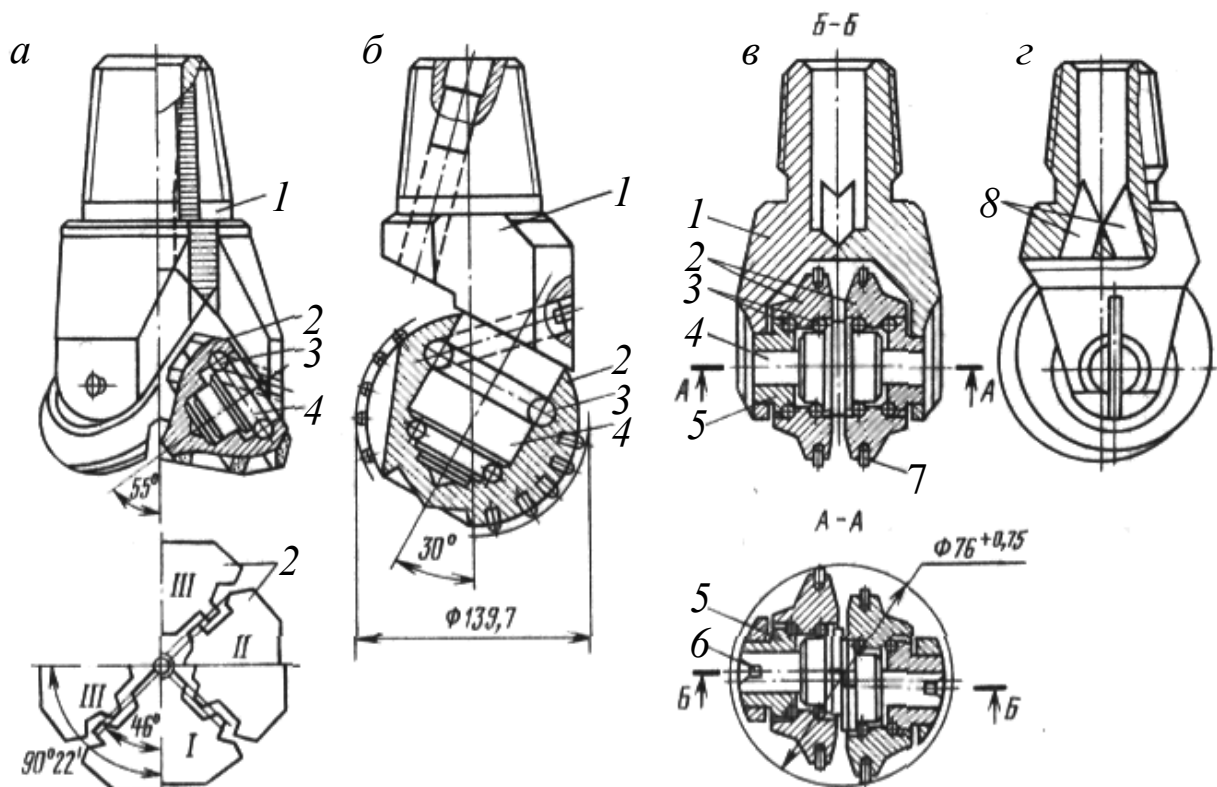


Рис. 3.30. Конструкции долот для бурения в породах средней твердости с шарошками конусной *а*, сферической *б* и дисковой в форм: 1 – корпус; 2 – шарошки; 3 – шариковые подшипники; 4 – цапфа; 5 – втулка; *б* – призматическая шпонка; 7 – твердосплавная вставка (штырь); 8 – промывочные каналы

Долота типа Т, предназначенные для бурения твердых пород, обычно снабжены двумя или тремя конусными малогабаритными шарошками (рис. 3.31). Оси зубчатых шарошек (рис. 3.31, *а*) имеют угол наклона, как видно из рисунка,  $52^\circ$ , что обеспечивает их перекатывание по поверхности забоя без скольжения. Для обеспечения



прочности зубья шарошек имеют меньшую высоту, чем у долот типоразмеров М и С.

Долота типа ТЗ небольшого диаметра (2ДБ-76Т, 2В-93ТЗ), снабжены двумя шарошками с твердосплавными вставками (штырями) клиновидной формы Г25 (рис. 3.31, б), предназначены для бурения скважин в породах VII-IX категорий по буримости. Шарошки у долот этого типа имеют, как видно из рисунка, разную форму: одноконусную и в виде усеченного конуса. Центральный канал цилиндрической формы обеспечивает проход промывочной жидкости к забою.

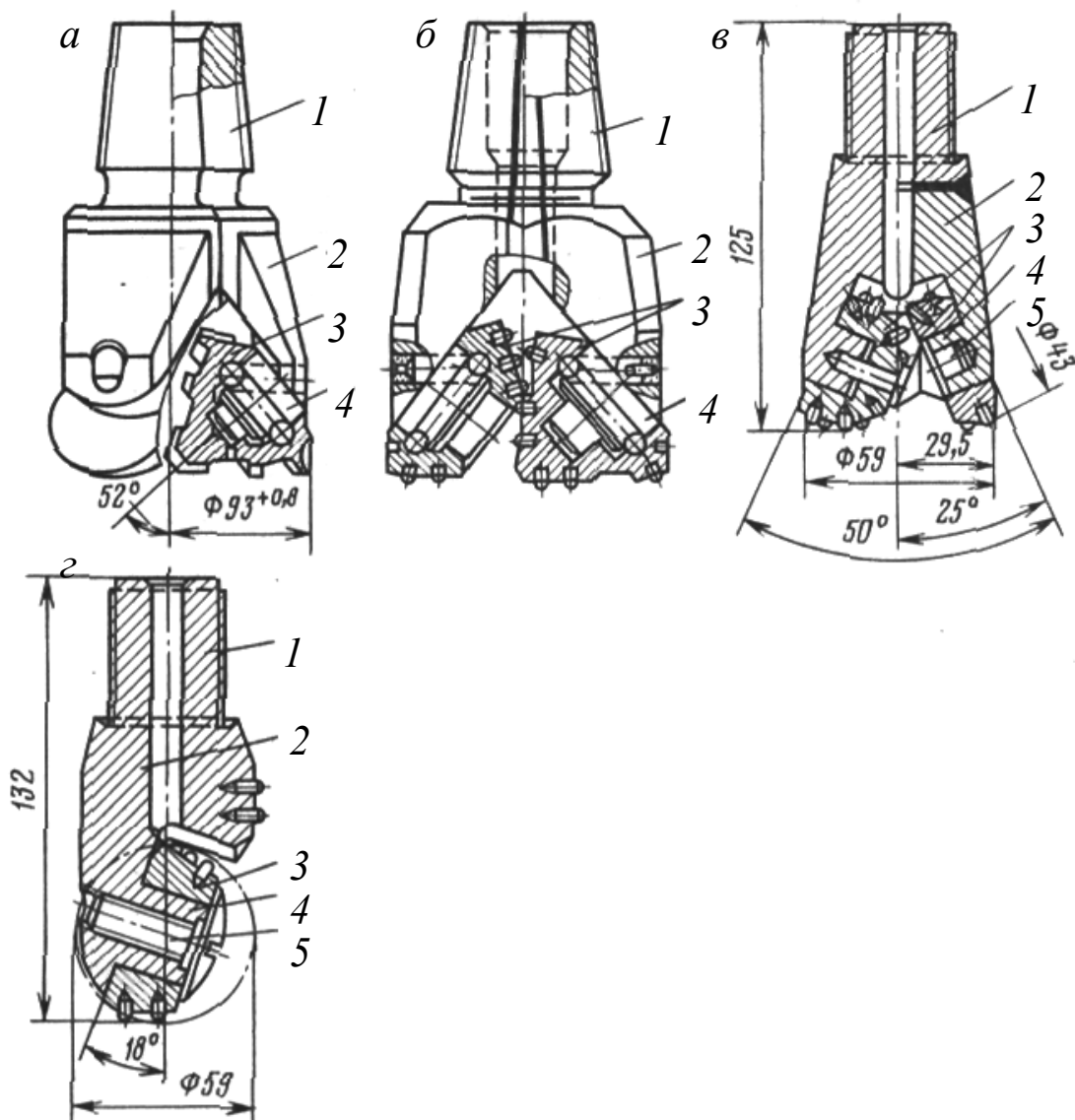


Рис. 3.31. Конструкции шарошечных долот для бурения в твердых породах: 1 – присоединительная резьба; 2 – лапа; 3 – шарошки; 4 – цапфа; 5 – запорный палец с буртиком

Для бурения геологоразведочных скважин малого диаметра была разработана серия долот типа ДДА и ДШК (рис. 3.31, в, з). По причине очень маленькой площади забоя скважины долота оснащаются одной или двумя шарошками с установкой их на подшипниках скольжения, так как опоры на подшипниках качения конструктивно не вписываются в скважину. Шарошки имеют форму усеченных конусов с вооружением из твердого сплава ВК8В с полусферической формой рабочей части. Долота выпускаются диаметрами 42; 46; 59 и 76 мм.

Долота типа К и ОК служат для бурения в крепких и очень крепких породах VIII–XI категорий по буримости. Такие долота оснащаются двумя или тремя одноконусными самоочищающимися шарошками со вставками (штырями) из твердого сплава ВК8 цилиндрической формы, имеющими полусферический торец. Угол наклона оси шарошек от 50 до 52°.

### **3.2.7. Конструктивные особенности геологоразведочных шарошечных коронок**

При бурении скважин с целью получения образцов пород, полезных ископаемых применяются шарошечные коронки (колонковые долота) типов С, СТ, Т, ТК и К [1]. Наиболее широко используются коронки типов Т и К в комплекте с двойными колонковыми снарядами (КС), разработанные в СКБ НПО “Геотехника”. Коронки конструктивно выполнены в виде корпуса и четырех или шести шарошек, имеющих форму усеченного конуса или полусферы (рис. 3.32).

Шарошки коронок типа Т оснащены твердосплавными вставками (штырями) цилиндрической формы с клиновидной рабочей частью, а типа К – вставками с торцом сферической формы. Опора шарошек состоит из двух подшипников скольжения и одного шарикового, выполняющего роль замка. Каналы для промывочной жидкости расположены на периферии корпуса коронки. Верхняя часть корпуса снабжена наружной цилиндрической резьбой для присоединения к колонковой трубе.

В практике бурения скважин на нефть и газ с отбором керна применяются шарошечные коронки типы С, СТ, Т и К со специальными двойными колонковыми снарядами (КТД – при турбинном бурении и КАЭ, ДК и др. – при роторном) в соответствии с ГОСТ 21210–75.

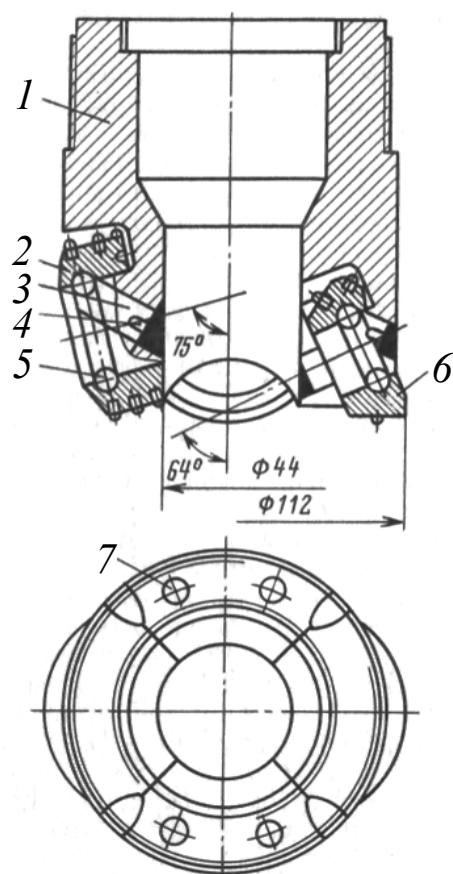


Рис. 3.32. Конструкция шарошечной коронки БДК 112К: 1 – корпус кольцевой формы; 2 – внутренняя шарошка (формирующая керн); 3 – замковый палец; 4 – штифт-фиксатор; 5 – замковый шариковый подшипник; 6 – наружная шарошка (формирующая ствол скважины); 7 – циркуляционные каналы

### 3.3. Алмазный инструмент

#### 3.3.1. Конструктивные элементы алмазного инструмента

Алмазные буровые коронки и долота конструктивно состоят из трех частей: *корпуса, матрицы и резцов* (рис. 3.33) [1]. Корпус 1 алмазного инструмента имеет вид корончатого кольца со стандартной присоединительной резьбой.

Матрица 2, предназначенная для размещения и закрепления алмазных резцов (зерен) 3, 4, 5 и имеющая определенную геометрическую форму, присоединяется к корончатому кольцу припайкой или с помощью клея. В процессе бурения (разрушения породы забоя скважины) алмазные зерна естественно изнашиваются и теряют свою режущую способность.

Матрица должна сохранять работоспособность бурового инструмента на всю глубину скважины. Это обеспечивается следующим

образом. При критическом износе алмазных резцов силы резания и трения о породу, действующие на них, становятся больше, чем силы их сцепления с материалом матрицы. Равновесие сил нарушается, и изношенные зерна «покидают» матрицу. В работу «подключаются» зерна следующего слоя матрицы.

На коронках алмазные зерна могут располагаться в матрице в одном слое (*однослойные А*), в нескольких упорядоченных слоях (*многослойные М*) и без определенного порядка (*импрегнированные И*). Зерна в абразивных инструментах имеют различную форму: изометрическую, промежуточную, пластинчатую.

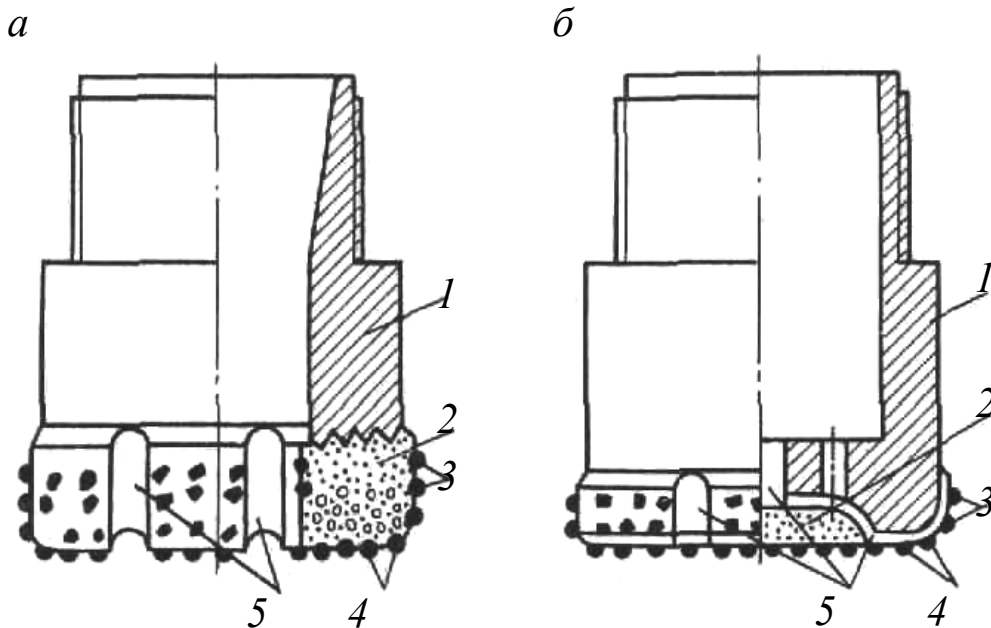


Рис. 3.33. Конструктивные элементы алмазных буровых инструментов: *а* – коронка; *б* – долото; 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – подрезные резцы; 4 – торцовые резцы; 5 – циркуляционные каналы

Форма зерен может количественно оцениваться параметром «коэффициент формы зерна»  $K_{\phi} = d_1/d_2$ . Как видно из рис. 3.34, это отношение максимального размера зерна к минимальному. К правильной форме относятся зерна с  $K_{\phi} = 1,0-1,5$ , к искаженной – с  $K_{\phi} = 1,5-4,0$ , к пластинчатой – с  $K_{\phi}$  более 4,0.

Эффективность работы алмазных коронок, долот предопределяется режущей способностью и износными характеристиками микрорежущего инструмента – абразивного зерна. Рабочий слой алмазных коронок в классическом представлении расположен между поверхностью, проходящей через вершины наиболее выступающих зерен, и поверхностью матрицы (рис. 3.35).

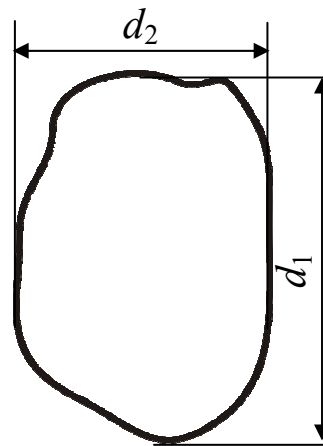
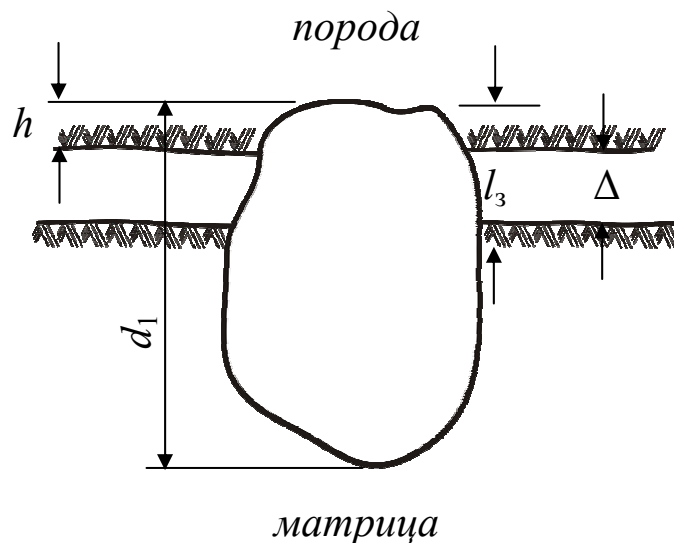
Рис. 3.34. Схема для определения параметра  $K_{\phi}$ 

Рис. 3.35. Параметры рабочего слоя алмазных коронок

Толщина этого слоя зависит от размера зерна  $d_1$  и предельно допустимой заделки зерна в матрицу  $h_3 = d_1 - l_3$ . Известно, что эффективное разрушение породы будет только при внедрении алмазных резцов в нее на определенную глубину  $h$ .

При этом между торцом матрицы и плоскостью забоя должен оставаться некоторый зазор  $\Delta$  для циркуляции очистного агента, охлаждающего рабочую часть бурового инструмента и удаляющего продукты разрушения. Это обеспечивается определенным вылетом алмазных резцов над поверхностью матрицы  $l_3$ . На практике наиболее рациональный вылет алмазного зерна при бурении пород составляет до 30 %  $d_1$  для пород средней крепости, до 20 %  $d_1$  – для крепких пород и до 10 %  $d_1$  – для крепких абразивных пород. Зерна не удерживаются в матрице при их заделке соответственно на глубину менее 70 %, 80 % и 90 % от размера зерна  $d_1$ . Поэтому износо-

стойкость матрицы, зависящая от ее твердости и других факторов, должна соответствовать физико-механическим свойствам буримых пород. Слишком твердая матрица будет изнашиваться медленно и удерживать дольше необходимого затупившиеся зерна алмазов. В связи с этим эффективность работы бурового инструмента будет низкой. Способность зерен сопротивляться нарушению его сцепления с матрицей характеризуется его твердостью. Матрицы современных алмазных инструментов обладают различными твердостью и износостойкостью. По признаку твердости они делятся на несколько типов: очень мягкая 10–15 HRC, нормальная 20–25 HRC, твердая 30–35 HRC, очень твердая 50–55 HRC. Нормальная матрица применяется для разрушения малоабразивных пород, твердая – для абразивных пород.

В табл. 3.6 приведены данные о зернистости алмазов для армирования коронок.

Таблица 3.6

## Зернистость алмазов

Зернистость, шт/кар	5–2	10–5	20–10	30–20	40–30	60–40
Размер алмаза, мм	3,3–4,0	2,5–3,6	1,8–2,5	1,5–1,8	1,3–1,5	1,1–1,3
Зернистость, шт/кар	90–60	120–90	200–120	300–200	400–300	600–400
Размер алмаза, мм	1,0–1,1	0,9–1,0	0,8–0,9	0,7–0,8	0,6–0,7	0,5–0,6

Зернистость алмазов в коронке зависит от их положения в матрице. Места перехода от торцевой к боковой поверхности коронки армируют более крупными алмазами.

Микрорежущие резцы (зерна) выполняют различные функции и подразделяются на торцевые, объемные и подрезные.

*Торцевые* расположены на торце инструмента и служат для разрушения породы забоя скважины.

*Объемные* размещаются внутри матрицы. По мере износа коронки (торцевых резцов, материала матрицы) обнажаются и вступают в контакт с породой забоя. Таким образом, объемные зерна становятся торцевыми.

*Подрезные* нужны для выравнивания (калибрования) стенки скважины и внешней поверхности керна, а также для защиты кор-

пуга коронки или долота от износа. Размеры этого зерна больше, чем объемного. Основными показателями, характеризующими расположение зерен в матрице, являются следующие: суммарная масса зерен в каратах (1 кар. = 0,2 г.); насыщенность матрицы зернами (кар/см<sup>3</sup> или в % от объема матрицы); насыщенность торца коронки зернами (шт/см<sup>2</sup> или в % от площади торца матрицы); зернистость (шт/кар).

### 3.3.2. Устройство алмазных коронок

*Однослойный* инструмент (рис. 3.36, а) [1] имеет только один ряд торцовых алмазов с зернистостью от 2 до 60 шт/кар и насыщенностью 13–25 %.

*Многослойный* инструмент (рис. 3.36, б) имеет, как правило, пять-шесть параллельных слоев зерен внутри матрицы. Поэтому эти алмазы зернистостью 60–120 шт/кар называют объемными. На многослойных коронках в качестве подрезных зерен применяют более крупные алмазы зернистостью 20–60 шт/кар. Насыщенность торца этих коронок такая же, как и однослойных.

*Импрегнированный* инструмент (рис. 3.36, в) также многослойный, но с неупорядоченным расположением алмазов в матрице и с насыщенностью 20–40 %. Зернистость объемных алмазов у такого инструмента колеблется в очень широком диапазоне от 100 до 10000 шт/кар. В качестве подрезных алмазов применяются также более крупные зернистостью 30–60 шт/кар.

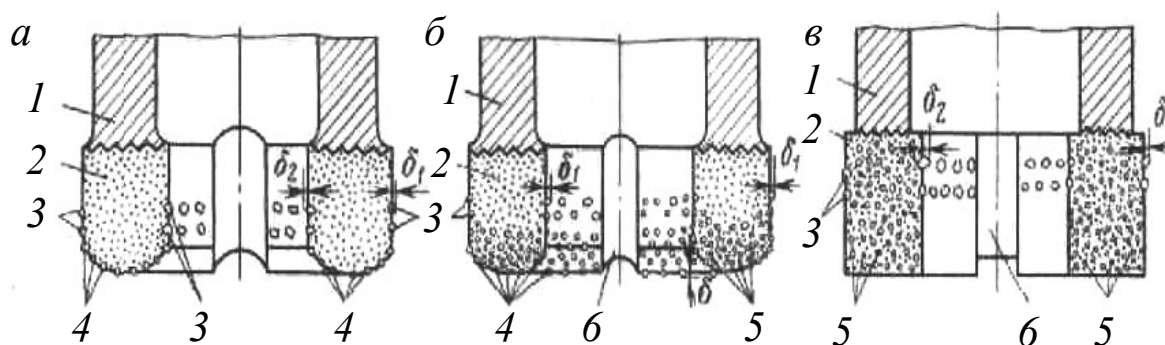


Рис. 3.36. Типы алмазных коронок: 1 – короночное кольцо; 2 – матрица; 3 – подрезные резцы; 4 – торцовые резцы; 5 – объемные резцы; 6 – промывочный канал

Торцовые и объемные зерна располагаются в матрице в секторах по следующим схемам [1]: *радиальная* (рис. 3.37, а); *спиральная*

(рис. 3.37, б); *концентрическая* (рис. 3.37, в). Основное требование к схеме расположения зерен – полное перекрытие всей площади забоя скважины. Эти зерна закрепляются в матрице так, чтобы определенная их часть выступала из нее. Величина вылета зерна из матрицы  $l_3$  зависит от параметров системы «матрица – зерно – порода». Прежде всего это твердость матрицы, размеры зерен и свойства горных пород.

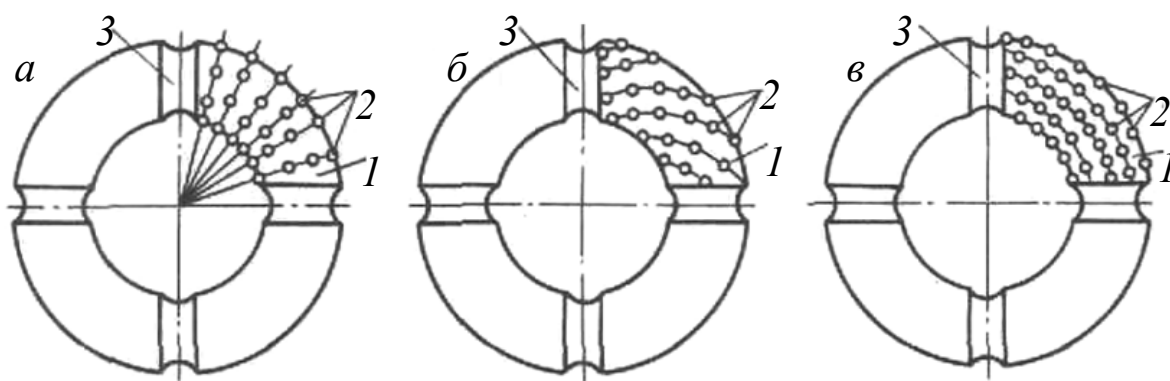


Рис. 3.37. Основные схемы расположения зерен алмазов в секторах: 1 – сектор матрицы; 2 – зерна алмазов; 3 – промывочный канал

Матрицы алмазных коронок могут иметь различную форму (рис. 3.38) [1]. Матрицы с плоским торцом характерны для импрегнированных коронок (рис. 3.38, а). Овальная форма (рис. 3.38, б, в) характеризуется радиусом  $R$  закругления торца матрицы. Наиболее распространенной является форма усеченной полусферы, когда радиус закругления  $R$  больше половины  $l$  толщины кольца матрицы.

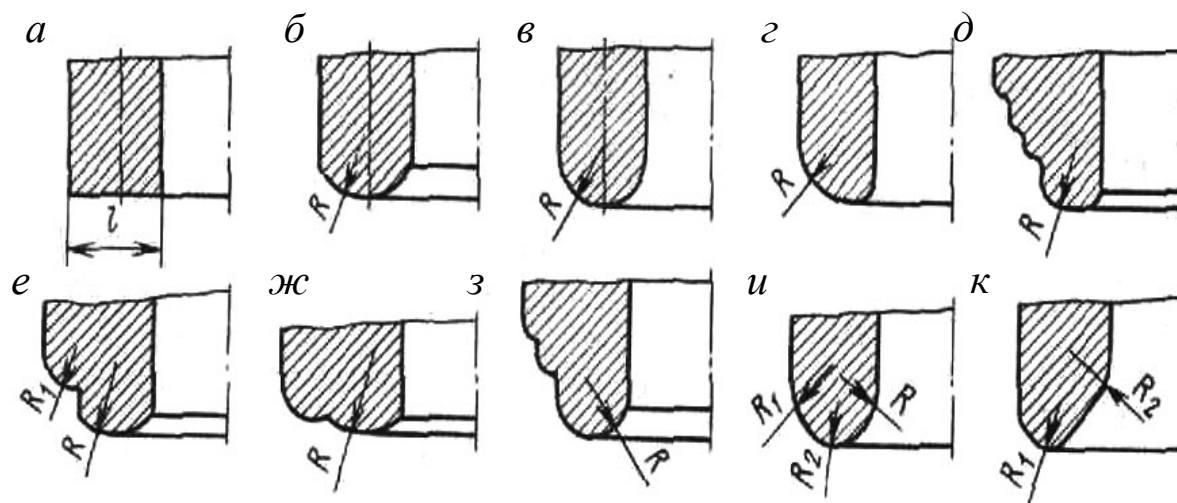


Рис. 3.38. Формы матриц алмазных коронок



Коронки специального назначения имеют утолщенную матрицу с различной геометрией торцевой части – стандартная (рис. 3.38, *з*, *д*), пилот (рис. 3.38, *е*), специальный пилот (рис. 3.38, *ж*), двухступенчатая (рис. 3.38, *з*), двойной конус (рис. 3.38, *и*) и полукупол (рис. 3.38, *к*).

Торец матрицы может иметь форму полусферы, когда ее радиус равен половине толщины кольца (рис. 3.38, *е*). Коронки с такой формой матрицы используются в условиях интенсивного износа ее периферийной части. Полусферическая форма позволяет увеличить количество алмазов, расположенных в наиболее изнашивающейся области матрицы коронки.

Считается, что форма полукупола (рис. 3.38, *к*) способствует сохранению керна при бурении в мягких, легко разрушаемых породах и уменьшению интенсивности искривления скважин. Коронки с такой формой матрицы предназначены для бурения в сильноабразивных и разрушенных породах, когда интенсивно изнашиваются внутренние кромки торца матрицы. Обычно матрицы алмазных коронок имеют вид сплошного кольца или отдельных элементов определенной формы, называемых штабиками, которые крепятся в торце короночного кольца. Размещение алмазных зерен в коронках определяется их конструкцией, насыщенностью матрицы зернами, зернистостью алмазов, конфигурацией промывочных каналов и физико-техническими свойствами горных пород. Существуют четыре режима износа рабочего слоя: образование на зернах износных площадках; выкрашивание мелких кусочков зерна; объемное разрушение зерна; вырыв зерна из матрицы.

*Промывочные каналы* (рис. 3.39) обеспечивают циркуляцию очистного агента в рабочем слое с целью охлаждения инструмента и удаления из призабойной зоны продуктов разрушения породы, матрицы и изношенных зерен (шлама).

Каналы делают как в торцевой, так и боковой частях матрицы, а также, иногда, в корпусе коронки. Чем интенсивнее работает инструмент, тем больше должна быть пропускная способность промывочных каналов. Для этого увеличивают их число и площадь поперечного сечения. Форма сечения должна обеспечивать небольшие гидравлические потери при движении жидкости. Циркуляционные зазоры рабочего торцевого слоя инструмента, а также зазоры между боковыми поверхностями матрицы и стенкой скважины с одной

стороны, керном – с другой должны обеспечивать эффективное удаление шлама. Уменьшение этих зазоров резко увеличивает износ инструмента, что приводит к выходу из строя коронки. Для улучшения циркуляции очистного агента, охлаждения корпуса разработана конструкция коронки с конусными промывочными каналами (рис. 3.39) [20].

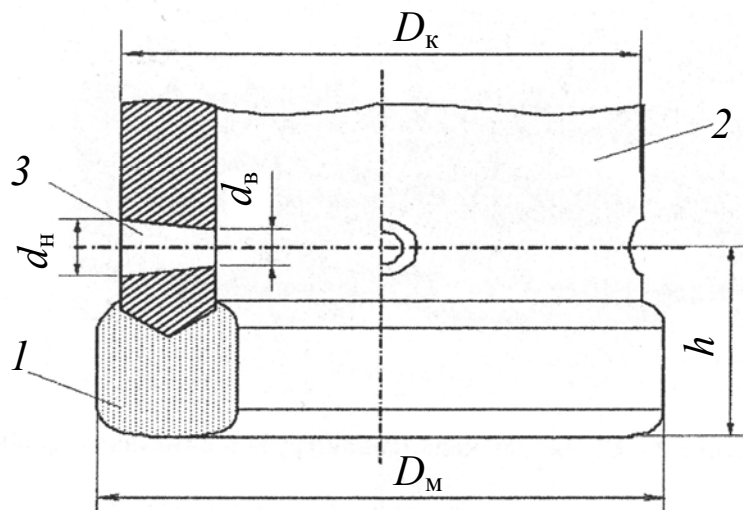


Рис. 3.39. Коронка с конусными промывочными каналами: 1 – матрица; 2 – корпус коронки; 3 – промывочный канал;  $D_M$ ,  $D_K$  – наружные диаметры матрицы и коронки;  $d_H$  – наружный диаметр отверстия;  $d_B$  – внутренний диаметр отверстия;  $h$  – расстояние от торца матрицы до осевой линии промывочных каналов

Практика геологоразведочного бурения показала, что шлам из-под торца коронки поднимается на высоту  $h$  в зазоре между ее корпусом и стенкой скважины под действием центробежных сил, возникающих при вращении бурового снаряда. Далее шлам захватывается очистным агентом и транспортируется на дневную поверхность. Для повышения износостойкости и работоспособности алмазной коронки рекомендуется в корпусе коронки, выше матрицы, иметь радиальные промывочные каналы конической формы. Наружный диаметр отверстия рекомендуется принимать равным толщине корпуса коронки. Коническая форма отверстия позволяет исключить заклинивание кусочков шлама и формирует подъемную силу, которая транспортирует его на дневную поверхность.

### 3.3.3. Устройство алмазных коронок для кернового бурения

В табл. 3.7 и на рис. 3.40 представлена информация по расшифровке индекса алмазных коронок для кернового бурения и их конструкции [1].

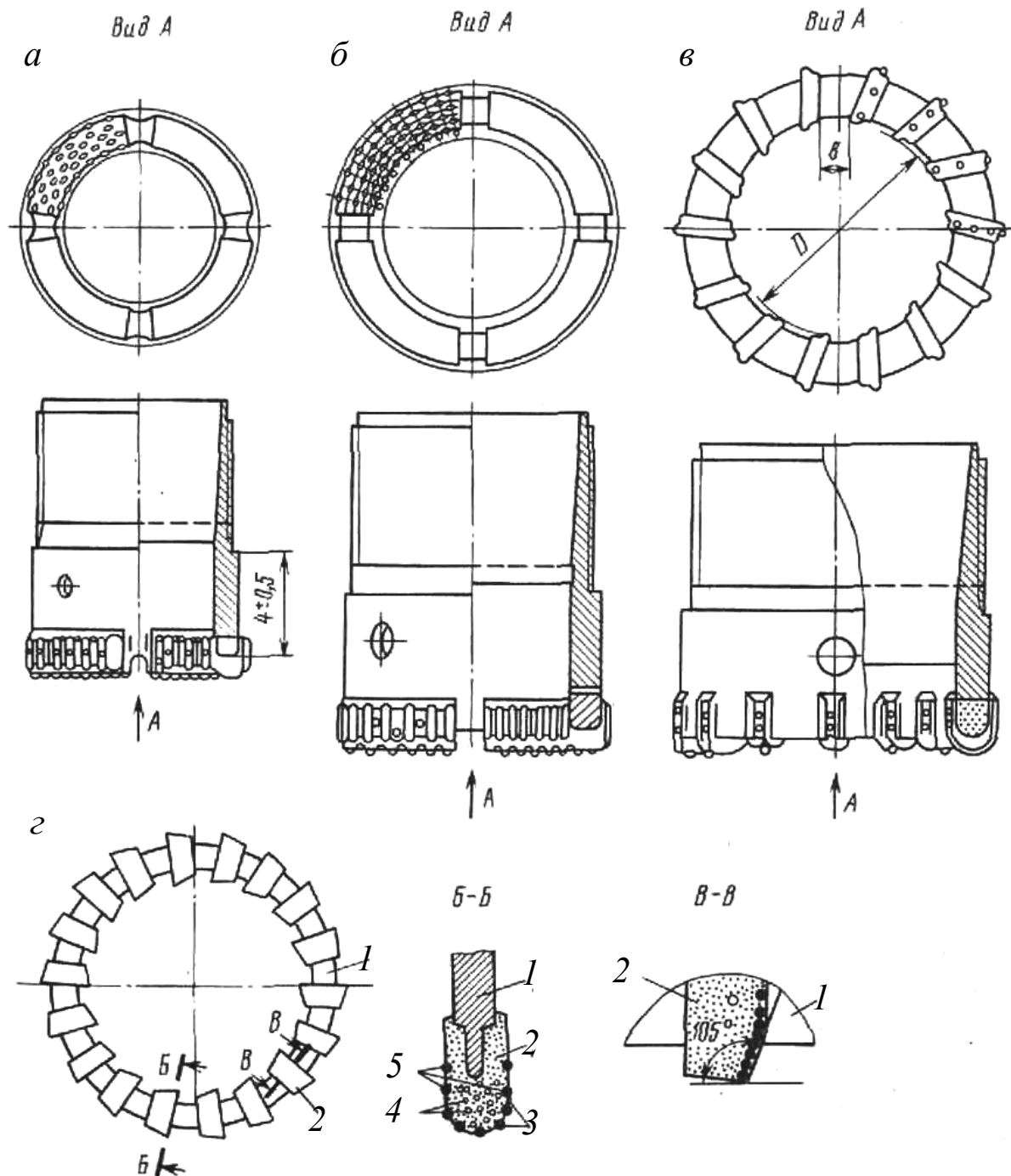


Рис. 3.40. Типы алмазных коронок: *а* – 053-59; *б* – 07А3-59; *в* – 06А3-76; *г* – 015А3; 1 – корпус коронки; 2 – матрица; 3 – торцовые алмазы; 4 – объемные алмазы; 5 – подрезные алмазы

## Индексы коронок

Индекс коронки	Расшифровка индекса
01, 02 . . . 09 А, М, И	Порядковый номер конструкции коронки Размещение зерен в матрице: однослойные А, многослойные М, импрегнированные И
1, 2, 3, 4, 5	Тип матрицы: 1 – очень мягкая, 2 – мягкая, 3 – нормальная, 4 – твердая, 5 – очень твердая
Б, В, Г, Е, К, Л, П	Сорт объемных алмазов
10, 20, 30 . . . 600	Зернистость объемных алмазов, шт/кар
Б, В, К	Сорт подрезных алмазов
10, 20, 30 . . . 60	Зернистость подрезных алмазов, шт/кар

Весь алмазный инструмент маркируется в соответствии с ТУ 2-037-79-72. Индекс, устанавливаемый на коронке, состоит из четырех частей. Например, обозначение 01А3-Б20-Е20-№ 3437АИ2 расшифровывается следующим образом: 01 – первая конструкция коронки; А – однослойная; 3 – нормальный тип матрицы; Б20 – сорт и зернистость торцовых и объемных алмазов; Е20 – сорт и зернистость подрезных алмазов; № 3437 – заводской паспортный номер коронки; АИ – завод изготовитель алмазного инструмента; 2 – коронка изготовлена во втором квартале года.

Алмазные коронки, изображенные на рис. 3.40, имеют нормальную матрицу твердостью 20–25 НРС, вылет зерен  $l_3$  20–30 % от  $d_1$ , зернистость торцовых алмазов от 3 до 200 шт/кар, а подрезных от 4 до 60 шт/кар.

На рис. 3.41 [1] приведены специальные алмазные коронки, которые предназначены для бурения скважин со съемными керноприемниками. С этой целью они имеют удлиненный корпус с присоединительной резьбой. Форма утолщенной матрицы твердостью 20–25 НРС может быть ступенчатой (рис. 3.41, а) со специальным направляющим пилотом.

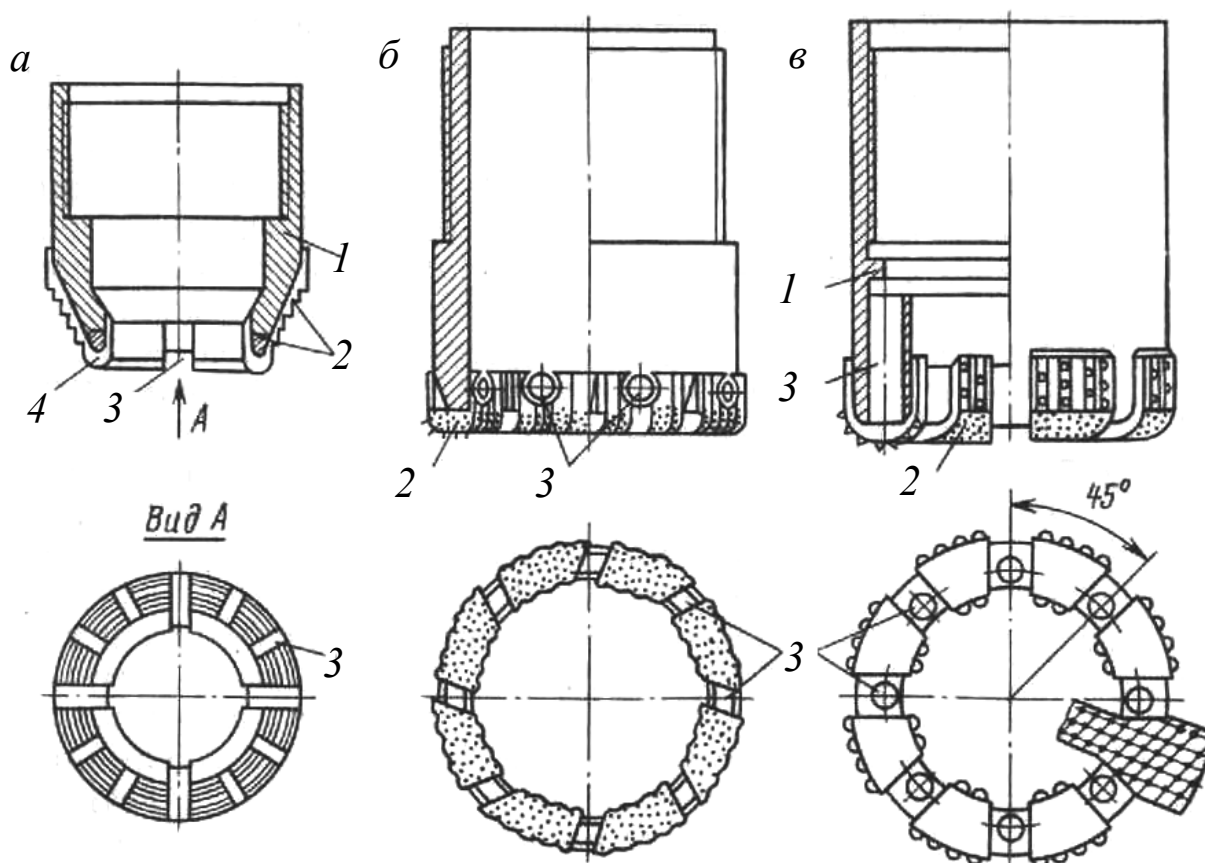


Рис. 3.41. Специальные алмазные коронки: 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – промывочные каналы; 4 – пилот

Торцевые алмазы зернистостью 10–30 и 120–400 располагаются в один слой с вылетом над поверхностью матрицы 30 % от  $d_1$ . Подрезные алмазы имеют зернистость 20–30 шт/кар. Промышленность выпускает коронки типа К и КАСК. Алмазные коронки с продувкой сжатым воздухом (рис. 3.41, б и 3.41, в) имеют матрицу в виде восьми секторов с поперечными отверстиями на границе матрицы и корпуса коронки. Это способствует лучшему охлаждению коронки и улучшает условия выдачи шлама из забоя скважины. Такие коронки армируются алмазами зернистостью 20–30 шт/кар и имеют твердость матрицы 20–25 НРС. Коронки с зернами из синтетических алмазов и сверхтвердых материалов КАИ, БСС, АКС, ИКС, КСК, ЛКР, КС, КСАВ успешно заменяют естественные алмазы.

Коронки, представленные на рис. 3.42 [1], предназначены для кернового бурения геологоразведочных скважин.

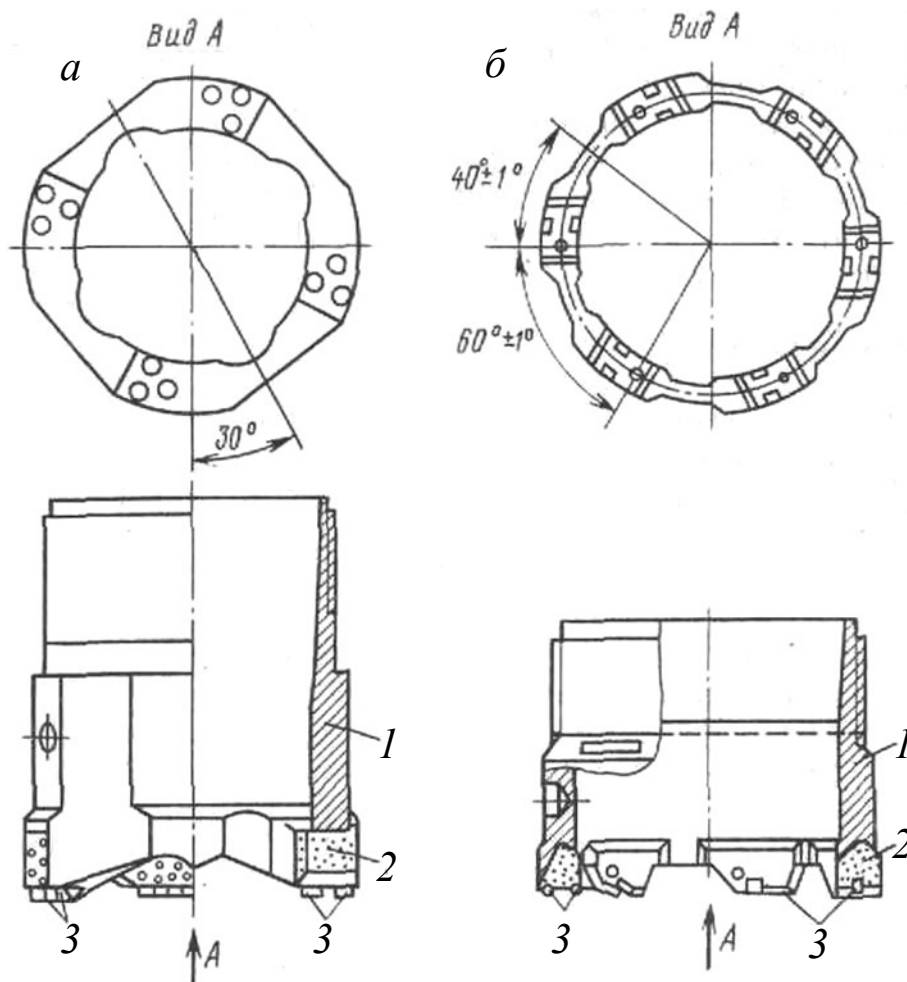


Рис. 3.42. Конструкции коронок с синтетическими алмазами: 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – вставка с синтетическими алмазами

Коронка (рис. 3.42, *a*) типа КСК армирована синтетическими алмазами АСПК (поликристаллические карбонаты). Коронки имеют четыре больших промывочных канала и четыре сектора, в которых устанавливается по три режущих элемента. Масса синтетических алмазов составляет 19–21 кар. Коронки типа ЛКР оснащены синтетическими зернами из сверхтвердого материала эльбор-Р твердостью 90–100 HRC и допускают трех-, четырехкратную перезаточку резцов. Это существенно повышает стойкость коронки.

Коронки КСАВ (рис. 3.42, *б*) армированы синтетическими поликристаллическими алмазами СВСП. Резцы имеют цилиндрическую форму размерами 3,5×4,0 или 4,0×4,0 мм и массу 0,6–0,8 кар. Коронки имеют шесть секторов и шесть промывочных каналов.

Ведущей компанией мира по производству алмазного бурового инструмента является компания Atlas Copco Craelius AB.

Ниже приводится перечень колонковых алмазных буровых коронок (рис. 3.43, 3.44) [2] и расширителей этой компании для бурения геологоразведочных скважин:

- однослойные и импрегнированные алмазные коронки и расширители для одно-, двух- и трехтрубных буровых снарядов, снарядов со съемным кернаприемником дюймового и метрического стандартов диаметром 43–146 мм (от А до S);

- твердосплавные и поликристаллические коронки и расширители для одно-, двух- и трехтрубных буровых снарядов и ССК;

- алмазные и твердосплавные башмаки обсадных и буровых труб дюймового и метрического стандартов диаметром 57–127 мм.



Рис. 3.43. Коронки компании Atlas Copco Craelius AB



Рис. 3.44. Операции по извлечению кернов и демонтажу бурового става

### 3.3.4. Устройство долот для бескернового бурения скважин

На рис. 3.45 [1] приведены однослойные долота с наружной присоединительной резьбой, центральным и боковыми промывочными каналами.

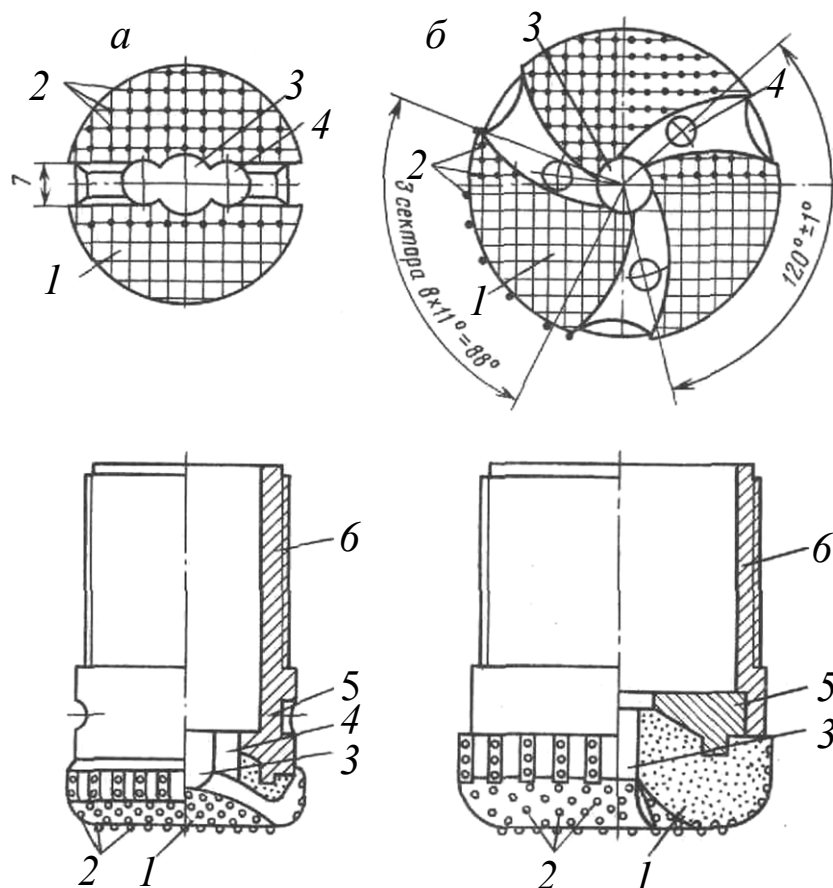


Рис. 3.45. Конструкции однослойных долот: 1 – матрица; 2 – торцовые резцы; 3 – центральный промывочный канал; 4 – боковые промывочные каналы; 5 – корпус долота; 6 – присоединительная резьба

Долото 08АЗ (рис. 3.45, а) оснащается алмазами зернистостью 20–30 шт/кар, имеет два боковых промывочных канала, которые делят матрицу на две части.

Долото 09АЗ (рис. 3.45, б) имеет три спиральных боковых промывочных канала. Торцовая поверхность матрицы выполнена в форме внутреннего конуса с углом при вершине  $80^\circ$ .

Долота этого типа предназначены для бурения плотных монолитных пород средней абразивности.



### 3.3.5. Алмазы и сверхтвердые материалы для буровых коронок и долот

Для оснащения коронок и долот используются как естественные, природные алмазы (А), так и синтетические искусственные алмазы (АС), а также сверхтвердые искусственные материалы (СМ).

*Алмаз естественный* – минерал, встречающийся в природе в виде хорошо выраженных кристаллов размером от 0,36 до 3,65 мм, представляющий собой кубическую модификацию самородного углерода. За единицу массы алмазов принят метрический карат, равный 0,2 г. Алмаз имеет самую высокую твердость и износостойкость среди природных минералов. Микротвердость его находится в диапазоне от 95000 до 100600 МПа и существенно превышает этот параметр у других сверхтвердых материалов. Если принять абразивную способность, износостойкость, за единицу, то у карбида бора она составит 0,5–0,7, карбида кремния – 0,2–0,4, а электрокорунда – 0,15. Алмаз состоит на 96–99 % из углерода, 0,2 % азота, 0,1 % кислорода, 0,002 % алюминия, 0,001 % кремния, 0,001 % марганца, 0,0005 % меди. Алмаз имеет температуру плавления около 4000 °С [1]. Для изготовления коронок и долот используют технические алмазы и их разновидности в виде обломков или поврежденных кристаллов.

В Российской Федерации используют технические алмазы типов борт, баллас, карбонадо, добываемых на Якутских алмазодобывающих предприятиях («Мир», «Удачный», «Комсомольский» и «Айхал») одной из крупнейших в мире компании АК «АЛРОСА». Промышленными считаются месторождения с содержанием алмазов 0,4 кар/м<sup>3</sup>.

Борт представляет собой сростки мелких кристаллов и зерен неправильной формы серого или черного цвета.

Баллас находится в форме сферолитов радиально-лучистого строения.

Карбонадо состоит из отдельных зерен размером около 20 мкм, тесно сросшихся друг с другом в шлакоподобные пористые образования.

По размерам различают алмазные зерна и порошки. Размер зерен от 3,65 до 0,72 мм оценивается их количеством в одном карате и составляет соответственно 2–800 шт/кар. Размер алмазных порошков от 0,57 до 0,36 мм соответствует зернистости 800–4500 шт/кар. То есть, чем меньше размер, тем больше зерен (частиц порошка)

«размещается» в одном карате. Однослойная коронка диаметром 46 мм имеет в матрице 6–8 кар алмазов, а диаметром 59 мм – до 12 кар.

В коронках объемные алмазные микрорезцы составляют до 60 %, а подрезные – до 40 %. Для одно- и многослойных коронок применяют алмазы зернистостью 20–100 шт/кар, а для импрегнированных, используемых при бурении крепких, абразивных, трещиноватых пород, до 1200 шт/кар. Для армирования долот применяют более крупные алмазы.

Технические алмазы высокого качества (XV группа) применяют в коронках без предварительной обработки, а низкого качества (XX группа) подвергают дроблению, оваллизации, металлизации и термообработке.

Оваллизация производится на специальных установках с целью получения округлой формы зерна.

Металлизация применяется с целью покрытия поверхности алмаза тонким, в несколько микронов, слоем тугоплавкого металла, имеющего высокую адгезию к алмазу. Она позволяет устранить дефекты поверхности зерна, повысить на 15 % их прочность, улучшить сцепление зерна со связкой и увеличить на 15–20 % стойкость коронок.

Термообработка алмазного сырья до 920–940 °С позволяет снять внутренние напряжения в кристаллах и таким образом повысить на 20–80 % их прочность.

Для армирования буровых коронок и долот применяют оваллизованные алмазы зернистостью от 5 до 600 шт/кар. В последнее время с целью увеличения сцепления зерна с матрицей при оваллизации поверхность алмаза покрывают двумя – тремя слоями. При этом слой, который контактирует с зерном, имеет хорошие с ним адгезионные свойства, а слой, примыкающий к матрице, близок по физико-техническим свойствам к материалу, из которого она изготовлена.

По ТУ 47-2-73 «Сырье алмазное» алмазы разделены на девять категорий по их виду и назначению. Для изготовления бурового инструмента используется алмазное сырье четвертой, пятой и девятой групп. При этом ресурс алмазных буровых инструментов в 8–10 раз больше, чем у твердосплавного инструмента. Средняя скорость бурения скважин алмазными долотами в 18–20 раз выше, чем при использовании шарошечных долот. Наибольший эффект дают коронки небольшого диаметра.

*Алмазы синтетические* (АС) получают синтезом из графита на мощных гидравлических прессах при давлениях  $P = 1000\text{--}5000$  МПа и температурах  $T = 2000\text{--}2500$  °С. Они классифицируются на монокристаллические и поликристаллические.

Монокристаллические имеют такую же кристаллическую решетку и свойства, как и естественные, природные алмазы. Отличия состоят лишь в твердости, прочности, форме зерна и крупности. Промышленность изготавливает синтетические монокристаллические алмазы следующих марок: АСО – обычной прочности, хрупкие; АСР – повышенной прочности, менее хрупкие; АСВ – высокой прочности; АСК – высокой прочности, кристаллический, сортированный; АСМ и АСН – микропорошки. Размер синтетических алмазов в основном 0,2–1,2 мм.

Синтетические поликристаллические алмазы АРК-4, АРВ-1, АСПК, АСБ получают в виде цилиндров диаметром 4 мм и высотой 4 мм из графита при синтезе в присутствии металлических растворителей при температуре 950–1000 °С. Эти алмазы не уступают по износостойкости естественным, природным.

*Сверхтвердые материалы* (СМ) по некоторым свойствам подобны алмазам, а некоторые превосходят их по своим параметрам. К ним относятся кубонит, гексанит, славутич, эльбор, белбор, боразон, твесал, баллас, карбонадо и др.

Кубонит (кубический нитрид бора) сокращенно носит название КНБ и представляет собой химическое соединение бора (43,6 %) и азота (56,4 %) с кубической решеткой подобной алмазу. Он синтезируется подобно алмазу АС при температуре 1500–1800 °С и давлении до 6000 МПа. В РФ его выпускают под маркой эльбор, в г. Киеве – кубонит, а в США – боразон. Для бурового инструмента используется эльбор-Р в виде цилиндриков диаметром 3,8 мм и высотой 5 мм с твердостью до 7000 МПа. Кубонит марок КО, КР, КН имеет твердость до 9250 МПа, не уступает естественным алмазам по износостойкости и не теряет своих механических свойств при высоких температурах.

Славутич значительно превосходит алмаз по прочности и не уступает ему по износостойкости. Он изготавливается в виде штабиков или пластин различной формы и широко используется для армирования долот.

Гексанит имеет твердость и прочность ниже, чем у кубонита, но более высокую ударную вязкость.

## 4. СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ ИЗ СКВАЖИНЫ

### 4.1. Схемы циркуляции промывочной жидкости

В настоящее время используются три основные схемы циркуляции жидкости или промывки скважин: прямая, обратная и комбинированная [1]. При этом может происходить полная, неполная и местная циркуляция жидкости.

*Полная циркуляция* сопровождается движением промывочной жидкости по замкнутому кругу: насос – бурильные трубы – ствол скважины – циркуляционные желоба и отстойники – насос (рис. 4.1, а).

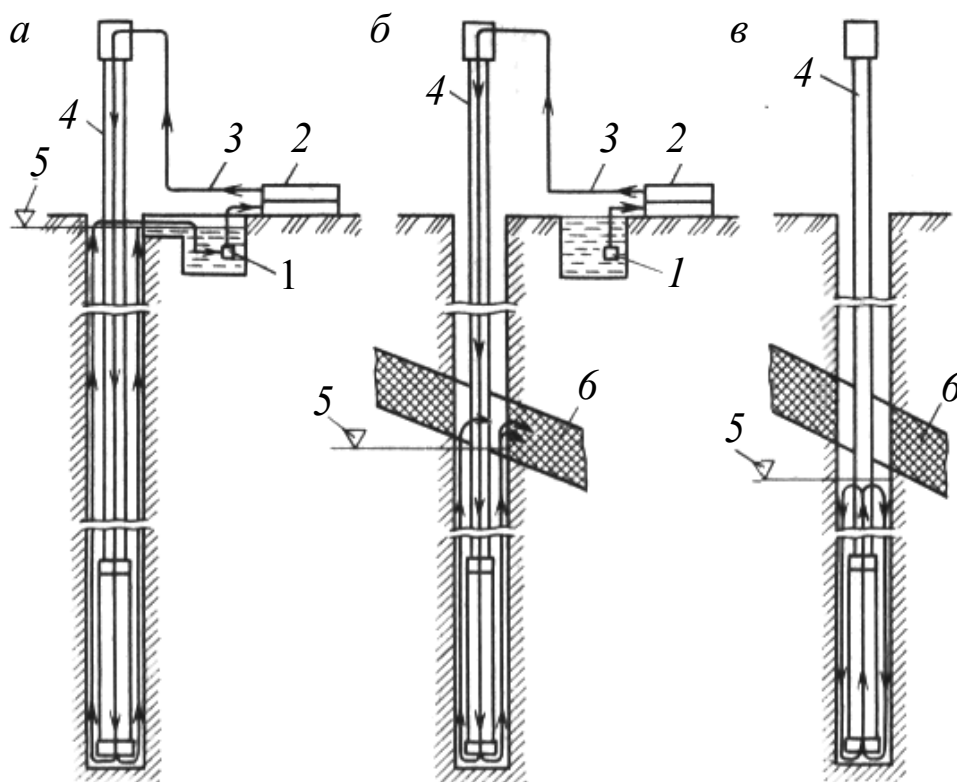


Рис. 4.1. Схемы циркуляции промывочной жидкости в скважине: 1 – всасывающая линия; 2 – насос; 3 – нагнетательная линия; 4 – бурильные трубы; 5 – уровень жидкости в скважине; 6 – водопоглощающий пласт

*Неполная циркуляция* промывочной жидкости происходит при ее полном поглощении в пересекаемом пласте или в трещинах – жидкость по трубам достигает забоя, но может выйти на поверхность, так как уходит в толщу пород (рис. 4.1, б).

*Местная циркуляция* жидкости состоит в том, что поток жидкости движется по замкнутому кругу в призабойной части скважины: буровой снаряд – ствол скважины – забой (рис. 4.1, в).

Схема прямой циркуляции характеризуется тем, что поток жидкости подается в скважину по бурильным трубам и коронку, омывает забой, а затем по стволу скважины возвращается на поверхность (рис. 4.2, а).

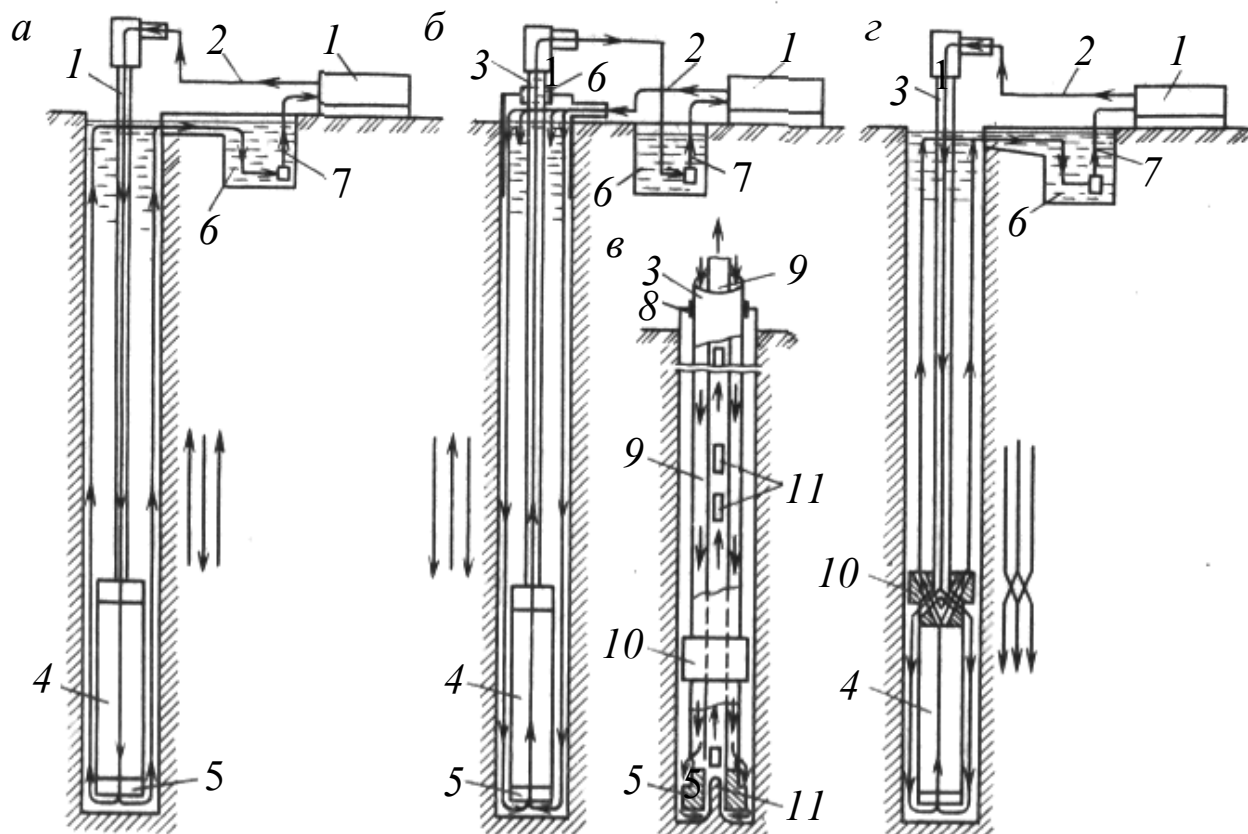


Рис. 4.2. Схемы циркуляции промывочной жидкости: 1 – насос; 2 – нагнетательная линия; 3 – бурильные трубы; 4 – буровой снаряд; 5 – породоразрушающий инструмент; 6 – приемная емкость насоса; 7 – всасывающая линия; 8 – герметизирующее устройство (сальник); 9 – водо-керно-подъемная труба; 10 – пакерующее устройство; 11 – керн

В качестве достоинства этой системы можно отметить простоту ее осуществления. К недостаткам можно отнести: необходимость большого количества жидкости для получения достаточно большой скорости, что может быть причиной обвалов стенок скважин, сложенных неустойчивыми породами, и прихватов бурового снаряда.

Схема обратной циркуляции жидкости может осуществляться двумя способами: при подаче жидкости по стволу скважины (рис. 4.2, б) или по межтрубному пространству (рис. 4.2, в). По второму способу пространство между бурильной трубой и стенкой скважины перекрывается специальным сальником (пакером) или

заполняется плотным глинистым раствором, поэтому промывочная жидкость вынуждена подниматься вверх внутри колонны труб. Вместе с восходящим потоком при обратной промывке могут транспортироваться не только частицы шлама, но и керн.

Схема обратной промывки скважин имеет ряд достоинств: возможность получения высокой скорости восходящего потока при меньшем расходе промывочной жидкости и меньших потерях напора; возможность транспортирования керна на поверхность без подъема бурового снаряда (рис. 4.2, в).

Схема комбинированной циркуляции (рис. 4.2, г) состоит в том, что поток нагнетаемой в скважину жидкости движется по буровым трубам вниз, а в колонковом снаряде – вверх.

*Пневматический способ* (рис. 4.3) удаления продуктов разрушения в определенных условиях более целесообразен, чем с использованием промывочной жидкости.

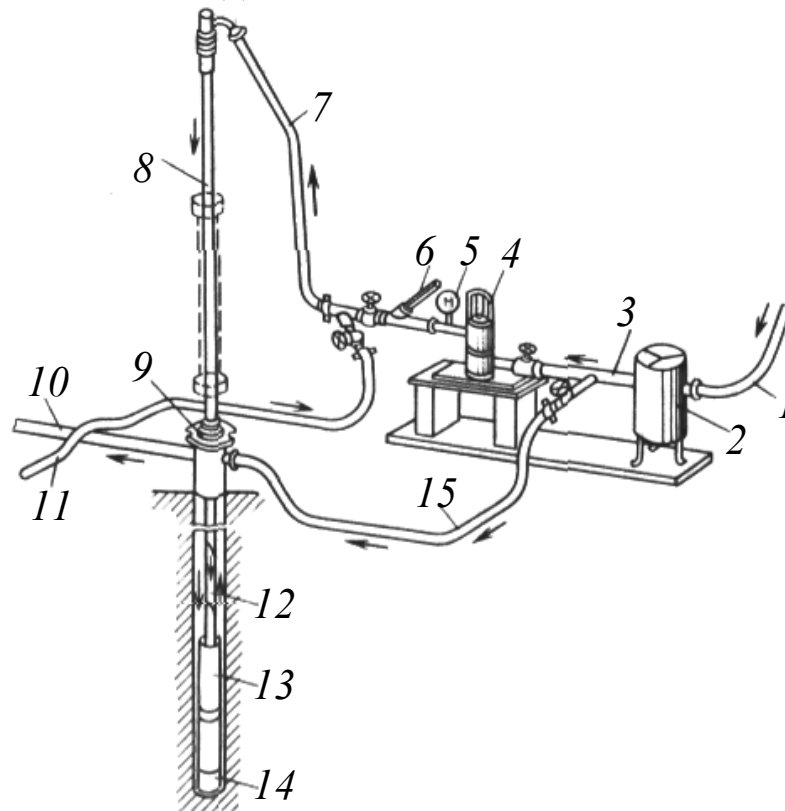


Рис. 4.3. Схема циркуляционной системы при бурении с продувкой скважины воздухом: 1, 3, 7, 15 – нагнетательная линия (от компрессора); 2 – маслоотделитель; 4 – расходомер; 5 – манометр; 6 – термометр; 8 – буровые трубы; 9 – герметизирующее устройство; 10 – выкидная линия; 11 – водонапорная линия (от насоса); 12 – циркуляционный канал в буровых трубах; 13 – шламоулавливающая труба; 14 – коронка

Применим при бурении скважин любым породоразрушающим инструментом. Пневматический способ удаления продуктов разрушения состоит в том, что воздух с помощью компрессора нагнетается к забой скважины и, двигаясь с достаточно большой скоростью, выносит частицы разрушенной породы на поверхность. При этом возможны две схемы продувки: прямая и обратная. Наиболее распространена схема прямой продувки.

Достоинством рассматриваемого способа является то, что циркулирующий воздух, имея большую подвижность, интенсивно очищает забой от продуктов разрушения, эффективно охлаждает забойный инструмент, практически не нарушая устойчивости пород стенки скважины.

Пневматический способ транспортирования продуктов разрушения из скважины позволяет: повысить механическую скорость бурения; улучшить условия изучения геологического разреза по шламу; устранить разрушение стенок скважины.

## **4.2. Технические средства для приготовления и обработки промывочных жидкостей**

### **4.2.1. Краткая характеристика промывочных жидкостей**

Как показал опыт бурения разведочных скважин, ранее широко применяемые промывочные жидкости, такие как вода, глинистые растворы, теряют свою эффективность при проведении глубоких скважин. При этом возрастают гидродинамические нагрузки на стенку скважины, возрастает вероятность самозаклинивания керна, повышается вибрация колонны бурильных труб. Эти причины, а также небольшие зазоры между буровым снарядом и стенкой скважины (до 3 мм) потребовали разработки более эффективных промывочных жидкостей. Промывочные жидкости должны обладать хорошими смазочно-охлаждающими и транспортирующими свойствами, иметь небольшие гидравлические потери, снижать вибрацию буровой колонны. Они должны хорошо очищать забой от шлама, обладать низкой фильтрацией в породу и крепить стенку скважины. К таким промывочным жидкостям относятся гуматно-силикатные, полимерные, полимеркалийевые, аэрированные и др. Помимо свойств промывочной жидкости на показатели бурения оказывают существенное влияние ее уровень в затрубном пространстве и способ его поддержания.

Глины и глинопорошки являются основными структурными компонентами для рецептов различных промывочных жидкостей, а также паст для изоляции зон поглощения [5]. Глины применяют следующих типов: бентонитовые, каолинитовые, бейделлитовые, полыгорскитовые. Наиболее эффективные глины – бентонитовые в виде естественных глинистых суспензий и обработанных химическими материалами (кальцинированная или каустическая соды, ССБ, КССБ, окзил, пеногаситель и т. д.) растворов. Обработка добавками химических реагентов (21–28 %) проводится для предотвращения образования на стенке скважины корок, которые приводят к прихвату бурильной колонны. Полимербентонитовые промывочные жидкости состоят из бентонита, ГПАА (2 %), кальцинированной соды, применяют в породах с различной степенью трещиноватости. Реагенты способствуют повышению эффективности очистки забоя, транспортировки породы по скважине, снижению гидравлических сопротивлений. Промывочные жидкости на основе эмульсолов (ЭТ-2, ЭГТ, ЭЛ-4, ЭН-4), полимеров (ПАА) используются в устойчивых и средней устойчивости, монолитных, слаботрещиноватых породах. Они обладают высокими смазочными и блокирующими свойствами. Для глинистых пород, аргиллитов, сланцев разработаны ингибированные промывочные жидкости (известковые, хлоркалийевые, хлоркальциевые, алюмокалийевые, силикатные и др.). Они предотвращают повышенное набухание, вспучивание породы. Для соленасыщенных пород, с целью предотвращения растворения стенок скважины, целесообразно применение таких реагентов, как: хлористый натрий, каустическая или кальцинированная соды, крахмал, хлорид магния, ПАА и др. При бурении скважин в условиях обвалов ее стенки в глинистые растворы вводят утяжелители на основе мергеля, известняка, доломита, барита, магнетита и других реагентов.

Химические реагенты и материалы для обработки промывочных жидкостей подразделяются на следующие группы.

1. Реагенты и материалы общего назначения для приготовления базовых растворов: каустическая сода, известь, карбонат натрия; глины, биполимеры, полимеры для регулирования структуры раствора; бентонит, полимеры для понижения фильтрации.

2. Реагенты и материалы специального назначения для придания буровым растворам ингибирующих, смазочных, антивибрационных свойств, повышения эффективности базовых растворов: ин-



гибиторы сланцев и глинистых пород, предотвращающих набухание и гидратацию пород; смазочные и антивибрационные добавки (Ленол, Морозол, Геол и др.); поверхностно-активные вещества, способствующие снижению прочностных свойств горной породы на забое, уменьшению плотности раствора (сульфанол, жирные кислоты, некаль и др.); закупоривающие материалы для предотвращения поглощения раствора в сильнопроницаемых, трещиноватых породах (древесные опилки, резиновая крошка, измельченная пластмасса и др.).

В практике бурения геологоразведочных скважин наибольшее распространение получили механический и физико-механический способы приготовления промывочной жидкости.

Механический способ реализуется в следующих технических средствах: лопастные и пропеллерные мешалки, гидравлические самовращающиеся перемешиватели, активаторы, фрезерно-струйные мельницы, гидроэжекторные смесители, дозаторы и др.

Механические глиномешалки обеспечивают перемешивание и диспергирование комовых глин и бентонитовых глинопорошков в процессе приготовления и химической обработки.

Глиноизмельчитель используют в ряде случаев для приготовления промывочных жидкостей из местных комовых материалов, особенно в зимнее время для дробления слипшихся комков или смерзшихся кусков. На рис. 4.4 [5] представлена конструкция глиноизмельчителя конструкции ПГО «Южгеология», обеспечивающая эффективное дробление и измельчение комовой глины перед загрузкой в глиномешалку или фрезерно-струйную мельницу.

Глиноизмельчитель состоит из следующих основных узлов: корпуса 1, ударного устройства, включающего вал с размещенными на нем четырьмя ударными лопастями (битами) 2, приемного бункера 3, шарнирной зубчатой щеки (деки) 5 и устройства для очистки лопастей от глины 4.

#### **4.2.2. Технические средства для приготовления промывочных жидкостей**

Для приготовления промывочных жидкостей необходимо знать исходную информацию: технологические параметры; расход жидкости; применяемые материалы (глины, химические реагенты, добавки). Промывочная жидкость может быть изготовлена двумя способами: механическим; физико-механическим [5]. Для реализа-

ции механического способа применяются лопастные и пропеллерные мешалки, гидравлические перемешиватели, активаторы, фрезерно-струйные мельницы, гидроэжекторные смесители, дозаторы и другое оборудование. Механические глиномешалки в процессе приготовления и химобработки промывочных жидкостей выполняют функции по перемешиванию и диспергированию комовых глин и бентонитовых порошков.

*Глиноизмельчители* (рис. 4.4) используются при приготовлении промывочных жидкостей из местных комковых глин, в частности в зимнее время, когда требуется дробление смерзшихся кусков. Измельчение осуществляется ударным механизмом из четырех лопастей 2, а их очистка от глины специальным устройством 4.

К боковым стенкам рабочей части корпуса 1 глиноизмельчителя шарнирно прикреплена зубчатая щека 5, в которой ударными лопастями 2 раздавливаются крупные куски глины. Степень измельчения можно регулировать заменой щек. Рациональным считается размер кусков от 70 до 110 мм (меньший размер предпочтителен для фрезерно-струйной мельницы).

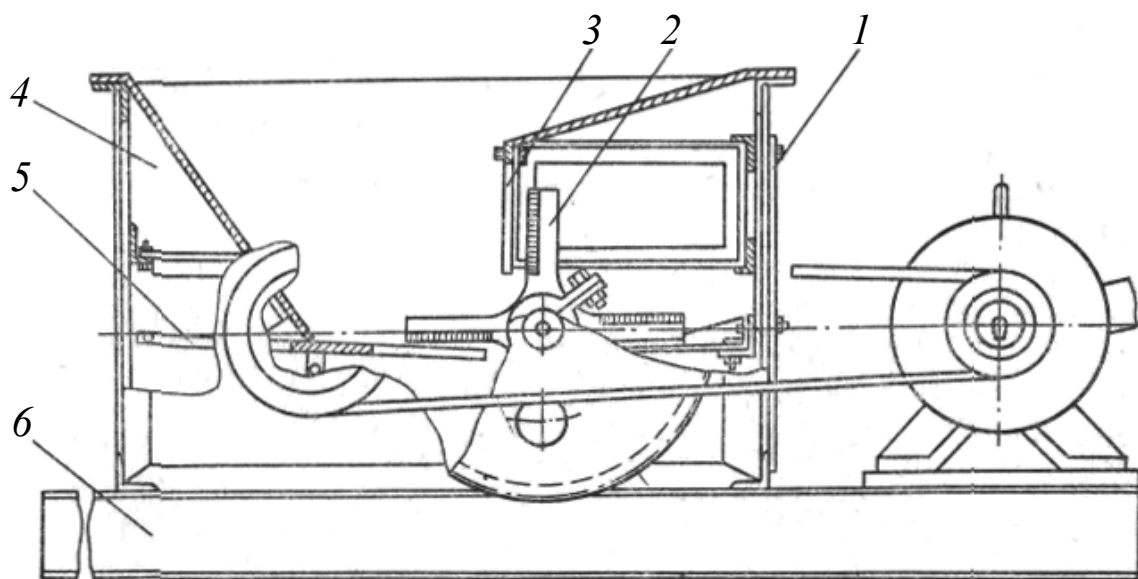


Рис. 4.4. Глиноизмельчитель: 1 – корпус; 2 – ударная лопасть; 3 – приемный бункер; 4 – устройство очистки лопастей от глины; 5 – шарнирная зубчатая щека; 6 – основание глиноизмельчителя

Для повышения износостойкости рабочих частей зубчатой щеки и ударной лопасти армируются пластинками из твердого сплава. Производительность измельчителя составляет 10–15 т/ч. Размер загружаемых кусков глины не должен превышать 500 мм.

Фрезерно-струйные мельницы типа ФСМ (рис. 4.5) [5] являются разновидностью механических мешалок, которые используются для приготовления промывочных жидкостей. Они используются для выполнения следующих операций: приготовление промывочной жидкости на базе порошковых материалов (глина, известь и т. д.) и химических реагентов; обработка растворов для повышения их коллоидальности; утяжеление растворов. В настоящее время выпускаются мельницы типа ФСМ-3, ФСМ-7, ФСМ-13 мощностью до 35 кВт, производительностью до 20 т/ч комковатой глины и 40 т/ч глинопорошка. К достоинствам фрезерно-струйных мельниц можно отнести высокую (в 4–5 раз больше глиномешалок) производительность, отсутствие шума и вибрации, небольшие габариты.

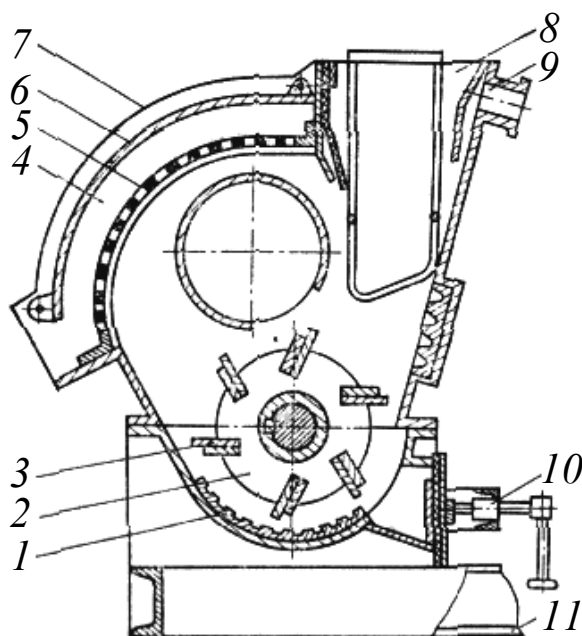


Рис. 4.5. Фрезерно-струйная мельница типа ФСМ: 1 – диспергирующая рифленая плита; 2 – лопастной ротор; 3 – лопасть; 4 – лоток; 5 – выходная решетка; 6 – отражательный щиток; 7 – борт; 8 – приемный бункер; 9 – патрубок для подачи воды; 10 – механизм открывания и закрывания крышки ловушки; 11 – рама

Насос-мешалка (рис. 4.6) [5] необходим для приготовления, обработки и перемешивания раствора, отделения твердых частиц крупнее 3 мм и подачи раствора на очистку в гидроциклонный блок.

С помощью насоса-мешалки можно приготовить глинистый раствор из глинопорошков, водных растворов полимеров, реагентов

из порошковых и гидрогелевых материалов. Производительность установки при приготовлении глинистого раствора составляет от 2 до 3 т/ч. Базовым устройством насоса-мешалки является электронасос «Гном» 1, соединенный валом 2 с мешалкой 4.

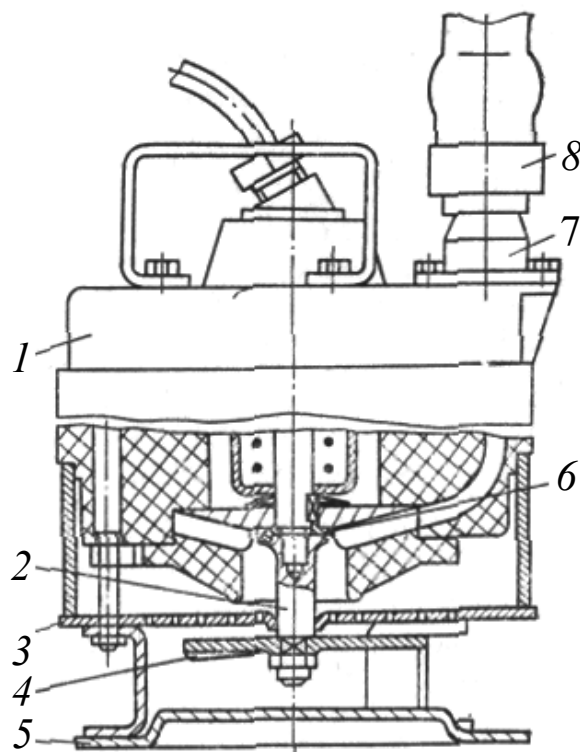


Рис. 4.6. Насос-мешалка: 1 – электронасос «Гном»; 2 – вал; 3 – решетка; 4 – мешалка; 5 – ограждение; 6 – стопорная шайба; 7 – штуцер; 8 – специальная гайка

Принцип работы вращающейся мешалки заключается в том, что поток раствора проходит через решетку; мелкие частицы, взвешенные в растворе, проходят через отверстия решетки и уносятся насосом, а крупные – задерживаются решеткой, смешиваются с потоком, скользящим вдоль нее, и повторно дробятся, пока не проникнут через решетку.

Установка насоса-мешалки способствует постоянному поддержанию технологических свойств раствора в требуемых пределах.

Для активации промывочных жидкостей нашли применение струйные дезинтеграторы, эмульгаторы, гидродинамические диспергаторы, ультразвуковые эмульсионные и другие установки.

### 4.2.3. Технические средства для беструбного крепления скважин

При бурении разведочных скважин часто приходится пересекать горные выработки. В этой связи приходится подключать дополнительные технические мероприятия: изоляция, перекрытие горных выработок; изменение конструкции скважины; выбор и обоснование параметров промывочной жидкости. Для проходки зон обрушений и при вскрытии горных выработок нашли применение универсальные тампонажные снаряды (рис. 4.7) [5].

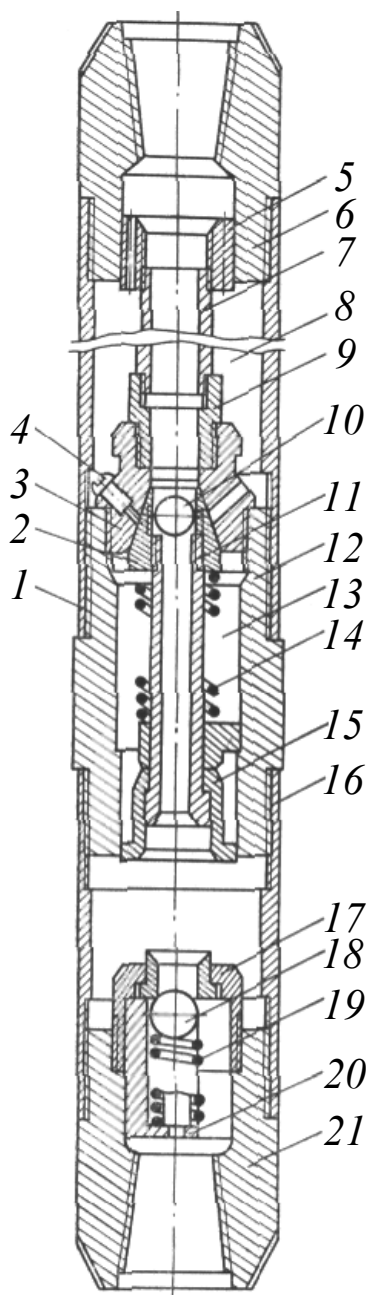


Рис. 4.7. Универсальный тампонажный снаряд УТС-2М

На рис. 4.7 представлены следующие элементы: 1, 12, 20 – корпуса соответственно снаряда, смесительного и обратного клапанов; 2, 5, 15 – втулки соответственно конусная, фланцевая и обратного клапана; 3 – седло клапана; 4 – винт; 6, 9, 21 – переходники соответственно верхний, центральный и нижний; 7 – центральная труба; 8 – контейнер; 10, 18 – шарики; 11 – шток; 13 – смесительная камера; 14, 19 – пружины; 16 – ниппель; 17 – обойма обратного клапана.

*Тампопажный снаряд УТС-2М* (рис. 4.7) имеет увеличенную смесительную камеру, что предотвращает ее засорение крупными фракциями тампонирующей смеси. Его конструкция позволяет подсоединение к его нижнему переходнику породоразрушающего инструмента, что позволяет совместить операции по бурению и тампонированию скважины.

Принцип действия снаряда заключается в следующем. Контейнер 8 предварительно на поверхности заполняется ускорителем схватывания тампонирующей смеси, а верхняя часть фланцевой втулки 5 заполняется буферной жидкостью (машинное масло или глинистый раствор). После этого универсальный тампопажный снаряд без шарика 10 опускается в скважину и происходит процесс бурения скважины. При встрече завала наступает необходимость тампонирования.

В начале тампонирования шарик 10 опускается в бурильные трубы с одновременной подачей цементного раствора. Шарик перекрывает отверстие во втулке 2, который под давлением опускается в нижнее положение, открывая отверстие в седле клапана 3. При этом ускоритель из контейнера 8 под давлением, создаваемым прокачиваемой смесью через отверстия во фланцевой втулке, вытесняется в смесительную камеру 13. В камере компоненты смешиваются и через обратный клапан подаются в зону тампонирования, после чего снаряд поднимается и промывается. Обратный клапан исключает попадание смеси в снаряд после окончания тампонирования.

*Устройство ТСТ-1ГВ* (рис. 4.8) [5] предназначено для крепления стенок скважины и ликвидации поглощения раствора в породах со значительным раскрытием трещин. По интенсивности поглощения пересекать горные выработки подразделяются на пять типов: I – поглощения промывочной жидкости нет; II – частичное поглощение; III – полное поглощение; IV – интенсивное поглощение; V – катастрофическое

поглощение. Для количественной оценки типов поглощений введен коэффициент поглощающей способности  $K$ , который соответственно этим пяти типам равен: 0, 1, 1–5, 5–20 и 20.

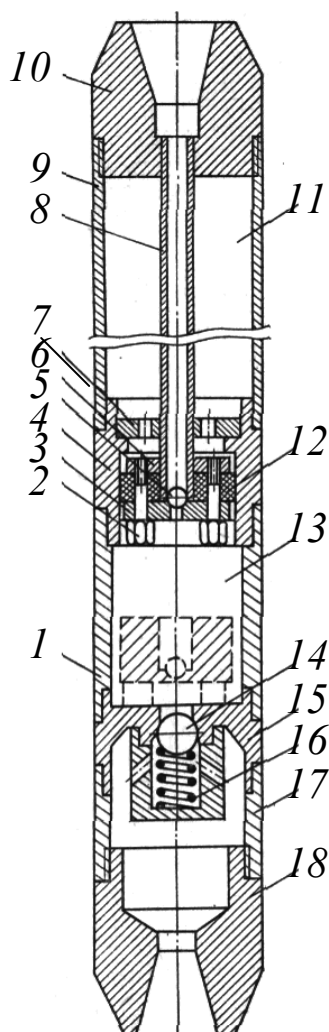


Рис. 4.8. Тампонажное устройство ТСТ-1ГВ: 1, 9 – корпуса смесительной камеры и устройства; 2 – болт; 3, 6 – шайба ниппеля и верхняя; 4, 17 – ниппели; 5 – шарик; 7 – дозатор; 8 – центральная труба; 10, 18 – переходники верхний и нижний; 11 – контейнер; 12 – уплотнительная манжета; 13 – смесительная камера; 14 – шарик; 15 – обойма обратного клапана; 16 – пружина

Устройство в зависимости от характера поглощения позволяет при смене дозатора 7 регулировать подачу ускорителя в смесительную камеру от 5 до 20 % и получать вязкие и высоковязкие смеси.

Устройство ТСТ-1ГВ имеет смесительную камеру 1, на которую навинчивают нижний переходник 18 с обратным клапаном (шарик 14) и породоразрушающим инструментом (на рис. 4.8 не показан). Контейнер 11 заполняют ускорителем (жидким стеклом), на-

винчивают верхний переходник *10* и устройство на бурильных трубах опускают в интервал тампонирувания.

После закачивания цементного раствора (30 % расчетного объема тампонирующей смеси) с целью предварительной обработки осложненного участка скважины в бурильные трубы сбрасывается шарик *5*, который задерживается на нижней шайбе *3* и перекрывает в ней отверстие. При дальнейшем прокачивании происходит срыв уплотнительной манжеты *12* в камеру *13*, после чего ускоритель вытекает в смесительную камеру, где он смешивается с основным компонентом тампонирующей смеси. При этом образуемая смесь через обратный клапан поступает в осложненный участок скважины.

Положительные результаты при тампонирувании устройством ТСТ-1ГВ были достигнуты в 90 % случаев.

*Устройство УПГВ-1* (рис. 4.9) [5] предназначено для беструбного перекрытия горных выработок, пересекаемых скважинами, а также для изоляции участков пород с интенсивным и катастрофическим поглощением промывочной жидкости.

Устройство УПГВ-1 состоит из снаряда *2*, перфорированной трубы *6*, пробки-центратора *10*, изготовленной из легкоразбураемого материала (дерева, пластмассы, алюминия), эластичной оболочки *8*. В качестве эластичной оболочки применяется капроновая ткань с отверстиями размером 1,5×1,5 мм, которая уменьшает разрушающее действие потока воды в скважине на тампонирующую смесь в начальный период ее схватывания.

В нижний переходник снаряда УТС-2М ввинчивают перфорированную трубу, длина которой должна превышать высоту горной выработки на 3–4 м, на нижний конец которой с помощью шпилек *9* крепится пробка-центратор *10*.

Эластичная оболочка закрепляется вокруг перфорированной трубы в нижней части бандажной лентой, а в верхней – резиновыми кольцами *7*. Диаметр оболочки больше диаметра скважины в 1,2–1,5 раза, а ее длина равна длине перфорированной трубы.

После окончания заполнения контейнера ускорителем схватывания тампонирующей смеси устройство опускают в скважину и устанавливают таким образом, чтобы пробка-центратор находилась ниже почвы горной выработки на 1–1,5 м. Тампонирующая смесь подается в колонну бурильных труб с помощью насоса.



После перемешивания в камере 5 тампонирующая смесь с ускорителем через отверстия в перфорированной трубе заполняет эластичную оболочку, которая в горной выработке принимает цилиндрическую форму, а в скважине – форму скважины. Через отверстия в оболочке часть смеси проходит в скважину и заполняет трещины в породе. В этом случае эластичная оболочка является каркасом. По окончании изоляции горной выработки в скважине проводят дальнейшие работы по креплению ее стенок в зоне влияния горной выработки и восстановлению циркуляции промывочной жидкости с учетом принятой технологии.

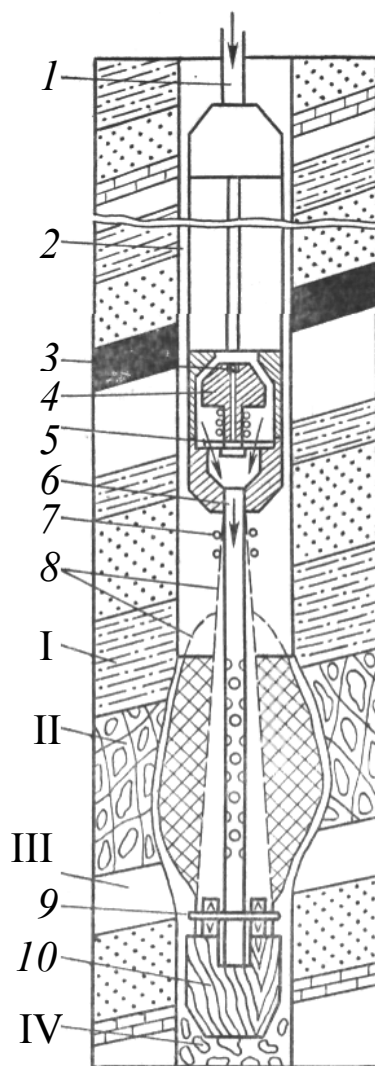


Рис. 4.9. Схема установки устройства перекрытия горных выработок УПГВ-1: I, III – соответственно кровля и почва горной выработки; II – горная выработка; IV – забой скважины; 1 – буровая труба; 2 – снаряд УТС-2М; 3 – шарик; 4 – клапан смесителя; 5 – смесительная камера; 6 – перфорированная труба; 7 – резиновое кольцо; 8 – эластичная оболочка; 9 – алюминиевая шпилька; 10 – пробка-центратор

*Перекрывающие устройства типа УПП* (рис. 4.10) разработаны ВНИИБТ для ликвидации катастрофических поглощений промывочной жидкости, вызванных большими трещинами, пустотами или горными выработками [5].

Основной элемент УПП – специальная высокопрочная ячеистая, капроновая оболочка 4, которая спускается в зону поглощения с помощью бурильных труб.

Устройство состоит из двух частей, первое из которых остается в скважине, а второе извлекается из нее. В скважине оставляют оболочку, заполненную цементным раствором, которая может равномерно расширяться, а также направляющую перфорированную трубку. Эластичная оболочка, расширяясь, воспроизводит конфигурацию пустот, горной выработки.

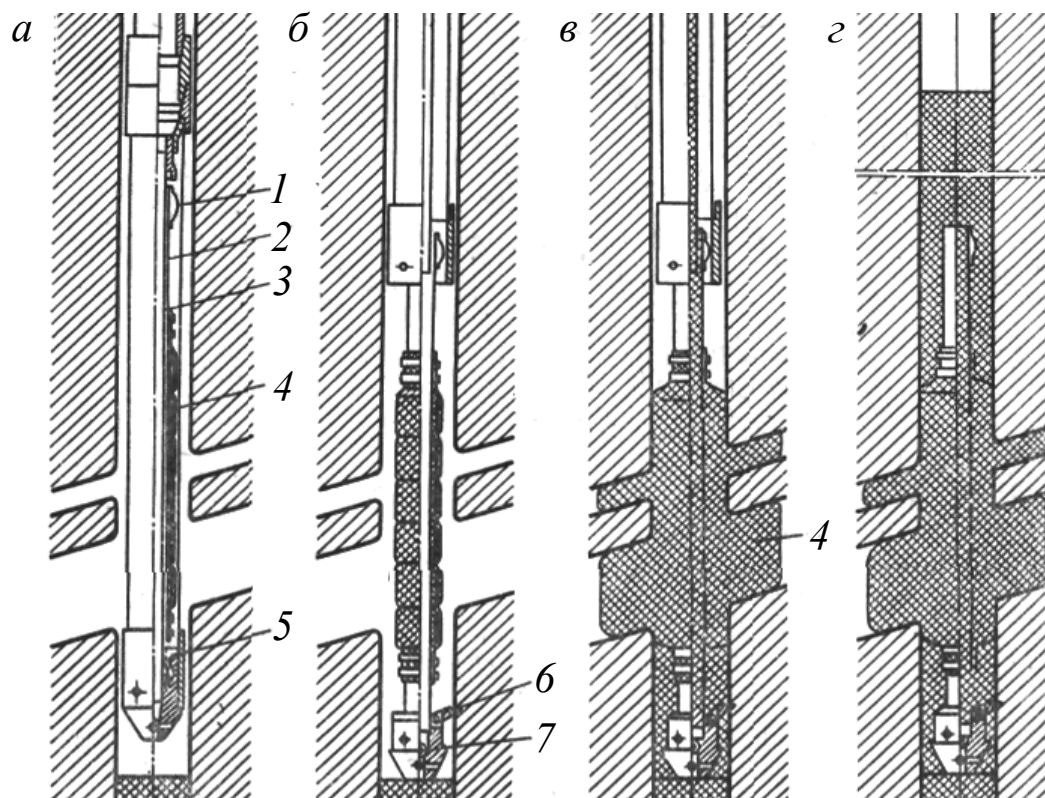


Рис. 4.10. Схема работы устройства перекрытия зон поглощения типа УПП: а – в транспортном положении в зоне выработки; б – раскрепление устройства в стволе скважины и подъем его корпуса на высоту оболочки; в – закачивание наполнителей и тампонирующих смесей; г – освобождение бурильной колонны и корпуса УПП от устройства перекрытия; 1 – фонарь; 2, 3 – центральные трубы; 4 – высокопрочная ячеистая капроновая оболочка; 5 – предохранительный башмак; 6 – раскрепляющее устройство; 7 – шар

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### Раздел 1: Основные понятия о процессах сооружения скважин, свойства горных пород

1. Что такое скважина?
2. Понятие о конструкции скважины и ее элементах?
3. Какими параметрами характеризуется пространственное положение скважины?
4. Классификация буровых скважин по углу наклона к горизонту.
5. Способы бурения геологоразведочных скважин?
6. Основные элементы конструкций скважин при бескерновом и керновом бурении.
7. Типовые конструкции инженерно-геологических скважин.
8. Состав оборудования бурового комплекса.
9. Какие свойства горных пород влияют на процессы бурения скважин?
10. Что входит в состав грунтов?
11. Классификация грунтов.
12. Что относится к физическим свойствам грунтов?
13. Что относится к механическим свойствам нескальных грунтов?
14. Что относится к механическим свойствам скальных грунтов?
15. Что такое буримость горных пород?
16. Классификация горных пород и грунтов по буримости для шнекового способа бурения.
17. Классификация горных пород и грунтов по буримости для вращательного способа бурения.
18. Классификация горных пород и грунтов по буримости для ударно-вибрационного способа бурения.
19. Что такое анизотропность горной породы?
20. Формула для определения показателя анизотропии.
21. Методы определения показателей анизотропии.
22. Зависимость скорости бурения скважины от показателя анизотропии?
23. Приведите схемы расположения главных плоскостей анизотропии горной породы.
24. Как влияет анизотропия породы на процесс взаимодействия с нею породоразрушающего инструмента?
25. Классификация физических свойств горных пород.

26. Что входит в понятие устойчивость горной породы, факторы, влияющие на этот показатель?
27. Какие составляющие горного давления влияют на устойчивость стенки скважины?
28. Что такое альтитуда устья скважины?
29. Формула для определения коэффициента бокового распора, расшифруйте ее.
30. Схема к расчету устойчивости пород в стенке скважины.
31. Что такое радиальное и тангенциальное напряжения в стенке скважины?
32. Классификация горных пород по устойчивости.
33. Что такое связные или несвязные породы?
34. Как влияет трещиноватость горных пород на их прочность?
35. Классификация горных пород по трещиноватости.

## **Раздел 2: Технология бурения скважин и буровое оборудование**

1. Способы бурения инженерно-геологических скважин, их область применения.
2. Схема колонкового бурения с гидротранспортом керна, опишите ее.
3. Схема роторного бурения с обратной промывкой, опишите ее.
4. Схема ударно-вибрационного бурения, опишите ее.
5. Схема пневмоударного бурения с погружным пневмопробойником, опишите ее.
6. Схема вибрационно-вращательного бурения, опишите ее.
7. Область применения и конструктивные особенности установки УКБ-12/25С.
8. Область применения и конструктивные особенности установки УБП-15М.
9. Область применения и конструктивные особенности установки УРБ-2М.
10. Область применения и конструктивные особенности установки УБСР-25М.
11. Область применения и конструктивные особенности установки УГБ-50М.
12. Область применения и конструктивные особенности установки ВАС-75.

13. Область применения и конструктивные особенности установки УРБ-2А-2.

14. Область применения и конструктивные особенности комплекса КГК-100.

15. Область применения и конструктивные особенности буровых станков CHRISTENSEN, производимых Atlas Copco Craelius AB.

16. Область применения и конструктивные особенности буровых станков Explorac 220 RC, производимых Atlas Copco Craelius AB.

17. Область применения и конструктивные особенности буровых станков DIAMEC, производимых Atlas Copco Craelius AB.

18. Область применения и конструктивные особенности керноприемника «Конус».

19. Область применения и конструктивные особенности гидроударного снаряда ССГ-76.

20. Область применения и конструктивные особенности кернолома.

21. Назначение бурильных труб.

21. Область применения и конструктивные особенности легкосплавных бурильных труб.

22. Область применения и конструктивные особенности колонковых труб.

### **Раздел 3: Буровой инструмент**

1. Классификация бурового инструмента.

2. Твердосплавный инструмент для колонкового бурения.

3. Твердосплавный инструмент для бескернового бурения.

4. Классификация твердых сплавов.

5. Физические свойства твердых сплавов.

6. Механические свойства твердых сплавов.

7. Конструктивные элементы твердосплавного режущего бурового инструмента.

8. Конструктивные элементы твердосплавного ударно-вибрационного бурового инструмента.

9. Конструктивные элементы твердосплавного ударно-вращательного бурового инструмента.

10. Конструктивные элементы твердосплавного вращательно-ударного бурового инструмента.

11. Классификация шарошечного бурового инструмента.

12. Конструктивные элементы одношарошечного инструмента.
13. Конструктивные элементы двухшарошечного инструмента.
14. Конструктивные элементы трехшарошечного инструмента.
15. Способы продувки шарошечного бурового инструмента.
16. Конструктивные особенности опор шарошечных долот.
17. Классификация шарошечных долот по коду IADC.
18. Шарошечный инструмент для колонкового бурения.
19. Шарошечный инструмент для бескернового бурения.
20. Основное и калибрующее зубчато-штыревое вооружение шарошечного инструмента.
21. Конструктивные элементы алмазного бурового инструмента.
22. Что такое матрица, классификация и формы матриц.
23. Что такое зернистость алмазов.
24. Конструктивные элементы алмазной коронки.
25. Конструктивные особенности алмазных коронок для колонкового бурения.
26. Конструктивные особенности алмазных долот для бескернового бурения.
27. Классификация основного и калибрующего вооружения алмазного инструмента.
28. Какие алмазы используются в буровом инструменте, их свойства?
29. Какие сверхтвердые материалы используются в буровом инструменте, их свойства?

#### **Раздел 4: Способы удаления продуктов разрушения из скважины**

1. Характеристика промывочных жидкостей.
2. Схемы циркуляции промывочной жидкости в скважине.
3. Конструктивные особенности глиноизмельчителя.
4. Конструктивные особенности фрезерно-струйной мельницы.
5. Конструктивные особенности насоса-мешалки.
6. Конструктивные особенности тампонажных снарядов.
7. Схемы устройств для перекрытия горных выработок.
8. Схемы устройств для перекрытия зон поглощения.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная литература*

1. Сулакшин, С. С. Бурение геологоразведочных скважин: Справочное пособие. – Москва : Недра, 1991. – 334 с.
2. Каталог горно-шахтного и строительного оборудования. – Atlas Corco. – 106 с.
3. Советов, Г. А. Основы бурения и горного дела / Г. А. Советов, Н. И. Жабин. – Москва : Недра, 1991. – 368 с.
4. Ребрик, Б. М. Бурение инженерно-геологических скважин : справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1990. – 336 с.
5. Новиков, Г. П. Справочник по бурению скважин на уголь / Г. П. Новиков, О. К. Белкин, Л. К. Ключев [и др.]. – Москва : Недра, 1988. – 256 с.
6. Сафохин, М. С. Горные машины и оборудование : учеб. для вузов / М. С. Сафохин, Б. А. Александров, В. И. Нестеров. – Москва : Недра, 1995. – 463 с.
7. Подэрни, Р. Ю. Механическое оборудование карьеров : учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во МГГУ, 2003. – 606 с.
8. Васильев, В. М. Перфораторы : справочник. – Москва : Недра, 1989. – 216 с.
9. Горные машины и оборудование подземных горных работ. Режущий инструмент горных машин : учеб. пособие / А. А. Хорешок, Л. Е. Маметьев, А. М. Цехин, А. Ю. Борисов ; КузГТУ. – Кемерово, 2012. – 288 с.
10. Крапивин, М. Г. Горные инструменты / М. Г. Крапивин, И. Я. Раков, Н. И. Сысоев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1990. – 256 с.
11. Клорикьян, В. Х. Горнопроходческие щиты и комплексы / В. Х. Клорикьян, В. А. Ходош. – Москва : Недра, 1977. – 326 с.
12. Зубарев, А. В. Одношарошечные долота / А. В. Зубарев, Г. И. Матвеев, Ю. В. Рыжиков [и др.]. – Москва : Недра, 1971. – 176 с.
13. Масленников, И. К. Инструмент для бурения скважин. Справочное пособие / И. К. Масленников, Г. И. Матвеев. – Москва : Недра, 1981. – 335 с.
14. Катанов, Б. А. Инструмент для бурения взрывных скважин на карьерах / Б. А. Катанов, М. С. Сафохин. – Москва : Недра, 1989. – 173 с.

15. Сафохин, М. С. Машинист буровой установки на карьерах / М. С. Сафохин, Б. А. Катанов. – Москва : Недра, 1992. – 312 с.
16. Каталог «Буровые долота». – Волгабурмаш, 2007. – 48 с.
17. Каталог горнорудных шарошечных долот. – ВБМ-групп, 2009. – 48 с.
18. Каталог продукции. – ВБМ-групп, ОАО «Уралбурмаш», 2008. – 41 с.
19. Каталог «Твердосплавные изделия для бурового инструмента». – Кировоградский завод твердых сплавов. – 56 с.
20. Ву Ван Донг. Обоснование и разработка технологии алмазного бурения на основе изменения промывочной системы породоразрушающего инструмента : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2013. – 20 с.

### *Дополнительная литература*

21. Буровые станки на карьерах. Конструкция, эксплуатация, расчет : учеб. пособие / В. С. Квагинидзе, Г. И. Козовой, Ф. А. Чакветадзе, Ю. А. Антонов, В. Б. Корецкий. – Москва : Изд-во «Горная книга», 2011. – 291 с.
22. Городниченко, В. И. Основы горного дела [Электронный ресурс]: учебник для вузов / В. И. Городниченко, А. П. Дмитриев. – Москва : Изд-во «Горная книга», 2008. – 464 с.
23. Трубецкой, К. Н. Основы горного дела / К. Н. Трубецкой, Ю. П. Галченко. – Москва : Академический проект, 2010. – 231 с.
24. Кудайкулов, С. К. Бурение скважин в сложных условиях снарядами со съемными керноприемниками (ССК) / Казах. нац. техн. ун-т им. К. И. Сатпаева. – Алматы, 2010. – 248 с.
25. Ежов, И. В. Бурение наклонно-направленных и горизонтальных скважин. – Волгоград : Ин-Фолио, 2009. – 304 с.
26. Бурение разведочных скважин / под общ. ред. Н. В. Соловьева. – Москва : Высш. шк., 2007. – 904 с.
27. Геологоразведочные работы и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых / Е. Д. Шпайхер, В. А. Салихов. – Новокузнецк : СибГИУ, 2002. – 312 с.
28. Ребрик, Б. М. У колыбели геологии и горного дела. – Москва : Геоинформмарк, 2000. – 181 с.
29. Черемисина, Л. П. Разведочное бурение. – Владивосток : Дальневост. гос. техн. ун-т, 1999. – 105 с.
30. Справочник по бурению на карьерах / Б. А. Симкин,



Б. Н. Кутузов, В. Д. Буткин. – Москва : Недра, 1990. – 221 с.

31. Буровой инструмент для геологоразведочных скважин: Справочник / Н. И. Корнилов, Н. Н. Бухарев, А. Т. Киселев [и др.]. – Москва : Недра, 1990. – 395 с.

32. Кудряшов, Б. Б. Бурение разведочных скважин в сложных условиях. – Ленинград : ЛГИ, 1985. – 126 с.

33. Перетолчин, В. А. Вращательное и шарошечное бурение скважин на карьерах. – Москва : Недра, 1983. – 175 с.

34. Справочник по бурению на карьерах / Т. Г. Агошашвили [и др.] ; под общ. ред. Б. А. Симкина. – Москва : Недра, 1981. – 269 с.

35. Буровые машины и механизмы / А. Н. Кирсанов, В. П. Зиненко, В. Г. Кардыш. – Москва : Недра, 1981. – 448 с.

36. Справочник по инженерной геологии / В. Г. Чуринов, И. М. Цыпина, В. П. Лазарева [и др.]. – Москва : Недра, 1981. – 325 с.

37. Бурение скважин при разведке месторождений строительных материалов / И. С. Афанасьев, А. И. Душин. – Ленинград : Недра, 1980. – 132 с.

38. Бурение скважин с очисткой забоя азрированными жидкостями / Эйюб Хабиб оглы Мехтиев. – Москва : Недра, 1980. – 77 с.

39. Волков, А. С. Буровой геологоразведочный инструмент. – Москва : Недра, 1979. – 286 с.

40. Справочник по бурению скважин на воду / под ред. Д. Н. Башкатова. – Москва : Недра, 1979. – 560 с.

41. Оноприенко, М. Г. Бурение и оборудование гидрогеологических скважин. – Москва : Недра, 1978. – 169 с.

42. Кодзаев, Ю. В. Бурение разведочных горизонтальных скважин. – Москва : Недра, 1978. – 223 с.

43. Хорюшин, И. Г. Бурение геологоразведочных скважин шарошечными долотами. – Москва : Недра, 1977. – 172 с.

44. Вращательное бурение разведочных скважин / А. С. Волков, Б. П. Долгов, Г. И. Пономарев. – Москва : Недра, 1977. – 368 с.

45. Перетолчин, В. А. Вращательное бурение скважин на карьерах. – Москва : Недра, 1975. – 128 с.

46. Справочник инженера по бурению. Т. 1 / под ред. В. И. Мищевича, Н. А. Сидорова. – Москва : Недра, 1973. – 519 с.

47. Справочник инженера по бурению. Т. 2 / под ред. В. И. Мищевича, Н. А. Сидорова. – Москва : Недра, 1973. – 375 с.

**ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ**

1. ОАО «КЗТС» <http://www.kzts.ru>
2. ОАО «ТВЕРДОСПЛАВ» <http://tverdosplav.ru>
3. ОАО «Волгабурмаш» <http://vbm.ru>
4. ОАО «Уралбурмаш» <http://ubm.ru>
5. ЗАО «Управляющая горная машиностроительная компания РУДГОРМАШ» <http://www.rudgormash.ru>
6. ОАО «Брянковский завод бурового оборудования» <http://www.bzbo.ru>
7. ООО ТД «Алтайгеобурмаш» <http://altaygeoburmash.ru>
8. «Сибгеотехника» <http://sibgeotehnika.ru>
9. ООО «Сибгеотехкомплект» <http://www.bmto.ru>
10. ООО «Партия 76» <http://www.partiya76.ru>
11. ЗАО «Гормаш» <http://www.belgormash.ru>
12. ООО «Завод Буровых Технологий» <http://www.zavodbt.ru>
13. ЗАО «Александровский завод бурового оборудования» <http://www.azbo.ru>
14. ООО «РосПромБур» <http://rosprombur.ru>
15. ЗАО «Геомаш-Центр» <http://www.geomash.ru>
16. ООО «ОптРегионСнаб» <http://www.metallsbyt.ru/production/doloto.php>
17. «Буровой портал» <http://drillings.ru>
18. ООО «Буртехснаб» <http://bts-ekb.ru>
19. «UNITOOLS» <http://unitools.ru>
20. «Atlas Copco» <http://www.atlascopco.ru>
21. «BakerHughes» <http://www.bakerhughes.com>
22. «Smith Bits & Smith Services» [http://www.slb.com/services/smith\\_bits\\_smith\\_services.aspx](http://www.slb.com/services/smith_bits_smith_services.aspx)
23. «National Oilwell Varco» [http://www.nov.com/Drilling/Drill\\_Bits.aspx](http://www.nov.com/Drilling/Drill_Bits.aspx)
24. «TORQUATO DRILLING ACCESSORIES» <http://www.dthhammers.net/torquato>
25. «Sandvik Mining» <http://www.miningandconstruction.sandvik.com>
26. «Caterpillar» <https://mining.cat.com/products/surface-mining>
27. Угольный портал <http://coal.dp.ua>
28. Горная техника: номенклатурный справочник оборудования <http://www.gortehno.ru>
29. Горная энциклопедия <http://www.mining-enc.ru>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
<b>1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ПРОЦЕССАХ СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИН, СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД.....</b>	<b>4</b>
1.1. Буровая скважина и ее элементы.....	4
1.2. Физико-механические свойства грунтов.....	9
1.2.1. Физические свойства грунтов.....	10
1.2.2. Механические свойства нескальных грунтов.....	10
1.2.3. Механические свойства скальных грунтов.....	10
1.3. Физико-технические свойства горных пород, влияющие на процессы бурения скважин.....	17
1.3.1. Классификация физических свойств горных пород.....	17
1.3.2. Устойчивость горной породы.....	18
1.3.3. Трещиноватость горных пород.....	23
<b>2. ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН И БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....</b>	<b>24</b>
2.1. Способы бурения инженерно-геологических скважин.....	24
2.2. Буровое оборудование для сооружения инженерно- геологических скважин.....	33
2.2.1. Станки и установки для бурения неглубоких зондировочных скважин.....	33
2.2.2. Станки и установки для бурения разведочных скважин глубиной от 5 до 30 м.....	34
2.2.3. Станки и установки для бурения разведочных скважин глубиной более 30 м.....	38
2.2.4. Станки и установки Atlas Copco Craelius AB для колонкового бурения с поверхности.....	43
2.2.5. Буровые установки Atlas Copco Craelius AB для метода «обратная циркуляция».....	45
2.2.6. Станки и установки Atlas Copco Craelius AB для подземного колонкового бурения.....	47
2.2.7. Забойные механизмы, бурильные, колонковые и об- садные трубы.....	49
<b>3. БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ.....</b>	<b>56</b>
3.1. Твердосплавные инструменты.....	56
3.1.1. Инструмент для ударно-вибрационного бурения.....	56
3.1.2. Твердосплавные инструменты вращательного бурения пород.....	57

3.1.3. Твердосплавные инструменты для ударно-вращательного бурения пород.....	59
3.1.4. Твердосплавные инструменты для вращательно-ударного бурения пород.....	66
3.1.5. Материалы для твердосплавных вставок.....	68
3.1.5.1. Физические свойства твердых сплавов.....	71
3.1.5.2. Механические свойства твердых сплавов.....	72
3.2. Шарошечные инструменты.....	73
3.2.1. Шарошечные долота для бурения скважин на открытых горных работах.....	74
3.2.2. Типы твердосплавного вооружения шарошек.....	81
3.2.3. Обозначение шарошечных долот.....	87
3.2.4. Классификация шарошечных долот по коду IADC.....	88
3.2.5. Конструктивные элементы геологоразведочного породоразрушающего инструмента шарошечного типа.....	90
3.2.6. Конструктивные особенности геологоразведочных шарошечных долот.....	93
3.2.7. Конструктивные особенности геологоразведочных шарошечных коронок.....	97
3.3. Алмазный инструмент.....	98
3.3.1. Конструктивные элементы алмазного инструмента.....	98
3.3.2. Устройство алмазных коронок.....	102
3.3.3. Устройство алмазных коронок для кернового бурения скважин.....	106
3.3.4. Устройство долот для бескернового бурения скважин...	111
3.3.5. Алмазы и сверхтвердые материалы для буровых коронок и долот.....	112
<b>4. СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ ИЗ СКВАЖИНЫ.....</b>	<b>115</b>
4.1. Схемы циркуляции промывочной жидкости.....	115
4.2. Технические средства для приготовления и обработки промывочных жидкостей.....	118
4.2.1. Краткая характеристика промывочных жидкостей.....	118
4.2.2. Технические средства для приготовления промывочных жидкостей.....	120
4.2.3. Технические средства для беструбного крепления скважин	124
<b>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....</b>	<b>130</b>
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>134</b>
<b>ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ.....</b>	<b>137</b>

Хорешок Алексей Алексеевич  
Цехин Александр Михайлович  
Борисов Андрей Юрьевич

**БУРОВЫЕ СТАНКИ И БУРЕНИЕ СКВАЖИН**  
**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

Редактор Савина З. М.

Компьютерная графика Цехина А. М., Борисова А. Ю.

Подписано в печать 05.05.2014. Формат 60×84/16

Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman»

Уч.-изд. л. 9,00. Тираж 500 экз. Заказ

КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28

Полиграфический цех КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а