

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

  
Руководитель ОПОП ВО  
профессор М.В. Двойников

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ  
ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА БУРЕНИЯ СКВАЖИН

<b>Уровень высшего образования:</b>	Подготовка кадров высшей квалификации
<b>Направление подготовки:</b>	21.06.01 Геология, разведка и разработка полезных ископаемых
<b>Направленность (профиль):</b>	Технология и техника геологоразведочных работ
<b>Форма обучения:</b>	очная
<b>Нормативный срок обучения:</b>	4 года
<b>Составитель:</b>	д.т.н. профессор М.В. Двойников

Санкт-Петербург

## 1.1 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термины и определения основных понятий в области технологии геологоразведочного бурения являются объектом стандартизации и обязательного для применения во всех видов документации, в учебниках, учебных пособиях, технической и справочной литературе.

До 1979 г. действовал ГОСТ 16276-70 "Технология геологоразведочного бурения. Термины и определения". В настоящее время вводится новый стандарт, разрабатываемый ВИТРОм с 1990 г.

Буровая скважина - горная выработка преимущественно цилиндрической формы, характеризующаяся относительно малым сечением по сравнению с ее протяженностью, проходка которой осуществляется без присутствия в ней человека. Процесс сооружения скважины или ее проходка носят название бурение.

Элементы скважины:

- устье - место пересечения скважиной земной поверхности, дна водной акватории или элементов горной выработки (начало скважины);

- забой – дно скважины, перемещающаяся в процессе ее проходки (углубки) поверхность разрушения горных пород;

- стенки скважины – боковая поверхность скважины;

- ствол скважины – пространство, ограниченное стенками и забоем скважины;

- ось скважины – геометрическое место точек центра сечений скважины;

- глубина (протяженность) скважины – расстояние между устьем и забоем скважины по ее оси.

Диаметр скважины (условный) – наружный диаметр породоразрушающего инструмента. Различают скважины малого диаметра – □ 76 мм, среднего - 93-151 мм и большого - □ 151 мм диаметров.

Конструкция скважины - характеристика буровой скважины, определяющая изменение ее диаметра с изменением глубины, а также диаметры и интервалы крепления скважины обсадными трубами и интервалы ее тампонирувания (цементирования).

Положение ствола скважины в земной коре характеризуется пространственным положением ее оси – трассы скважины, проекция которой на вертикальную плоскость носит название профиля скважины, а на горизонтальную плоскость – плана скважины. Для определения пространственного положения скважины измеряют пространственные координаты ряда точек ее оси: глубину  $H$ , зенитный угол  $\alpha$  (угол в вертикальной плоскости между проекцией касательной к оси в данной точке и вертикалью) или угол наклона  $\beta$  (угол в вертикальной плоскости между проекцией касательной к оси в данной точке и горизонталью); азимутальный угол  $\alpha$  - угол в горизонтальной плоскости между проекцией касательной к оси и направлением географического или магнитного меридиана в данной точке по движению часовой стрелки.

Искривление скважины - изменение трассы скважины при бурении. Отклонение скважины - преднамеренное или случайное изменение трассы скважины по отношению к проектной. Естественное искривление - неуправляемое искривление скважины, вызванное свойствами горных пород и другими геологическими причинами. Искусственное искривление скважины - преднамеренное искривление скважины с помощью специальных технических средств и технологических приемов. Многоствольная скважина - буровая скважина, имеющая основной и один или несколько дополнительных стволов.

Проходка (сооружение) скважины - комплекс работ по подготовке к бурению, бурению и поддержанию стенок скважины в устойчивом состоянии, проведению в ней необходимых исследований, по ликвидации скважины или сдаче ее в эксплуатацию. Эти работы, как правило, выполняются с использованием специальных технических средств: бурового и вспомогательного оборудования, сооружений и бурового инструмента. Комплекс сооружений, бурового и

вспомогательного оборудования, необходимый для бурения скважин, носит название буровой установки.

Все работы по сооружению скважины выполняются по определенным технологическим схемам и в определенном технологическом режиме. Технологическая схема - способ и порядок (последовательность) выполнения тех или иных операций. Технологический режим бурения - совокупность управляемых параметров, обеспечивающих процесс бурения скважины. Таким образом, бурение скважины - комплекс операций и технологических режимов их выполнения, в результате которых сооружается (проходится) буровая скважина.

## **1.2. ПОНЯТИЕ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ**

Базовой основой горного производства, неотъемлемой частью которого является бурение скважин, является технология, которая включает в себя:

- 1.. Систему деятельности исполнителей.
2. Технические средства (инструмент, машины, механизмы, сооружения).
3. Системы управления и информационного обеспечения.

Технология наиболее общее понятие, чем техника, т.к. последнее включается в это понятие. В.Ж. Арнс вводит в рассмотрение новое понятие технологического поля (по аналогии с гравитационным, магнитным, силовым, электрическим, информационным и т.п.). Изучение принципов технологического поля может служить основой для понимания сущности процессов технологического развития и оценки результатов с позиций системного подхода.

Технологический процесс - совокупность действий, направленного и управляемого использования физических и химических законов, в результате которого происходит изменение физического, химического состояния материала, а также изменение размеров, формы, внешнего вида и взаимного расположения элементов при изготовлении и сборке изделия.

Современные технологические процессы - сложные комплексы, основанные на использовании разнообразных физических и химических явлений. Цель технологического процесса - получение различных видов энергии, добыче и переработке сырья, получение материалов с заданными свойствами, обработка материалов, получение новой информации и т.п.

В общем случае технологический процесс нестационарен, так как его конечный продукт отличается от исходного и, как всякий процесс, он имеет свое начало и свой конец. Для некоторых технологических процессов эта не стационарность проявляется в разной форме и обуславливается самой природой процесса (импульсные, периодические и пр.).

В процессе производства на различных этапах технологического процесса изделие подвергается воздействию большого числа контролируемых и неконтролируемых факторов. Поэтому анализировать весь технологический процесс целесообразно на основе системного подхода, где основным является понятие "большая система" или "большая технологическая система"; включающая совокупность происходящих механических и физико-химических процессов, объектов обработки и средств их реализации.

Схематически технологический процесс как большая система представлен на рис. 1.1

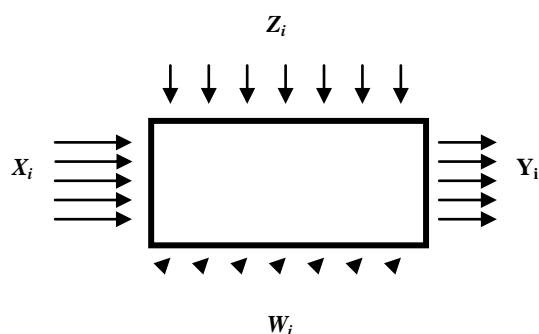


Рис.1.1 Схема системного представления технологического процесса.  $X_i$  - входы системы или параметры определения исходных данных;  $Y_i$  - выходы системы или выходные параметры конечного результата;  $Z_i$  - контролируемые и управляющие факторы, необходимые для поддержания определенного технологического процесса;  $W_i$  – неконтролируемые (возмущающие) факторы, оказывающие случайное воздействие на процесс.

К входным параметрам  $X_i$  относятся величины, которые не зависят от режима процесса, так как возможность воздействия на них в процессе работы отсутствует, и они могут быть определены экспериментально. Управляющие (контролируемые) параметры  $Z_i$  - характеристики системы, на которые можно оказать влияние в соответствии с теми или иными требованиями, что позволяет управлять процессом. Неконтролируемые (возмущающие) параметры  $W_i$  - величины, которые изменяются случайно с течением времени и обычно не могут быть измерены в течении процесса. Выходные параметры  $Y_i$  - характеристики системы, величины которых определяются режимом изучаемого процесса в системе, подвергающегося воздействию всех предыдущих 3-х групп параметров.

Любую систему по определенным признакам можно разделить на подсистемы, которые взаимодействуют друг с другом на границе. Поэтому описание технологического процесса можно свести к определению параметров отдельных подсистем и установления закона взаимодействия между ними. В отдельных случаях, когда связь подсистем между собой слаба, т.е. они практически не влияют друг на друга, с определенной степенью идеализации их можно рассматривать независимо. Формализация системы осуществляется с помощью математической модели, выражающей связь между выходными параметрами, параметрами состояния и входными управляющими и возмущающими переменными.

Выбор совокупности характеристик процесса определяется главным образом теми целями, ради которых строится модель изучаемого процесса. В качестве выходных параметров целесообразно выбрать такие величины, которые обеспечивают удобство определения технико-экономических показателей процесса и, одновременно, давали бы возможность получать достаточно простую его математическую модель. Выбор входных параметров играет исключительно важную роль и определяется как системой выходных параметров, так и требуемой точностью исследования. Для этого на практике часто используются методы экспериментальных оценок, теории подобия и размерностей и пр.

Технология геологоразведочного бурения - это совокупность теоретических и практических знаний о способах, процессах и технических средствах, применяющихся для сооружения в земной коре специфической горной выработки - скважины с целью поиска и разведки месторождения полезных ископаемых. В настоящем курсе мы остановимся на изучении технологии бурения разведочных скважин только на твердые полезные ископаемые. В силу специфики исследуемого объекта, применяемые для этих целей технические средства и технологические приемы бурения и опробования скважин, существенно отличаются от аналогичных, используемых, например, при поисках и разведке месторождений жидких и газообразных полезных ископаемых. Это относится в первую очередь к конструктивным

параметрам скважин, характеристикам применяемых технических средств, материальным и энергетическим затратам на сооружение скважин и пр.

Все выполняемые при сооружении скважины работы (процессы и операции) можно разделить на основные, вспомогательные и специальные. К основным видам относятся работы, связанные с процессом бурения скважины: разрушение пород на забое, удаление продуктов разрушения из зоны забоя и из скважины, закрепление стенок скважины, отбор керновых проб. Вспомогательные работы (сопутствующие) - строительные и монтажно-демонтажные работы (СМД), спускоподъемные операции (СПО), а также различного рода подготовительно-заключительные операции (ПЗО). Специальные работы: борьба с осложнениями и авариями при бурении, борьба с искривлениями ствола скважины, оборудование скважин специальными устройствами для проведения различных исследований.

Производственный цикл сооружения скважины включает в себя выполнение следующих основных работ и операций:

- 1) строительство коммуникаций, буровой вышки (мачты), бурового здания, подсобных и бытовых помещений;
- 2) монтаж бурового и вспомогательного оборудования;
- 3) собственно бурение скважины;
- 4) специальные работы и операции в скважине;
- 5) исследование скважины;
- 6) демонтажные работы, ликвидация или консервация скважины.

Скважины бурят ступенчато, уменьшая их диаметр от интервала к интервалу; их стенки при проходке неустойчивых горных пород или для изоляции отдельных горизонтов закрепляются обсадными трубами.

### **1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ СКВАЖИН И СПОСОБОВ ИХ БУРЕНИЯ**

1. По целевому назначению буровые скважины разделяются на следующие основные категории:

- 1) разведочные скважины: картировочные, структурные, опорные, параметрические, поисковые, разведочные, гидрогеологические, инженерно-геологические, сейсмические;
- 2) эксплуатационные: скважины для добычи жидких и газообразных полезных ископаемых;
- 3) геотехнологические: скважины для подземной переработки и доставки на поверхность минеральных, водных и энергетических ресурсов (газификация угля, выплавка серы, выщелачивание, растворение солей, гидродобыча и пр.);
- 4) технические и специальные: взрывные, для замораживания грунтов, водопонижительные или дренажные, нагнетательные наблюдательные, вентиляционные, для прокладки коммуникаций, вспомогательные скважины для дегазации и обеспыливания угля при выемке последнего, шурфы и шахтные стволы и пр.

2. По протяженности (глубине) условно скважины относятся:

- к неглубоким (мелким) - глубиной менее 50 м;
- к средним по глубине - глубиной до 1000 м;
- к глубоким – 1000 - 7000м;
- к сверх глубоким - более 7000 м.

3. В зависимости от пространственного положения различают скважины:

- вертикальные – отклонение оси скважины от вертикали  $\square 2^\circ$ ;
- искривленные – при больших углах отклонения оси от вертикали;
- наклонно-направленные – специально искривленные под необходимым углом с заданной интенсивностью скважины;
- горизонтальные – отклонение оси скважины от вертикали  $\square 90^\circ$ ;
- восстающие - отклонение оси скважины вверх от горизонтали.

По форме разрушения забоя скважины выделяют два основных способа бурения:

1) бескерновое бурение или бурение сплошным забоем, при котором горная порода разрушается по всей площади забоя;

2) колонковое бурение, при котором забой скважины разрушается по его периферийной кольцевой части с сохранением в центре цилиндрического столбика горной породы - керна, который периодически извлекается из скважины и является основным фактическим материалом для изучения проходимых горных пород и составления геологического разреза.

По способам разрушения горных пород забоя все современные способы бурения классифицируются на три большие группы: механические, физические (химические) и комбинированные. При бурении скважин широкое распространение как наиболее эффективное получило механическое разрушение забоя, сочетающееся в последнее время с активными физико-химическими и гидродинамическими воздействиями на породы промывочной среды (жидкой, газовой или газожидкостной).

В основе механических способов бурения лежат разнообразные методы и схемы воздействия внешних силовых полей на породы забоя, в результате которого в последних возникают напряжения и деформации, приводящие к нарушению их сплошности и разрушению (диспергированию). Различают два основных способа передачи внешних усилий породе: контактный – с использованием специального породоразрушающего инструмента (долот или коронок); без контактный (без долотный) – с использованием гидро(газо)динамического давления. При контактной передаче внешних нагрузок существуют два основных принципа разрушения породы забоя: под действием ударных нагрузок (дробление, смятия) и при взаимодействии с породой вращающегося породоразрушающего инструмента (скалывание, резание и истирание). В первом случае движение инструмента и направление внешнего динамического усилия перпендикулярно забою, во втором случае элементы вооружения инструмента под действием нормальной составляющей внешней нагрузки прижимаются или внедряются в породы забоя, под воздействием касательной составляющей этой нагрузки перемещаются в плоскости забоя, совершая вращательное движение. Характер внешней нагрузки может быть как статический, так и динамический. Возможны также различные комбинации этих двух принципов разрушения, в соответствии с которыми различают следующие способы механического бурения: ударный, забивной, вращательный, ударно-вращательный или вращательно-ударный, а также пенетрационный (статическое задавливание) и вибрационный.

Основные недостатки механического бурения - износ рабочих элементов породоразрушающего инструмента, требующий его периодической замены, и низкий коэффициент использования подводимой к забою энергии, уменьшающийся с увеличением глубины скважины, привели к поиску других как механических "без долотных", так физических и комбинированных способов разрушения горных пород. Многие из этих способов находятся в настоящее время в стадии разработки или испытаний. Среди этих способов следует выделить:

1) гидродинамическое бурение, при котором разрушение горной породы осуществляется высоконапорной струей жидкости;

2) термобурение, при котором горная порода разрушается под воздействием тепловых полей - огневое или огнестрельное (термическое), плазменное, контактное плавление и пр.;

3) взрывное - импульсное или с помощью микро взрывов;

4) электрофизические способы бурения - электрогидравлический эффект, электроимпульсный метод;

5) ультразвуковой, лазерный, электронно-лучевой.

Из перечисленных физических способов ограниченно применяют огневое бурение при проходке взрывных скважин на карьерах и контактное бурение-плавление скважин с отбором керна и сплошным забоем в ледниках и ледниковых покровах (Антарктида, Гренландия и пр.), а также их комбинации с механическим разрушением пород - гидромеханическое, термомеханическое.

По типам применяемого породоразрушающего инструмента вращательное бурение классифицируют на следующие виды: твердосплавное, алмазное, дробовое, шарошечное и т.д. В зависимости от места расположения привода породоразрушающего инструмента механическое бурение подразделяется на бурение с двигателем на поверхности, с забойным двигателем и с приводом, как от поверхностного, так и от забойного двигателя.

Дальнейшая классификация разновидностей способов бурения разведочных скважин проводится по способам;

1) удаления продуктов разрушения горных пород (бурового шлама) из зоны забоя и из скважины;

2) закрепления стенок скважины и поддержания их в устойчивом длительном состоянии;

3) отбора керна и шлама;

4) изоляции проницаемых пород и отдельных горизонтов, предупреждения возможных осложнений в процессе бурения и т.п.

#### 1.4. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БУРЕНИЯ

Для планирования, оценки и анализа бурения применяют ряд показателей, совокупность которых дает характеристику технико-экономического уровня проходки скважин в конкретных геолого-технических условиях.

Главными из них являются:

- экономические - себестоимость бурения, расход истирающих материалов, затраты на материалы и энергию или топливо;

- производительные - баланс времени, продолжительность бурения скважин, скорости бурения, средняя проходка на долото или коронку объем бурения и количество законченных скважин;

- качественные - достоверность опробования, объем и уровень проведенных исследований, степень соответствия трассы скважины проектной и пр.

Себестоимость бурения - основной показатель, характеризующий качество работы буровой организации, экономическую эффективность внедрения новых способов, технологий и технических средств проходки скважин. Она включает в себя стоимость потребленных средств (сырья, материалов, топлива, электроэнергии, амортизации основных средств и т.д.) и стоимость продукта, созданного трудом (заработная плата, отчисления на социальное страхование), а также так называемые прочие денежные расходы. Себестоимость бурения определяется по скважине в целом и на 1 м проходки.

Баланс времени - распределение времени бурения скважины по отдельным видам работ и технологическим операциям. Он позволяет анализировать структуру и уровень затрат времени на бурение скважины. В балансе времени по роли или значению в технологической схеме сооружения скважины различают производительные и непроизводительные затраты времени.

Производительные затраты времени  $T_{пр}$  - это время, технически необходимое для бурения скважины, включающее чистое время на бурение (углубку) скважины  $T_б$ , время на производство спускоподъемных операций  $T_{спо}$ , время на вспомогательные работы  $T_{всп}$ , время на крепление и тампонаж скважины  $T_{кр}$ , время на проведение исследований и специальных работ в скважине  $T_{ис}$ .

Непроизводительные затраты времени  $T_{непр}$  вызываются различными нарушениями производственного процесса. В них различают время на ремонтные работы  $T_{рем}$  (исключая время на профилактику оборудования), время на ликвидации осложнений  $T_{осл}$ , время на ликвидацию аварий  $T_{ав}$ , время простоев по организационным причинам  $T_{прост}$ . Для удобства анализа баланс времени составляют в процентах.

Продолжительность бурения скважины равна календарному времени между началом и концом бурения, т.е. сумме производительного и непроизводительного времени. Продолжительность бурения обычно выражают в станко-месяцах бурения, для чего календарное

время, выраженное в часах, делят на продолжительность одного станко-месяца в часах (при непрерывной работе станка это в среднем 720 ч).

Для оценки темпов выполнения различных видов работ и операций при бурении скважин пользуются понятием скорости.

Механическая скорость бурения  $v_m$  определяется углублением скважины  $\square H$  за единицу времени чистого бурения:  $v_m = \square H / \square T_6$ . Эта скорость зависит от многих факторов и меняется даже в течение одного рейса бурения, поэтому обычно вычисляют среднее значение механической скорости для определенного интервала бурения скважины.

Рейсовая скорость  $v_p$  - углубление скважины  $\square H$  за время одного рейса бурения скважины  $T_p$ , которое включает в себя чистое время бурения  $T_6$ , время на спускоподъемные операции  $T_{\text{спо}}$  и время на вспомогательные операции, необходимое для проведения рейса  $T_{\text{всп}}$ :

$$v_p = \square H / T_p = \square H / (T_6 + T_{\text{спо}} + T_{\text{всп}})$$

Техническая скорость  $v_t$  - углубление скважины  $\square H$  за 1 станко-месяц производительного бурения скважины:

$$v_{pT} = \square H / (T_6 + T_{\text{спо}} + T_{\text{всп}} + T_{\text{кр}} + T_{\text{ис}}).$$

Коммерческая скорость  $v_k$  - проходка  $\square H$  на один работающий станок за 1 станко-месяц календарного времени бурения скважин  $T_k$ , т.е. с учетом как производительных, так и непроизводительных затрат времени:

$$v_k = \square H / (T_{\text{пр}} + T_{\text{непр}}) = \square H / (T_6 + T_{\text{спо}} + T_{\text{всп}} + T_{\text{кр}} + T_{\text{ис}} + T_{\text{рем}} + T_{\text{осл}} + T_{\text{ав}} + T_{\text{прост}})$$

Цикловая скорость  $v_{\text{ц}}$  углубление скважины на один станко-месяц всего цикла бурения скважин  $T_{\text{ц}}$ , т.е. от перевозки буровой установки до ликвидации скважины:

$$v_{\text{ц}} = H / (T_k + T_{\text{мдп}}),$$

где  $T_{\text{мдп}}$  - время на монтаж, демонтаж и перевозку буровой установки, ч.

Рейсовую, техническую, коммерческую и цикловую скорости бурения определяют также в среднем по интервалам, скважинам, участкам, партиям, экспедициям и т.д.

Парковая скорость  $v_{\text{п}}$  определяется делением общей глубины пробуренных скважин в данной организации за год  $H_{\text{об}}$  на среднегодовое количество буровых установок  $n$ , имеющих в этой организации:  $v_{\text{п}} = H_{\text{об}} / n$ .

Весьма важным показателем работы буровой организации, характеризующей ее технический, технологический и организационный уровень, является коэффициент использования буровых установок  $K_{\text{ст}}$ , равный отношению числа работавших установок к их общему числу. Низкий коэффициент использования буровых установок свидетельствует о наличии неиспользуемого оборудования в данной организации, длительном сроке и низком качестве средних и капитальных ремонтов, его техническом и моральном старении, а также о связанных с этим значительных амортизационных начислениях, удорожающих стоимость бурения скважин.

Расход истирающихся материалов тесно связан со скоростью бурения и стойкостью коронок и долот, так как характеризует уровень эффективности разрушения горных пород в конкретных горнотехнических условиях, а также эффективность применяемых технических средств и технологических приемов бурения.

Средняя проходка на породоразрушающий инструмент вычисляется как для скважины в целом, так и для отдельных интервалов и других условий. Повышение проходки на породоразрушающий инструмент положительно влияет на технико-экономические показатели бурения и, прежде всего, на снижение его себестоимости.

Затраты на материалы и энергию (или топливо) при глубоком бурении достигают 30% в общей себестоимости бурения. В составе материальных затрат, буровой организации обычно преобладают затраты на бурильные, колонковые и обсадные трубы, породоразрушающий инструмент в запасные части. При бурении скважин в осложненных условиях в этих затратах значительное место может занимать стоимость буровой жидкости и тампонажных материалов.



Расход материалов и энергии в натуральном исчислении определяют в целом по скважине, по отдельным интервалам бурения и на 1 м проходки.

В настоящее время при планировании и оценке деятельности буровых бригад, участков, партий и т.д. основным измерителем буровых работ является 1 м проходки. Этот показатель очень прост и доступен широкому кругу работников буровых предприятий; от количества пробуренных метров при прочих равных условиях зависят многие затраты на бурение скважин. В последние годы в качестве основного показателя предлагается ввести продукцию бурения - законченную бурением и выполнившую поставленную геологическую задачу скважину.

Качественные показатели характеризуют степень выполнения поставленных геологических задач при бурении скважин с учетом того, что разведочные скважины должны удовлетворять определенным требованиям методики разведки полезных ископаемых, основными из которых являются:

- получение представительных образцов пород или полезных ископаемых (керна или шлама), имеющих необходимую пространственную привязку;
- бурение скважины по наиболее рациональной траектории с допустимой степенью отклонения от проектной трассы, предусматривающей пересечение пластов пород или залежей полезных ископаемых в заданном месте и по заданному направлению.

В общем виде качественными показателями служат процент выхода керна ВК и проектная интенсивность искривления скважины  $i$  в градус/м.

Анализируя рассмотренные показатели, можно выявить основные факторы, определяющие уровень выполнения тех или иных операций и эффективность сооружения скважины в целом, и найти пути их повышения.

## **1.5 МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ**

К разработке технологии бурения геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые приступают на основании геологического задания, которое содержит оценку геологической ситуации, целевое назначение скважин, вид полезного ископаемого, проектируемую глубину, частоту разведочной сети и пр. Большое разнообразие горно-геологических и технических условий бурения разведочных скважин требуют в каждом конкретном случае индивидуального подхода к решению задач технологического порядка.

В основе разработки технологии бурения геологоразведочных скважин в конкретных условиях выделяют 6 основных самостоятельных, но и взаимосвязанных этапов:

- типизация горно-геологических условий бурения на объекте работ;
- выбор способа бурения и проектирование конструкции скважин;
- выбор инструмента и оборудования;
- разработка технологических режимов бурения;
- совершенствование и оптимизация процесса бурения;
- оценка качества и результативности разработанной технологии бурения скважин.

Общая схема разработки технологии бурения геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые, основанная на результатах НИР (ВИТР, СКБ) и работы ведущих производственных геологических организаций ПГО, показана на рис. 1.2

Оценка геологической ситуации и целевого назначения скважины



Типизация геолого-технических условий бурения

Определение физико-механич. свойств пород				Определен ие трещин. пород		Определение устойчивости пород, слагающих стенки скважины				Определение проницаемости пород стенок скважины			
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_{ш}$ , МПа	F <sub>д</sub>	$K_{аб}$	$K_{кус}$	$V_k$	Устойчивые	Среднеустойчивые	Малоустойчивые	Неустойчивые	Частичное	Сильное	Полное	Катастрофическое
Установление группы пород													



по буримости	по трещиноватости	по устойчивости				по проницаемости			
--------------	-------------------	-----------------	--	--	--	------------------	--	--	--



Выбор способа бурения



Проектирование конструкции скважины



Выбор бурового инструмента и буровой установки				
Породоразрушающий инструмент	Колонковый набор	Колонна бурильных труб	Вспомогательный, специальный и аварийный ин-т	Буровая установка



Разработка технологического режима бурения			
Осевая нагрузка Р, даН	Частота вращения инструмента, н, мин <sup>-1</sup>	Расход очистного агента Q, дм <sup>3</sup> /мин	Качество очистного агента (ρ, кг/м <sup>3</sup> ; Т, с; В, см/30 мин; η, Па*с; τ, Па)



Совершенствование технологического режима				
Оптимизация режима бурения	Профилактика и устранение осложнений	Устранение вибраций	Снижение расхода инструмента	Прочие



Мероприятия по повышению % выхода и качества керна
--



Технико-экономическая оценка разработанной технологии
---

Рис. 1.2 Схема разработки технологии бурения геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые



### 1.5.1 Типизация горно-геологических условий бурения

Одним из основных и важнейших элементов в представленной схеме является типизация горно-геологических условий, к которой переходят сразу после оценки геологической ситуации месторождения и определения целевого назначения скважин. При этом определяются:

1) физико-механические свойства горных пород ( $F_d$ ,  $K_{абр}$ ,  $\square_m$ ), слагающих разрез скважины, устанавливается категория их буримости (табл. 1.1) и они относятся к определенной группе пород по буримости (табл. 1.2);

2) степень трещиноватости пород по показателям ( $K_{уд}$ ,  $V_k$ ) и устанавливается группа пород по трещиноватости (табл. 1.3);

3) степень устойчивости пород в стенках скважины (табл. 1.4);

4) проницаемость (водопроницаемость и поглощение) горных пород и геологических разрезов (табл. 1.5).

Таблица 1.1

Шкала для определения категории пород по буримости

Показатель $\square_m$	Категория по буримости	Показатель $\square_m$	Категория по буримости
2,0-3,0	III	15,2-22,7	VIII
3,1-4,5	IV	22,8-34,1	IX
4,6-6,7	V	34,2-51,2	X
6,8-10,1	VI	51,3-76,8	XI
10,2-15,1	VII	76,9-115,2	XII

Таблица 1.2

Типизация пород по буримости

Группа	Характеристика	Показатель	Категория
--------	----------------	------------	-----------

пород по буримости	группы пород	$\square_m$	по буримости
I	В высшей степени твердые	15,2-22,7	XI-XII
II	Очень твердые и твердые	22,8-34,1	VIII-IX
III	Средней твердости	34,2-51,2	VI-VII
IV	Малой твердости	51,3-76,8	IV-V
V	Мягкие (рыхлые, сыпучие, размываемые, пльвучие	76,9-115,2	I-III

Степень трещиноватости вместе с другими тектоническими нарушениями характеризует структуру массива пород, ее пространственную неоднородность и анизотропность свойств, влияет на прочность и устойчивость пород (деформируемость, водопроницаемость, влагоемкость, сейсмостойкость, твердость, буримость).

Критерием количественной оценки степени трещиноватости выбирают следующие показатели, учитывающие размеры и густоту трещин.

*линейные* (количество и размеры трещин на единицу длины обнажения, горной выработки, скважины)

*распределенные по площади* (количество, размеры и раскрытость трещин на единицу площади)

*объемные* (количество, площадь стенок и объем трещин на единицу объема породы)

По исследованиям ВИТРа наиболее полно трещиноватость проявляется в степени раздробленности керна на столбики и обломки. Показателем раздробленности может

служить удельная кусковатость  $K_{уд}$  (число кусков, обломков или столбиков на 1 м выхода керна). Чем выше выход керна, тем достовернее оценка трещиноватости породы по удельной кусковатости керна. Этот показатель отражает истинную трещиноватость породы в массиве и меньше зависит от технологии бурения, чем такой показатель, как выход керна  $V_k$ . Между удельной кусковатостью керна и основными показателями **бурения** существует корреляционная связь, коэффициенты которой находятся в пределах 0,71- 0,96.

Приближенно трещиноватость пород можно оценивать по выходу керна, который, однако, не является показателем, характеризующим только трещиноватость породы. Поэтому за основной критерий, позволяющий оценивать степень трещиноватости пород при бурении, принята удельная кусковатость керна, в качестве косвенного - выход керна.

Для более точного определения степени трещиноватости породы (например, при экспериментальных исследованиях) используется еще один дополнительный критерий - показатель трещиноватости породы  $W$ , который вместе с удельной кусковатостью керна позволяет более точно оценивать нарушенность **горных пород**, их структурные и текстурные особенности:

$$W = D_k K_{уд} \lambda / \operatorname{tg} \beta,$$

где  $D_k$  - диаметр керна, м;  $K_{уд}$  - удельная кусковатость керна, шт/м;  $\lambda$  - опытный коэффициент, учитывающий степень вторичного дробления породы; для расчетов среднее значение этого показателя может быть принято равным 0,7;  $\beta$  - угол встречи плоскости трещины с осью скважины, градус.

Применение перечисленных критериев позволяет получить достаточно полную характеристику трещиноватости пород геологического объекта. Классификация пород по

трещиноватости применительно к вращательному колонковому бурению приведена в табл. 1.3

Таблица 1.3  
Классификация пород по трещиноватости для КБТ (ВИТР)

Группа пород по трещин ..	Степень трещиноватости горных пород	Критерии трещиноватости		
		Уд. кусков. $K_{уд}$ , шт/м	Показатель трещиноват. $W$ , ед/об	В. К., %
1	Монолитные	1-5	До 0,50	100-70
2	Слабо трещиноватые	6-10	0,51-1,00	90-60
3	Трещиноватые	11-30	1,01-2,00	80-50
4	Сильнотрещиноватые	31-50	2,01-3,00	70-40
5	Весьма и исключительно сильнотрещиноватые	51 и более	3,01 и более	60-30 и менее

Наиболее опасной зоной, где интенсивно разрушаются горные породы, является контур скважины и прилегающая к скважине часть породы. Концентрация напряжений в этой области достигает максимума, за счет чего происходят нарушения устойчивости стенок скважины в виде следующих осложнений: обрушения; обвалы; осыпания; выпучивания.

При разработке технологии бурения, в первую очередь, при проектировании конструкции скважины и разработке мер профилактики и устранения возможных осложнений и аварий в скважине, существенное значение имеет оценка



устойчивости пород в стенках скважины. Для такой оценки рекомендуется классификация горных пород по степени устойчивости их в стенках скважины в процессе бурения, исходя из принципов защиты стенок от горного давления, механического разрушения очистным агентом и вибрирующим буровым снарядом и от физико-химического изменения горных пород.

Выделенные по степени устойчивости 4 группы пород (табл.5.4) характеризуются следующей продолжительностью сохранять устойчивость открытого ствола скважины: I группа – устойчивые – более 150 суток; II группа – средне устойчивые – от 20 до 150 суток; III группа – малоустойчивые – 1 – 20 суток; IV группа – неустойчивые – требуют закрепления сразу же, после их разбухания.

Таблица 1.4

Классификация пород по степени устойчивости в стенках скважины

Группа пород по устойчивости	Степень устойчивости	Характеристика пород по устойчивости	Горно-геологическая характеристика пород
I	Устойчивые	Практически не разрушаемые гидро-динамическими нагрузками и вибрациями бурового снаряда	Монолитные и слаботрещиноватые, IX-XII категории по буримости
II	Среднеустойчивые	Разрушаемые гидродинамическими нагрузками и	Различной степени трещиноватости, перемежающиеся

	вибрациями снаряда	по твердости, IV— VIII категории
III	Легко разрушаемые и растворимые Малоустойчив(минеральные соли) ые и многолетнемерзлые породы	Малой твердости, хрупкие и высокопластичные, III-V категории
IV	Неустойчивые Легко разрушаемые и размываемые	Рыхлые, сыпучие, пльвучие, I-II категории

Классификация горных пород и геологических разрезов по проницаемости (водопроницаемости и водопоглощению) (табл. 5.6) позволяет выделить зоны возможных поглощений промывочной жидкости при бурении скважин по коэффициенту поглощающей способности  $K_{\text{пог}}$  и интенсивности поглощения  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), определяемых следующими соотношениями:

$$K_{\text{пог}} = Q / \square H = Q / (\square H_{\text{ст}} - H_{\text{дин}});$$

$$Q = (\square D_{\text{ср}}^2 * L) / 4 T,$$

где:  $H = H_{\text{ст}} - H_{\text{дин}}$  – разница между статическим и динамическим уровнями воды в скважине при откачке, м;  $D_{\text{ср}}$  – средний диаметр скважины, м;  $L$  – падение динамического уровня в скважине при наливах, м;  $T$  – время опыта, ч.

По наличию водопритоков геологический разрез разделяют на четыре группы пропорционально проценту водопритока, отнесенному к расходу промывочной жидкости: горизонты с очень сильным, сильным, частичным и несущественным водопритоком.

Чувствительность пород к водоотдаче определяется их качественным изменением при контакте с водой, что позволяет разделить их на три группы: существенно изменяющие свое

агрегатное состояние или выщелачивающиеся; изменяющиеся частично; водоустойчивые.

По температурному фактору выделяют три группы пород: многолетнемерзлые с отрицательной температурой; породы со средними температурами (0-60°); породы с повышенными температурами (свыше 60°).

По углам падения пород выделяют две группы: пологие и крутопадающие пласты.

## **5.2 Выбор способа бурения**

В соответствии с требованиями геологического задания, целевого назначения скважины, учитывая установленные значения и категорию пород по буримости, а также степень сложности геологического разреза будущей скважины, выбирается с учетом имеющихся рекомендаций способ разрушения горных пород (табл. 5.6). Способы бурения и применяемые технические средства для экстремальных условий могут отличаться от рекомендуемых. При выборе способа бурения одновременно решается задача получения представительного и кондиционного керна путем применения специальных колонковых снарядов – двойных (тройных) труб (ДКН), ССК и КССК, эжекторных и эрлифтных комплектов и др.

Таблица 5.6

**Выбор способа бурения разведочных скважин в зависимости от буримости горных пород**

Способ бурения	□ <sub>м</sub> / категория по буримости							
	□ 6,8 I-V	6,8- 10,1 VI	10,2 - 15,1 VII	15,2- 22,7 VIII	22,8 - 34,1 IX	34, 2- 51, 2 X	51,3 - 76,8 XI	> 76,8 XII
Вращательное без промывки (продувки): ручными комплектами шнековое	+ +	+ +						

Вращательное с промывкой (продувкой): твердосплавное алмазное бескерновое с непрерывным выносом керна КГК со съёмными керноприемниками – ССК -----"----- КССК	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Вращательно-ударное: твердосплавное алмазное		+	+	+	+	+	+	+	+
Ударно-вращательное: ручное с гидроударниками с пневмоударниками	+	+	+	+	+	+	+	+	?
Ударное-канатное: с отбором керна бескерновое	?	+	+	+	+	+	?	?	
Вибрационное (вибродарное)			?						

## 1.6. Принципы проектирования конструкции скважин

Основанием для всех инженерных расчетов, связанных с проектированием и бурением скважины, является ее конструкция - схема устройства скважины, определяемая диаметрами и интервалами ее бурения и крепления обсадными трубами (количеством и размерами обсадных колонн), интервалами цементирования обсадных колонн и закрепления (тампонирования) стенок скважины. Конструкция скважины определяется целью и основными задачами бурения, возможностью получения высокого качества необходимой геологической информации и зависит от способа бурения скважины, ее проектной глубины, конечного диаметра и геолого-технических условий бурения, среди которых важнейшими являются: характер комплексов горных пород разреза, их устойчивость, наличие интервалов поглощения промывочной жидкости или водонефтегазопроявлений.

Обсадная труба (обсадная колонна), закрепляющая и предохраняющая от размыва устье скважины, носит название направления. Для закрепления неустойчивых и слабоустойчивых пород, а также проницаемых толщ верхней части разреза в скважину опускается следующая колонна обсадных труб - кондуктор. Для перекрытия зон разрушения, раздробленных, неустойчивых, водоносных пород и других нижележащих интервалов с возможными осложнениями при бурении, а также для перекрытия карстовых пустот и возможных интервалов пересечения подземных горных выработок в скважину опускают техническую колонну обсадных труб (одну или несколько). Для опробования или эксплуатации продуктивных горизонтов, содержащих жидкие или газообразные полезные ископаемые, в скважину спускается эксплуатационная колонна. Если техническая или эксплуатационная колонна по причинам экономической целесообразности не доходит до устья скважины и ее верхняя часть располагается выше башмака (нижняя часть обсадной

колонны) предыдущей колонны, то такая колонна носит название "хвостовика" или "летучки".

Проектная конструкция скважины строится снизу вверх с учетом ее глубины и обоснования конечного диаметра бурения. Конечный диаметр бурения скважин на твердые полезные ископаемые выбирается из условия получения высокого качества геологической информации по всей продуктивной толще. Это достигается как за счет качественного отбора керновых или шламовых проб (минимально допустимый диаметр керна или вес пробы), так и за счет возможности спуска в скважину в исследуемый интервал ствола геофизической или другой скважинной исследовательской аппаратуры соответствующего диаметра. Затем определяются интервалы крепления ствола скважины и изоляции проницаемых горизонтов обсадными колоннами. Важное значение при этом имеет выбор число спускаемых в скважину обсадных колонн, глубин установки их башмаков, интервалов цементирования каждой обсадной колонны и число ступеней замены размера породоразрушающего инструмента после крепления скважины обсадными трубами. Все это в конечном счете определяет начальный диаметр бурения, который обуславливает не только удельную металлоемкость, но и создание наиболее совершенных технологических условий для оптимизации процесса бурения, к снижению затрат времени и средств на проходку скважин.

Факторы, определяющие разработку рациональных типов конструкций скважин (по Е.А. Козловскому):

1) специфика геолого-технических условий бурения скважин на отдельные виды полезных ископаемых;

2) минимально возможный конечный диаметр скважины, минимально возможное число обсадных колонн и число изменений диаметра породоразрушающего инструмента, по возможности, наибольшая протяженность интервалов бурения и крепления одним диаметром,

ограничение начального диаметра бурения, минимально возможные зазоры между обсадными колоннами и стенками скважины, между буровым инструментом и стенками скважины или обсадных труб, применение беструбных методов закрепления и изоляции неустойчивых и проницаемых пород, слагающих стенки скважины.

При выборе конструкции скважины необходимо стремиться к составлению наиболее простых конструкций, т.е. одно-двух колонных, с минимальным конечным диаметром (46-59 мм), обеспечивающим необходимое качество получения геологической информации, так как это позволяет достигнуть высокой производительности и максимально снизить металлоемкость и стоимость бурения. При этом необходимо избегать «потайных» обсадных колонн и ступенчатости открытого ствола скважины, особенно при алмазном бурении и бурении с использованием комплексов ССК. Применение «потайных» колонн и ступенчатость открытого ствола скважины допускается только в отдельных технологически и экономически оправданных ситуациях (в осложненных и аварийных ситуациях, при глубинах свыше 1000 м и пр.).

Наиболее сложным вопросом при разработке конструкции скважины является определение числа ступеней смены диаметра бурения, количества спускаемых в скважину обсадных колонн и глубины спуска каждой из них. Наиболее важными при этом являются геологические факторы и прежде всего устойчивость пород в стенках скважины, поглощающая способность горных пород разреза, наличие водопритоков, чувствительность горных пород к водоотдаче, температура пород, угол падения пород, опасность экологического нарушения разбуриваемого массива горных пород.

Выделенные по степени устойчивости 4 группы пород (табл. ) характеризуются следующей продолжительностью сохранять устойчивость открытого ствола скважины: I группа –устойчивые – более 150 суток; II группа –средне устойчивые



– от 20 до 150 суток; III группа – малоустойчивые – 1 – 20 суток; IV группа – неустойчивые – требуют закрепления сразу же, после их разбухания. Поглощающая способность горных пород оценивается по классификации, представленной в табл. . По наличию водопритоков геологический разрез разделяют на четыре группы пропорционально проценту водопритока, отнесенного к расходу промывочной жидкости: горизонты с очень сильным, сильным, частичным и несущественным водопритоком. Чувствительность пород к водоотдаче определяется их качественным изменением при контакте с водой, что позволяет разделить их на три группы: существенно изменяющими свое агрегатное состояние или выщелачивающиеся; изменяющиеся частично; водоустойчивые. По температурному фактору выделяют три группы пород: многолетнемерзлые с отрицательной температурой; породы со средними температурами (0-60°); породы с повышенными температурами (свыше 60°). По углам падения пород выделяют две группы: пологие и крутопадающие пласты.

Для предупреждения опасности экологического нарушения массива необходимо при бурении исключить каждый из экологически опасных факторов, например, каждый водоносный, нефтеносный и газоносный пласт, а также каждая отработанная горная выработка должны быть изолированы.

Для обозначения конструкции скважин ВИТР разработал их буквенно-цифровую характеристику. Рекомендуемый шифр конструкции включает: глубину скважины (проектную или фактическую), м; способ бурения на конечной глубине (А – алмазный, Т – твердосплавной, Г – гидроударный, П – пневмоударный, Ш – шарошечный, АС – комплексами ССК и КССК, АГ – гидроударное с алмазным породоразрушающим инструментом); конечный диаметр скважины (46, 59, 76, 93), мм; сложностью конструкции скважины по числу обсадных колонн (I, II, III, БО – без обсадки); глубину спуска, диаметр и

тип обсадных колонн; диаметр, вид бурения и глубину каждой ступени открытого ствола. Примеры: 500 А 59 П 50 (89Н) 150 (73Н); 1520 Т 76 Ш 17 (168Н) 200(146НЗ) 350 (108Н/50) 93 Ш 917.

Составленный на основании целевых и геологических факторов предварительный проект конструкции скважины на втором этапе проектирования предусматривается упростить за счет изучения района ведения работ, внедрения в практику передовых технологий бурения, совершенствования организации труда и повышения квалификации буровиков.

На основании проектной конструкции скважины с учетом горно-геологических условий выбирают типоразмеры породоразрушающего инструмента, вид промывочной жидкости, тип и размеры бурильной колонны, обосновывают выбор буровой установки и разрабатывают оптимальный технологический режим бурения, обеспечивающий для конкретных условий получение наилучших технико-экономических показателей бурения.



Таблица 6.1

Рекомендации по выбору минимально допустимых диаметров керна и возможных типов размеров колонковых снарядов для различных полезных ископаемых

Характер распределения полезных компонентов	Месторождения полезных ископаемых	Текстур а пород	Мин. допустимый диаметр керна, мм
Весьма равномерный и равномерный.	I. Наиболее выдержанные м-я черных металлов, химического и нерудного сырья, угля	Благоприятная	22
		Неблагоприятная	32
Неравномерный	II. Большинство месторождений цветных металлов, а также сложных м-ий первой группы	Благоприятная	22
		Неблагоприятная	32
Весьма	III. Большинство месторождений редких, цветных и благородных металлов.	Благоприятная	32

неравномерный	Значительная часть горнорудного сырья. Наиболее сложные месторождения II группы	Неблагоприятная	42-60
Крайне неравномерный	IV. Мелкие и весьма нарушенные месторождения редких и благородных металлов. Месторождения, не вошедшие в I-III группы	Благоприятная и неблагоприятная	60

## **2. Буровой инструмент**

Инструмент, предназначенный для бурения скважин, называется буровым и подразделяется на технологический, вспомогательный, аварийный и специальный. Технологический инструмент - инструмент, с помощью которого осуществляется бурение скважины (породоразрушающий инструмент, колонковые, бурильные, обсадные трубы, их соединения и др.). Набор технологического инструмента, соединенный в определенной последовательности, называется буровым снарядом.

Вспомогательный инструмент предназначен для обслуживания технологического инструмента при бурении. Он служит для спускоподъемных операций с буровым снарядом и для других вспомогательных работ (ключи, элеваторы, трубодержатели, а также принадлежности к ним).

Аварийный инструмент необходим для ликвидации аварий и осложнений, которые могут возникать в скважинах во время бурения (метчики, колокола, труборезки и труболочки, бурильные трубы с левой резьбой и др.).

Специальный инструмент применяется при производстве специальных работ в скважине, например, при искусственном отклонении ствола, скважины, при тампонажных работах и пр.

### **2.1. Инструмент для колонкового бурения.**

Колонковое бурение является основным техническим средством при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых и широко применяется при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях, на структурно-картировочных изысканиях при поисках жидких и газообразных полезных ископаемых, при проходке шурфов и шахтных стволов и для других инженерных целей.

Широкое применение колонкового бурения связано со следующими основными его преимуществами:

1) из скважины извлекается ненарушенный образец породы - керн, являющийся основой геологической документации разреза;

2) скважины можно бурить под различными углами к горизонту в породах любой твердости и устойчивости;

3) оборудование сравнительно легкое, мало энергоемкое и транспортабельное.

Колонковое бурение разведочных скважин классифицируется по назначению, глубинам и диаметрам скважин, месту и схемам их расположения, направлению, типам породоразрушающего инструмента, приводу породоразрушающего инструмента, схемам очистки забоя и скважины от шлама, применяемому очистному агенту, методам и техническим средствам извлечения керна и шлама из скважины на поверхность и пр.

На долю колонкового бурения приходится более 75 % всего объема разведочного бурения на твердые полезные ископаемые, его производительность неуклонно растет за счет освоения и внедрения новых высокопроизводительных технических средств, прогрессивной технологии и научных форм организации труда.

Буровой снаряд для колонкового бурения разведочных скважин состоит из трех звеньев; колонкового набора, бурильной колонны и ведущей трубы с буровым промывочным сальником.

В состав колонкового набора входят породоразрушающий инструмент, кернорвательное или керноудерживающее устройство, колонковая труба (одинарная или двойная), переходники различных типов. В состав колонкового набора могут быть включены несколько колонковых труб, соединяемых с помощью ниппелей; специальные керноприемные трубы; опоры, эжекторные

устройства, противоаварийные переходники, виброгасители, шламовые трубы и пр.. Выбор отдельных элементов колонкового набора зависит от геолого-технических условий и способа бурения.

В качестве породоразрушающего инструмента для колонкового бурения разведочных скважин применяются различные по конструкции кольцевые коронки и бурильные головки, а также специальные колонковые долота элементы вооружения которых армируются твердыми сплавами, природными и синтетическими алмазами или сверхтвердыми синтетическими материалами. При бескерновом бурении скважин сплошным забоем применяются различные по конструкции долота.

### **2.1.1 Твердосплавные коронки**

В геологоразведочном бурении твердосплавными коронками бурят вращательным и вращательно-ударным способами в породах мягких и средней твердости I-VII категории по буримости и частично малоабразивные породы VIII-IX категорий (коронками малых диаметров). Твердосплавными коронками для ударно-вращательного бурения проходят скважины в породах средней и высокой крепости VII-XII категории по буримости. Кроме того, твердые сплавы используют для армирования долот: лопастных долот для вращательного бурения в породах I-V категорий с прослойками пород VI-VII категорий, а также шарошечных и фрезерных долот всех типов для вращательного бурения в породах I-XII категорий по буримости.

Конструктивно коронка представляет собой стальное кольцо, на одном конце которого нарезана резьба для соединения с колонковой трубой, а на другом крепятся твердосплавные резцы. Вдоль наружной поверхности кольца фрезеруются шламовые пазы для свободной циркуляции



очистного агента с частицами разрушенной породы. На внутренней поверхности корпуса коронки делается конусная расточка для перемещения в ней кернорвательного кольца или заклиночного материала. В торцевой части коронки между резцами вырезаются пазы (промывочные окна) для циркуляции промывочной среды.

Твердосплавные резцы, закрепляемые в торцевой части корпуса коронки, разрушают кольцевую поверхность забоя и называются основными. Резцы, закрепляемые на наружной и внутренней боковой поверхности, калибруют стенки скважины и керна и называются подрезными. В некоторых типах коронок дополнительные подрезные резцы закрепляются в промывочных каналах (окнах) и участвуют как в разрушении пород забоя, так и в калибровке стенок скважины.

Основными конструктивными элементами коронки, влияющими на эффективность бурения, являются: число, ширина и форма резцов; задний и передний углы их приострения; расположение резцов в короночном кольце и относительно забоя; выход резцов из короночного кольца; способ крепления резцов в короночном кольце; сечение и форма промывочных каналов и шламовых пазов.

Для армирования коронок применяют, главным образом, вольфрамокобальтовые металлокерамические твердые сплавы типа ВК, основой которых является порошок карбид вольфрама  $WC$ , а в качестве цементирующей связки используется кобальт  $Co$  (ВК-3, ВК-6, ВК-8, ВК-10, ВК-15, ВК-20, ВК-25). Цифры в марке сплава соответствуют процентному содержанию кобальта, в зависимости от которого сплавы условно разделяются на три группы: мало кобальтовые (3-8%), средне кобальтовые (10-15%) и высоко кобальтовые (20-25%). Кроме того, мелкозернистые сплавы имеют индекс "М", крупнозернистые - индекс "В", а среднезернистые сплавы не имеют индекса. Твердость и плотность сплавов

уменьшается с увеличением содержания кобальта, при этом повышается сопротивление сплава сжатию, увеличивается их предел прочности на изгиб и ударная вязкость.

Для повышения прочности и износостойкости на поверхность инструмента наносятся газопламенным или электродуговым методом специальные наплавочные твердые сплавы, которые по строению делятся на литые, зернистые и трубчато-зернистые. Это, в основном, многокомпонентные металлические системы на основе железа, кобальта или никеля, содержащие в составе элементы, которые при затвердевании образуют карбиды баритов и других твердых сплавов (релиты 3 и ТЗ).

По назначению все твердосплавные коронки делятся на три группы:

1) ребристые (М4, М2, М4 и М5) имеют по наружному диаметру повышенные выходы резцедержателей, обеспечивающие увеличенный кольцевой зазор между колонковым набором и стенками скважины для предупреждения зашламования и прихвата бурового снаряда, ими бурят породы I-IV категорий по буримости;

2) гладкостенные резцовые (СМ-4, СМ-5, СМ-6, СМ-8, СМ-9, СТ-2, СТ-3) предназначены для бурения неабразивных и малоабразивных пород IV-VII категорий по буримости, их отличает небольшой выступ твердосплавных резцов по наружному и внутреннему диаметрам;

3) гладкостенные микрорезцовые или самозатачивающиеся (СА-4, СА-5 и СА-6) применяют для бурения абразивных пород VI-VIII и частично IX категорий по буримости, они армированы твердосплавными резцами и опорными стальными пластинами небольшого сечения, обеспечивающими эффект самозатачивания.

Наружные диаметры твердосплавных коронок: 36, 46, 59, 76, 93, 112, 132, 151, 172, 222, 248, 276, 328 мм

### **2.1.2. Алмазный породоразрушающий инструмент**

Алмазный породоразрушающий инструмент представлен стандартными и специальными коронками, разрушающими забой по наружному кольцевому сечению для отбора керна, и долотами, разрушающими забой по всей поверхности, для бескернового бурения скважин.

Для оснащения алмазного породоразрушающего инструмента (буровых коронок, долот и расширителей) используются природные и синтетические алмазы. Эксплуатационные или буровые свойства алмазов оценивают по ресурсу (работоспособности) породоразрушающего инструмента, механической скорости бурения и удельному расходу алмазов в карат на 1 м бурения скважины. Из-за неоднородности свойств разбуриваемых горных пород, сложного характера знакопеременных нагрузок в зоне забоя, отсутствия оперативного контроля за состоянием режущей части инструмента условия его отработки наиболее тяжелые по сравнению с условиями работы всех других видов промышленного алмазного инструмента. Поэтому качество применяемых в породоразрушающем инструменте алмазов – важнейший фактор повышения его работоспособности.

Алмаз имеет самую высокую микротвердость среди природных минералов (от 95000 до 100600 МПа) и самый высокий модуль упругости -900000 МПа. Износостойкость алмаза по различным кристаллографическим направлениям колеблется в широких пределах, однако среднее ее значение в несколько раз выше износостойкости широко известных абразивных материалов (карбида кремния, карбида бора, электрокорунда и т.п.). Если принять абразивную способность алмаза за единицу, то абразивная способность карбида бора составит 0,5-0,7, карбида кремния - 0,2-0,4, а электрокорунда - 0,15. Предел прочности на изгиб у алмаза невысок - 200-500 МПа, что в 3-4 раза меньше, чем у твердого сплава (1400-1500 МПа). Предел прочности на сжатие составляет в среднем 2000

МПа, что в 2 раза меньше предела прочности на сжатие у твердых сплавов. Теоретическая прочность алмаза на разрыв составляет 790000 МПа. Плотность алмаза зависит от включений и примесей в нем, а также от пористости и изменяется в пределах от 3520 до 3550 кг/м<sup>3</sup>. При нагревании до 800-1200 °С алмаз постепенно переходит в графит.

Природные алмазы для бурового инструмента различаются по качеству и размерам. Выбор алмазов необходимого качества и размера определяется физико-механическими свойствами горных пород, в первую очередь, твердостью, абразивностью, трещиноватостью и вязкостью породы. В настоящее время существует несколько классификаций технических алмазов, используемых в буровом породоразрушающем инструменте. Основные из них: «Сыре алмазное для многокристального инструмента» - ТУ 47-12-88; классификация АО «Алмазы России-Саха»; международная классификация «Алмазное сырье» по системе «SITY» (классификатор K47-01-92).

Для бурения геологоразведочных скважин используются технические алмазы группы борт, представленные кристаллами неправильной формы и сростками, имеющими, как правило, совершенную спайность и микротрещиноватость. Буровые свойства алмазов зависят от формы кристаллов, их доброкачественности (наличие или отсутствие микротрещиноватости, сколов, включений и пр.) и размеров. Алмазы округлой формы обладают наиболее высокими буровыми качествами. Технические алмазы высокого качества (XV группа) применяют в буровых коронках без предварительной обработки. Для улучшения буровых качеств низкосортные технические алмазы (XX группа и ниже) специально предварительно обрабатывают различными способами с целью разделения по форме и размерам, а также для выделения алмазов с более высокими прочностными свойствами. При этом алмазы подвергаются

избирательному дроблению, овализации, полировке, термической обработке, гранулированию и металлизации.

Дробление низкосортных алмазов производится на различных установках с целью раскалывания кристаллов по трещинам или дефектным местам и придания полученным обломкам изометричной формы. Дробленые алмазы используют для армирования буровых коронок, изготовления шлифовальных и микропорошков.

Овализация низкосортных алмазов производится на специальных установках с целью получения алмазного зерна округлой формы, а также для разрушения слабых трещиноватых кристаллов с дефектами. Овализация алмазов достигается в результате их вращательного движения в специальной камере в результате столкновений зерен друг с другом и со стенками скважины. В зависимости от времени обработки получают алмазы различной степени овализации: слабой, средней и сильной. В буровом инструменте в основном применяют алмазы средней степени овализации.

Полирование алмазов применяется для обеспечения визуального просмотра кристаллов с целью отбраковки дефектных зерен, а также для уменьшения силы трения алмазов при контакте с горной породой. Последнее обстоятельство увеличивает механическую скорость бурения и снижает износ алмазов. Полирование алмазов осуществляется двумя способами: химическим и механическим. При химическом способе алмазы обрабатывают в растворе щелочей с бурой при воздействии высокой температуры. При этом в первую очередь растворяются тонкие, выступающие части алмазов и образуется гладкая поверхность основного зерна. Величина безвозвратных потерь при химической полировке может достигать 20-30 %. Механический способ полировки алмазов заключается в обработке алмазных овализованных зерен водной суспензией микропорошков алмаза с размером зерен от 1 до 40 мкм. Для ускорения

процесса алмазам придается сложное планетарное движение в среде этой водной суспензии. Время обработки - около 10 часов, безвозвратные потери - около 2%, выход полированной продукции - 83%.

Термическая обработка алмазов (нагрев до 920-940 °С с последующим охлаждением) позволяет снимать внутренние напряжения в кристаллах и таким образом повышать их прочностные свойства (прочность при статическом сжатии повышается на 20-40 %).

Криогенная обработка позволяет также снимать внутренние напряжения в кристаллах и повышать их прочность. Обработка заключается в погружении алмазов в жидкий азот и кратковременной их выдержке в нем. При этом стойкость алмазов увеличивается до 30%.

Металлизация алмазного сырья заключается в покрытии кристаллов алмаза тонким (10-15 микрон) слоем тугоплавкого металла, обладающего высокой адгезией, как к самому алмазу, так и к материалу матрицы. Это позволяет залечивать в алмазе трещины и микротрещины и способствует более прочному закреплению зерна в матрице. Стойкость инструмента, армированного металлизированными алмазами, возрастает на 15-25 %.

Алмазный буровой инструмент состоит из алмазосодержащей матрицы, припаянной к стальному корпусу с резьбой. Алмазы - режущие элементы коронки - закреплены в поверхностном слое металлокерамической матрицы в определенном порядке. К конструктивным особенностям алмазного породоразрушающего инструмента относятся: функциональное назначение алмазов, их качество и зернистость; насыщенность алмазами, износостойкость, форма торцевой поверхности и толщина матрицы; геометрия и размеры промывочных окон или каналов; высота корпуса, тип присоединительной резьбы и пр.

По своему функциональному назначению алмазы в буровом инструменте подразделяются на объемные (торцевые) и подрезные (боковые). Объемные (торцевые) алмазы выполняют работу по разрушению горной породы на забое скважины и размещаются в поверхностном слое матрицы или насыщают ее торцевой слой. Подрезные (боковые) алмазы размещаются на боковой поверхности инструмента и служат для обработки и калибровки стенок скважины и стенок керна (для коронок).

В настоящее время отечественная промышленность по расположению объемных алмазов выпускает алмазный инструмент двух типов: однослойный - с расположением алмазов в один слой и импрегнированный - с равномерным распределением алмазов в 4-6 миллиметровом торцевом слое матрицы. В однослойном инструменте объемные алмазы могут устанавливаться с заданной величиной выпуска относительно торцевой поверхности матрицы и без выпуска. Импрегнированный алмазный инструмент относится к самозатачивающемуся типу породоразрушающего инструмента, так как при изнашивании контактирующих с породой алмазов обнажаются и вступают в работу новые алмазы из алмазосодержащего слоя матрицы.

Для бурения геологоразведочных скважин используются технические алмазы группы борт, представленные кристаллами неправильной формы и сростками, имеющими, как правило, совершенную спайность и микротрещиноватость. Буровые свойства алмазов зависят от формы кристаллов, их доброкачественности (наличие или отсутствие микротрещиноватости, сколов, включений и пр.) и размеров. Алмазы округлой формы обладают наиболее высокими буровыми качествами. Технические алмазы высокого качества (XV группа) применяют в буровых коронках без предварительной обработки. Для улучшения буровых качеств низкосортные технические алмазы (XX

группа и ниже) специально предварительно обрабатывают различными способами с целью разделения по форме и размерам, а также для выделения алмазов с более высокими прочностными свойствами. При этом алмазы подвергаются избирательному дроблению, овализации, полировке, термической обработке, гранулированию и металлизации.

Дробление низкосортных алмазов производится на различных установках с целью раскалывания кристаллов по трещинам или дефектным местам и придания полученным обломкам изометричной формы. Дробленые алмазы используют для армирования буровых коронок, изготовления шлифовальных и микропорошков.

Овализация низкосортных алмазов производится на специальных установках с целью получения алмазного зерна округлой формы, а также для разрушения слабых трещиноватых кристаллов с дефектами. Овализация алмазов достигается в результате их вращательного движения в специальной камере в результате столкновений зерен друг с другом и со стенками скважины. В зависимости от времени обработки получают алмазы различной степени овализации: слабой, средней и сильной. В буровом инструменте в основном применяют алмазы средней степени овализации.

Полирование алмазов применяется для обеспечения визуального просмотра кристаллов с целью отбраковки дефектных зерен, а также для уменьшения силы трения алмазов при контакте с горной породой. Последнее обстоятельство увеличивает механическую скорость бурения и снижает износ алмазов. Полирование алмазов осуществляется двумя способами: химическим и механическим. При химическом способе алмазы обрабатывают в растворе щелочей с бурой при воздействии высокой температуры. При этом в первую очередь растворяются тонкие, выступающие части алмазов и образуется гладкая поверхность основного зерна. Величина безвозвратных потерь при химической



полировке может достигать 20-30 %. Механический способ полировки алмазов заключается в обработке алмазных овалированных зерен водной суспензией микропорошков алмаза с размером зерен от 1 до 40 мкм. Для ускорения процесса алмазам придается сложное планетарное движение в среде этой водной суспензии. Время обработки - около 10 часов, безвозвратные потери - около 2%, выход полированной продукции - 83%.

Термическая обработка алмазов (нагрев до 920-940 °С с последующим охлаждением) позволяет снимать внутренние напряжения в кристаллах и таким образом повышать их прочностные свойства (прочность при статическом сжатии повышается на 20-40 %).

Криогенная обработка позволяет также снимать внутренние напряжения в кристаллах и повышать их прочность. Обработка заключается в погружении алмазов в жидкий азот и кратковременной их выдержке в нем. При этом стойкость алмазов увеличивается до 30%.

Металлизация алмазного сырья заключается в покрытии кристаллов алмаза тонким (10-15 микрон) слоем тугоплавкого металла, обладающего высокой адгезией как к самому алмазу, так и к материалу матрицы. Это позволяет залечивать в алмазе трещины и микротрещины и способствует более прочному закреплению зерна в матрице. Стойкость алмазного инструмента, армированных металлизированными алмазами, возрастает на 15-25 %.

Размер алмазов или зернистость (крупность) в соответствии с техническими условиями может быть представлена: массой камня в каратах (0,2 г); числом камней в одном карате (шт/кар.); для порошков в мкм; ситовыми классами в мм. Для армировки буровых коронок используются алмазы размерами от 2-3 до 1500-2000 шт/кар. Однослойные коронки армируются объемными алмазами крупностью от 2-5 до 60-90 шт/карат, которые располагаются в

одном поверхностном слое. Импрегнированные коронки армируются объемными алмазами крупностью от 120 до 2000-1500 шт/карат, которые равномерно насыщают всю матрицу коронки и обнажаются в процессе бурения по мере износа материала матрицы. Все алмазные коронки армируются подрезными алмазами крупностью 40-30 или 60-40 шт/карат. Однослойные коронки предназначены для бурения в породах VI-IX категорий, а импрегнированные - для бурения твердых и весьма твердых пород X-XII категорий по буримости.

Кроме стандартных коронок выпускают специальные коронки, имеющие нестандартные размеры. К ним относятся коронки с утолщенной матрицей для бурения в трещиноватых породах, двойными колонковыми трубами и снарядами со съёмными керноприемниками; а также коронки для направленного и многозабойного бурения и пр.

В комплекте с алмазными коронками и долотами используются алмазные расширители, предназначенные для калибровки скважины по номинальному диаметру.

Величина выпуска алмазов зависит от их зернистости, качества и от физико-механических свойств разбуриваемых пород. В настоящее время изготавливают коронки без заданного выпуска алмазов, в которых эта величина находится на уровне 5-10 % линейного размера (01А, 02И, 03И и др.).

Для бурения горных пород, различающихся по абразивным свойствам, в настоящее время изготавливаются коронки с матрицами пяти типов по твердости (шкала HRC): очень мягкая (HRC=10□15), мягкая (HRC=15□20), нормальная (HRC=20□25), твердая (HRC=30□35), очень твердая (HRC=50□55). Принятая единая универсальная индексация для обозначения типов и марок алмазных коронок предусматривает: первые две цифры в индексе коронки характеризуют порядковый номер ее конструкции; последующие буквы - ее тип (А - однослойная, И -

импрегнированная); первая за буквой цифра - твердость матрицы коронки, а последующие буквы и цифры - сорт и крупность объемных и подрезных алмазов.

Алмазы в однослойных коронках располагаются в верхнем слое матрицы. Используются крупные природные и синтетические алмазы, которые обеспечивают высокую скорость проходки и большую эффективность буровых работ. Алмазы в однослойных коронках располагают по определённой схеме, которая меняется в зависимости от размеров используемых алмазов, что в значительной мере определяют ресурс коронки и скорость бурения.

Импрегнированные коронки предназначены для бурения пород VIII-XII категорий и характеризуются равномерным распределением по всему объёму матриц относительно мелких природных или синтетических алмазов. Подобное строение импрегнированной коронки обеспечивает её эффективность при бурении по твёрдым породам.

По форме торца мелкоалмазные коронки выпускают с пятью стандартными профилями:

- 1) круглый торец с радиусом закругления, равным половине толщины алмазосодержащей матрицы;
- 2) полукруглый торец с радиусом закругления, равным толщине алмазосодержащей матрицы;
- 3) плоский торец, позволяющий закреплять в ней минимальное количество алмазов;
- 4) полукупол с большим радиусом закругления по наружной стороне матрицы и малым радиусом закругления по внутренней стороне матрицы (для двойных колонковых труб);
- 5) ступенчатый торец имеет большую площадь поверхности по наружному диаметру для размещения большего количества алмазов (для ССК).

По конструкции промывочной системы коронки делятся на две группы:

1) с обычной промывочной системой, имеющие в зависимости от диаметра от двух до десяти промывочных каналов шириной до 6 мм;

2) с развитой промывочной системой - увеличены размеры промывочных каналов до 8-12 мм, подрезные и объемные алмазы расположены с предварительным выпуском, увеличено число промывочных каналов.

Алмазные коронки выпускают со стандартными и удлиненными (для ССК и некоторых двойных колонковых труб) корпусами. Коронки для двойных колонковых труб имеют внутреннюю присоединительную резьбу.

В комплект алмазного породоразрушающего инструмента кроме алмазных буровых коронок входят алмазные калибровочные расширители, служащие для поддержания заданного диаметра скважины, а также для стабилизации нижней части бурового снаряда с целью уменьшения возможности проявления вибраций. Для бурения твердых пород выпускают расширители типа РСА, для средних по твердости пород - расширители типа РМВ, для двойных колонковых снарядов РТД-1. Кроме расширителей-калибраторов в практике алмазного бурения применяются специальные расширители типа РМВК-76/93, с помощью которых разбурируется ствол скважины до смежного диаметра.

Широкое производство синтетических алмазов и других сверхтвердых материалов (кубического нитрида бора, славутича и др.) дают возможность применять их для оснащения бурового породоразрушающего инструмента. В настоящее время промышленность выпускает пять марок синтетических алмазов, размер зерен которых достигает 1 мм, а прочностные свойства приближаются к аналогичным свойствам природных алмазов.

Основными параметрами вооруженности коронок алмазами являются содержание алмазов в коронке в каратах,

насыщенностью торца матрицы алмазами в шт/см<sup>2</sup> или в кар/см<sup>3</sup>, схема размещения алмазов (однослойная или импрегнированная).

Техническая характеристика и области применения основных типов алмазных коронок приведены в табл.

Алмазные расширители: РСА –46 (59, 76, 92), РМВ-2-80 (97), РМВК-76/93, а также для двойных буровых труб и снарядов ССК и КССК.

Синтетические сверхтвердые материалы: АСПК, СВСП, АСО, АСР, АСК, АС, АСТ-125, АСТ-160, славутич, Эльбор, Белбор

Теоретические предпосылки получения алмазов искусственным путем были научно обоснованы в конце 30-х гг. 20 в. Синтетический алмаз впервые воспроизводимо получен в Швеции (1953), затем в США (1954) и СССР (1959). Наиболее распространен метод синтеза алмаза из графита при высоких статических давлениях. Синтез происходит в области термодинамической устойчивости алмаза, т. е. при давлениях 4 -10 ГПа и температурах 1000-2500°С, в присутствии металлов, выполняющих роль растворителей-катализаторов, в течение времени от 10-15 с до 1 ч (размеры получаемых монокристаллов от 0,1 до 1,5 мм по ребру октаэдра; более крупные алмазы - 8-10 мм - выращивают на затравку свыше 100 ч). По истечении времени синтеза для предотвращения обратного перехода алмаза в графит температуру резко снижают, и новая фаза фиксируется.

В 1969 году советский ученый член-корреспондент АН СССР Борис Дерягин впервые синтезировал алмазы из газовой водородно-метановой смеси при давлении менее одной атмосферы. Он развеял давний миф о том, что алмазы образуются лишь при высоком давлении из кимберлитового силикатно-магниевого расплава, характерного для мантии Земли. Сейчас имеются сотни патентов по получению алмазных пленочных покрытий из водородно-метанового газа.

Алмазы, кристаллизующиеся из метана, отличаются чистотой и прозрачностью. Вполне возможно, что природные алмазы кимберлитов также возникли из метана. Нет сомнения, что заинтересованные компании не жалеют денег для скупки интересных проектов по газовому синтезу, с тем чтобы навсегда запереть их в своих сейфах.

Синтетические алмазы, образующиеся при действии динамического высокого давления около 30 ГПа и температуры  $\sim 3000^{\circ}\text{C}$  и выше, имеют размеры 10-30 мкм. В метастабильных для алмаза условиях при давлениях от нескольких сотен ГПа до нескольких Па и температурах  $600\text{--}800^{\circ}\text{C}$  синтез ведется из газовой фазы (метан, пропан, двуокись углерода и т. п.), как правило с введением активирующих добавок, а при статическом давлении более 11 - 13 ГПа и температуре выше  $2500^{\circ}\text{C}$  возможно получение алмазов без введения активирующих добавок, а также получение алмаза из расплава углерода.

Синтетические алмазы выпускают в виде микропорошков, монокристаллов, поликристаллических структур (баллас, карбонадо), алмазных спеков и пластин с металлической подложкой. Выращенные в РУП "Адамас БГУ", синтетические алмазы продаются под торговой маркой «Монокристалл синтетический сверхтвердый «Алмазот»» (СТМ "Алмазот", ТУ РБ 600124613.002-2002). Эксплуатационные показатели инструмента из СТМ "Алмазот" находятся на уровне аналогичных показателей изделий из природных алмазов.

2.1.3. Породоразрушающий инструмент для бескернового бурения

Породоразрушающий инструмент для бескернового бурения геологоразведочных скважин по характеру воздействия на разбуриваемую породу классифицируется на три вида: долота ударно-дробящего действия; долота дробяще-

скалывающего действия; долота режуще-истирающего действия.

К первому типу относятся одно-, двух-, трех- и многошарошечные долота, а также долота комбинированного типа. Эти долота разрушают породу дроблением и скалыванием за счет динамического воздействия на породы забоя их элементов вооружения (зубьев, твердосплавных вставок) в результате трансформирования вращательного движения корпуса долота в возвратно-поступательно движение вооружения, совершаемое с высокой частотой.

Ко второму типу относятся дисковые долота фрезерного типа и цепные долота, разрушающие породу за счет ударного и скалывающего воздействия зубьев на разрушаемый забой.

К третьему типу относятся одно-, двух-, трех- и многолопастные и алмазные долота, а также долота, армированные синтетическими сверхтвердыми материалами. Эти долота разрушают забой в результате среза тонкого слоя при вне элемента вооружения в породу.

Существуют также различные типы специальных долот, созданные для определенных видов бурения и способов проходки скважин. Это долота для гидроударного и пневмоударного бурения, для шнекового бурения, для направленного бурения, для бурения шпуров и пр.

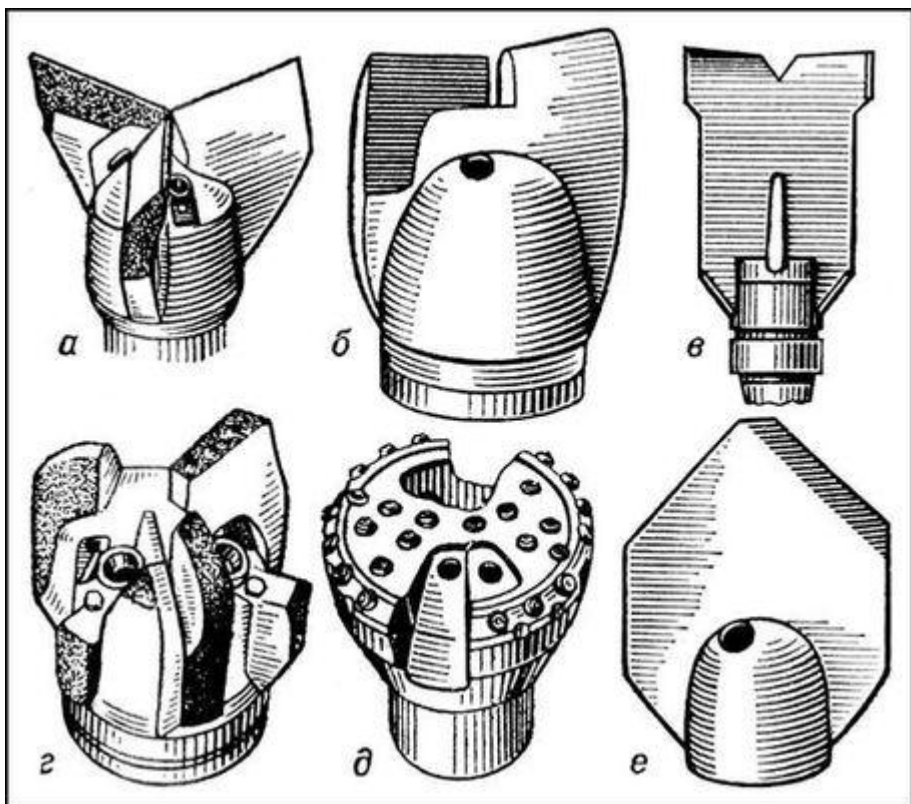


Рис. 7.1. Лопастные долота; а — трёхлопастное; б — двухлопастное; в — типа «РХ»; г — истирающе-режущие типа «ИР»; д — фрезерное типа «ФР»; е — пикообразное.



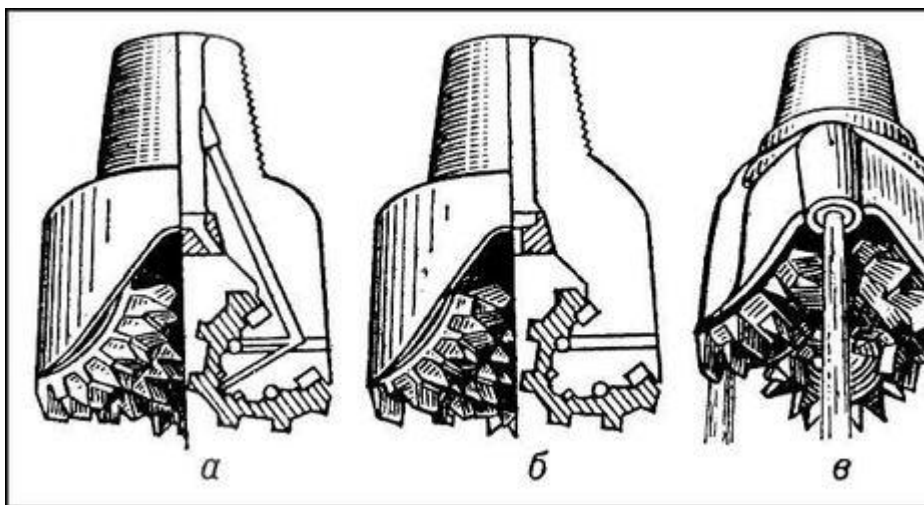


Рис. 7.2. Системы очистки забоя скважины и охлаждения долота: а — продувкой сжатым воздухом (или промывкой аэрированной жидкостью) через центральный канал и каналы в лапах; б — промывкой через центральный канал; в — боковой гидромониторной промывкой между шарошками.

В табл. приведена классификация долот, калибраторов и расширителей, разработанных СКБ «Геотехника».

Наибольшее распространение при бурении разведочных скважин получили шарошечные долота как наиболее универсальный породоразрушающий инструмент, область эффективного применения которого охватывает практически все многообразие горных пород: от очень мягких до весьма твердых.

Шарошечное долото представляет собой конструкцию, состоящую из стального цилиндрического корпуса с присоединительной резьбой. Корпус долота разделен на отдельные секции (лапы), которые имеют цапфы (защемленные с одной стороны оси), наклоненные к оси корпуса долота под определенным углом, с закрепленными и вращающимися на них шарошками, на которых размещаются элементы вооружения.

Корпуса шарошечных долот для бурения скважин большого диаметра изготавливаются цельнолитыми, а для скважин меньшего диаметра секционными или сварными. Шарошки конической или сферической формы монтируются на цапфах на опорах, которые состоят из подшипников различных типов конфигураций. От осевого перемещения на оси цапф шарошки удерживаются специальных замковых устройств, выполненных в виде шариковых подшипников. На корпусе шарошки размещается основное и калибрующее вооружение, состоящее из стальных фрезерованных зубьев или из твердосплавных зубков или штырей. Основное вооружение располагается отдельными рядами (венцами) на основном конусе и участвует в разрушении поверхности забоя, а калибрующее вооружение – на затылочном (обратном) конусе и участвует в калибровании стенок скважины. Для эффективной очистки поверхности забоя от продуктов разрушения горных пород (бурового шлама) в корпусе долота монтируются промывочные устройства: каналы и сопловые насадки.

Основные конструктивные особенности шарошечных долот: число и конструкция шарошек, схема и конструкция опор, конструкция промывочной системы, наплавка элементов вооружения твердым сплавом или изготовление их из твердого сплава. Основные конструктивные параметры шарошек: величина угла наклона осей шарошек к оси долота, расположение на оси шарошек по отношению к оси долота и вершин шарошек относительно оси долота; число конусов на шарошках; расположение венцов зубьев, их геометрические параметры.

Таблица 2.1

Классификация долот, расширителей и калибраторов конструкции СКБ «Геотехника»

Наименование и-та	Тип и-та	Диаметр, мм	Область рационального
-------------------	----------	-------------	-----------------------

			прим.	
Шарошечные долота	TK	46	VIII-XI	
	, K	59	категория по бурим.	
	T,	76	То же	
	TK, K	93	V-XI	
	CT	112,	категория по бурим.	
	, T, TK3, K	132 151	VIII-XI	
	M,	190,5	категория по бурим.	
	C, T, T3, K		VIII-XI	
	M,		категория по бурим.	
	C, T, T3, K		VIII-XI	
	M,		категория по бурим.	
	C, T, K		VIII-XI	
	C,		категория по бурим.	
	T, K		VIII-XI	
	C,		категория по бурим.	
	C3, T3		VIII-XI	
			категория по бурим.	
	Лопастные долота	M, MC	76, 93, 112, 132	I-IV категория по бурим.
	Шнековые долота	M, MC	151,1 65, 198, 215	То же
	Долота гидро- и пневмоударные	O K	76, 93	IX- XI категория по бурим.
	Дисковые долота	C	76, 93	IV-V категория по бурим.
Колонковые	C,	93,	IV-XI	

е долота	СЗ, СТ, ТКЗ	112, 132, 151	категория по бурим.
Шарошечные калиб.		46, 59, 76, 93	VI-XI категория по бурим.
То же для КСК		76	V-XI категория по бурим.
Калибратор для напр.		76	
Калибратор ступенч.		59/76, 76,93	VII-XI категория по бурим.
Раздв. калибратор		190/3 50	

В настоящее время разработаны алмазные долота для бурения без отбора керна в породах высоких категорий (VII-XI), а также для разбуривания пилот скважины с целью установки клиньев при направленном бурении. В настоящее время в отечественной практике используются два типа долот: однослойные 08А3-46, 09А3-59 и импрегнированные 08ИЗ-46, а также долота для направленного бурения АДН-08.

## 2.2. Колонковые, обсадные и бурильные трубы.

### 2.2.1 Колонковые обсадные и трубы

Колонковые трубы являются частью колонкового набора и служат для приема и сохранения керна, как в процессе бурения, так и при транспортировке его на поверхность. Колонковые трубы изготавливают по ГОСТ 6238-77 из стальных цельнотянутых заготовок (сталь 36Г2С, предел текучести 500 МПа) длиной 1,5; 3,0; 4,5 и 6,0 м. На обоих концах колонковой трубы нарезается внутренняя трапецеидальная резьба с шагом 4 мм. Удлиненный колонковый набор собирается из труб с помощью резьбовых ниппельных или безнипельных

соединений (типа "труба в трубу" - на одном конце трубы наружная, а на другом внутренняя резьба).

Для повышения выхода керна и сохранения его естественного состава и строения применяют двойные колонковые трубы (снаряды). Можно выделить две наиболее крупные группы двойных колонковых труб:

1 группа. ДКТ для отбора керна в сравнительно устойчивых к обрушению и умеренно трещиноватых породах с использованием стандартных коронок;

2-я группа. ДКТ для бурения в трещиноватых и неустойчивых породах с использованием специальных коронок.

Обсадными трубами закрепляют неустойчивые стенки скважины, а также изолируют проницаемые пласты друг от друга. Собранные с помощью резьбовых соединений обсадные трубы образуют обсадную колонну. По типу соединений обсадные трубы (сталь Д, предел текучести 380 МПа) для колонкового бурения разделяются на ниппельные и безнипельные. Эти соединения конструктивно отличаются от аналогичных соединений колонковых труб только несколько большей длиной резьбы. Краткая характеристика колонковых и обсадных труб следующая: ниппельные - диаметр 33,5, 44, 57, 73, 89, 108, 127, 146 мм; безнипельные - 44, 57, 73, 89 мм; толщина стенки 3, 3,5, 4, 4,5 и 5 мм.

Обсадные колонны для разведочных скважин на твердые полезные ископаемые состоят из стальных цельнотянутых труб с ниппельным и безнипельным соединением, изготавливаемых по ГОСТ 6238-77. Краткая техническая характеристика этих труб приведена в табл. 7.5.

Кроме цельнотянутых труб в настоящее время серийно производятся также обсадные электросварные прямошовные трубы ОТШ, которые предназначены для крепления скважин на твердые полезные ископаемые в различных геологотехнических условиях. Разработаны два варианта

конструкции обсадной колонны – гладкоствольные ниппельного соединения (ОТШН) и муфтового соединения (ОТШМ) для крепления скважин «через диаметр» [ ].

При проектировании конструкций разведочных скважин на твердые полезные ископаемые вследствие не большой длины направления (до 3-5 м) и кондуктора (первые десятки метров) следует проверять на прочность только технические колонны при их спуске на глубины свыше 100-300 м (в зависимости от диаметра). Проверка прочности обсадных колонн, соответствующих ГОСТ 6238-77 производится по двум условиям: на разрыв в опасном сечении трубы (в резьбовой части) и на смятие ниток резьбы [ ].

Обсадные колонны для разведочных скважин на твердые полезные ископаемые состояются из стальных цельнотянутых труб с ниппельным и безнипельным соединением, изготавливаемых по ГОСТ 6238-77. Краткая техническая характеристика этих труб приведена в табл. 7.5.

Кроме цельнотянутых труб ВИТРОм сданы в серийное производство также обсадные электросварные прямошовные трубы ОТШ, которые предназначены для крепления скважин на твердые полезные ископаемые в различных геологотехнических условиях. Разработаны два варианта конструкции обсадной колонны – гладкоствольные ниппельного соединения (ОТШН) и муфтового соединения (ОТШМ) для крепления скважин «через диаметр» [ ].

При проектировании конструкций разведочных скважин на твердые полезные ископаемые вследствие не большой длины направления (до 3-5 м) и кондуктора (первые десятки метров) следует проверять на прочность только технические колонны при их спуске на глубины свыше 100-300 м (в зависимости от диаметра). Проверка прочности обсадных колонн, соответствующих ГОСТ 6238-77 производится по двум условиям: на разрыв в опасном сечении трубы (в резьбовой части) и на смятие ниток резьбы [ ].

Условие прочности на разрыв при растяжении под действием собственного веса обсадной колонны в опасном сечении верхней трубы определяется из следующих соотношений:

$$\sigma_p \leq [\sigma_m], \text{ где: } \sigma_p = \frac{qLg}{F_o} \quad \text{и} \quad [\sigma_p] = \frac{[\sigma_m]}{k}. \quad (2.1)$$

Здесь:  $\sigma_p$  и  $[\sigma_p]$  - фактическое и допустимое напряжения на растяжения в опасном сечении трубы, Па;  $[\sigma_m]$  - предел текучести материала трубы, Па;  $q$  - масса единицы длины колонны обсадных труб, кг/м;  $L$  - длина колонны обсадных труб, м;  $F_o$  - площадь опасного сечения трубы или ниппеля, м<sup>2</sup>;  $k$  - коэффициент запаса прочности,  $k=1,5$ , (в сложных геологических условиях  $k=2,0$ );  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Решая уравнение (2.1) относительно  $L$ , получим допустимую глубину спуска колонны обсадных труб из условия их прочности на разрыв

$$L_p = \frac{[\sigma_m]F_o}{kqg}. \quad (2.2)$$

Условие прочности на смятие ниток резьбы в опасном сечении верхней обсадной трубы под действием веса обсадной колонны

$$[\sigma_{см}] = \frac{1}{3 \cdot 0,785(d_1^2 - d_2^2)} \frac{qgL}{k} \quad \text{и} \quad [\sigma_{см}] = \frac{[\sigma_m]}{k}, \quad (2.3)$$

где  $[\sigma_{см}]$  - допустимое напряжение на смятие, Па;  $d_1, d_2$  - наружный и внутренний диаметр резьбы, м.

Решая уравнение (7.3) относительно  $L$ , находим допустимую глубину спуска колонны обсадных труб из условия допустимой прочности резьбы в опасном сечении на смятие

$$L_{cm} = \frac{2,35[\sigma_m] \left( d_1^2 - d \frac{2}{2} \right)}{kqg}. \quad 2.4)$$

Наименьшая из двух рассчитанных величин  $L_p$  и  $L_{cm}$  и будет допустимой глубиной спуска обсадных колонн безниппельного и ниппельного соединений. При проведении расчетов следует пользоваться данными табл. 7.5 Конструкция бурильных труб определяется их назначением и рациональной областью применения.

### 2.2.2 Бурильные трубы.

Бурильные трубы составляют наиболее ответственную часть бурового снаряда - колонну бурильных труб КБТ, которая выполняет следующие основные функции:

- передает осевую нагрузку и крутящий момент породоразрушающему инструменту для разрушения горных пород на забое и стенках скважины;
- служит каналом для циркуляции очистного агента и закачивания тампонирующих материалов, для выноса керна и подъема съемного инструмента;
- опускает приборы для исследования скважины и инструмент для проведения в ней специальных работ и ликвидации разнообразных осложнений и аварий.

Конструкция и параметры КБТ зависит от способа и технологии бурения скважины и определяется ее назначением, материалом, геометрическими размерами и прочностными характеристиками бурильных труб, типом и конструкцией их соединительных элементов. Все это находит отражение в классификации КБТ для бурения разведочных скважин на твердые полезные ископаемые, предложенной В.Г. Кардышем [ ].

По конструкции бурильные колонны подразделяются на одинарные, применяемые для подъема керна выбуренных пород при помощи колонковых наборов одновременно с бурильной колонной или при помощи



съемных керноприемников, извлекаемых на канате (или при помощи гидроподъема съемного керноприемника) и на двойные, применяемые для гидро- или пневмотранспортирования керна и осколочных фракций горных пород с забоя по внутренней трубе.

По внешнему облику бурильные колонны подразделяются на гладкоствольные (бурильные трубы и их соединения имеют практически одинаковый наружный диаметр) и на негладкоствольные (колонны отличаются тем, что наружный диаметр соединений заметно больше наружного диаметра бурильной трубы).

По способу стыковки труб и их соединений бурильные колонны подразделяются на:

- колонны с отдельными {навертными} резьбовыми соединениями;

- на бурильные колонны с приваренными соединениями.

В зависимости от материала, из которого изготавливаются трубы, бурильные колонны подразделяются на стальные и легкосплавные (алюминиевые). Аллюминиевые трубы соединяются в бурильные свечи (бурильные колонны) при помощи стальных навертных соединений.

В зависимости от способа механизации проведения спускоподъемных операций с бурильными колоннами их соединения подразделяются на следующие типы:

- гладкие (имеющие гладкую наружную поверхность), применяемые при бурении установками с подвижным вращателем и плашечным трубодержателем;

- с прорезями (лысками) под накидные элеваторы (наголовники) и ключи-вилки, применяемые при бурении установками шпиндельного типа с лебедочным спускоподъемом и механическим свинчиванием-развинчиванием бурильных свечей (труб)

Для установления единой концепции в создании бурильных труб СКБ «Геотехника» при участии ВИТРа разработан ГОСТ Р «Трубы бурильные геологоразведочные, типы и основные параметры», распространяющийся на бурильные трубы, предназначенные для всех видов, способов и условий геологоразведочного **бурения** на твердые полезные ископаемые и воду, при поисках и разведке, инженерно-геологических изысканиях, сейсморазведке, строительстве и т.д.

Основные типы бурильных труб и области их применения по этому ГОСТу приведены в табл.2.2

Таблица 7.2

Типы новых бурильных труб (колонн)

Область применения БТ	Типы КБТ		
	Наименование	Обозначение	
Традиционное колонковое и бескерновое бурение	Трубы бурильные стальные универсальные	ТБСУ	70.
	Трубы бурильные легкосплавные	ТБЛ	
	Трубы бурильные утяжеленные	ТБУ	
Бурение со съёмными керноприемниками	Трубы бурильные легкой серии	ТБСЛ	114.
	Трубы бурильные тяжелой серии	ТБСТ	
	Трубы бурильные легкосплавные тяжелой серии	ТБЛТ	
Бурение с гидро- и пневмотранспортом керна	Трубы бурильные двойные с наружной стальной трубой	ТБДС	10.
	Трубы бурильные двойные с наружной легкосплавной трубой	ТБДЛ	

### 2.3 Спускоподъемный инструмент

Спускоподъемный инструмент применяется для выполнения операций по наращиванию **бурильной колонны**, ее спуску и подъему, а также операций с **обсадной колонной**. Этот инструмент и механизмы могут составлять специальную единую систему, встроенную в определенный станок и обеспечивать полную автоматизацию или механизацию операций. Однако более широко применяют универсальный инструмент, который подходит к различным буровым станкам и бурильным трубам.

Номенклатура инструмента определяется типом станка - шпиндельного, роторного или с подвижным вращателем. Для последних, например, может в ряде случаев не требоваться трубный элеватор, так как его функции выполняет сам подвижный вращатель. Различают инструмент для гладкоствольной бурильной колонны и для колонны с прорезями в замковых соединениях.

Основным показателем характеристики спускоподъемного инструмента служит его грузоподъемность, которая должна соответствовать максимальной грузоподъемности лебедки бурового станка на прямом канате с увеличением на кратность применяемой талевого системы. К спускоподъемному инструменту можно отнести следующий инструмент.

**Элеваторы трубные** для подъема бурильных труб, подразделяются на кольцевые - для работы с верховым рабочим, и полуавтоматические, при которых верхового рабочего не требуется.

Полуавтоматические элеваторы. *Элеватор ЭН-12,5* (вместо МЗ-50-80-2) имеет упор в специальный наголовник, надеваемый на верхний конец трубы сбоку в прорезь замка. Элеватор состоит из корпуса, затвора, серьги, отражателя и подвески. При спуске свечи элеватор надевают внизу сбоку, закрывают защелку и лебедкой станка поднимают по трубе вверх до упора в наголовник. Свеча на элеваторе

перемещается с подсвечника и после соединения с колонной спускается в скважину. Свеча фиксируется на подкладной вилке, элеватор и наголовник снимаются.

Кольцевой элеватор состоит из серьги, корпуса с прорезью и стопорного кольца. Элеватор одевают прорезью (зевом) в проточки замка и фиксируют сверху кольцом.

Элеватор-фарштуль используется для спуска или подъема бурового снаряда на длину ведущей трубы без отсоединения бурового сальника с упором в замок или переходник.

Труборазворот РТ-1200-2М получил наибольшее применение при колонковом геологоразведочном бурении. Механизм устанавливается на устье скважины. Включает в себя раму, электродвигатель, редуктор, водило, ведущую и подкладную вилки.

Труборазворот РТ-300 для бурильных труб имеет привод от гидродвигателя Г15-22. Принцип работы аналогичен РТ-1200-2М. Максимальный крутящий момент - 220 даН·м. Диаметр проходного отверстия - 140 мм. Масса - 116 кг.

Приспособление ПРТ предназначено для механизации свинчивания и развинчивания гладкоствольных бурильных труб, не имеющих прорезей в замках. Представляет собой гидравлический клиновый трубодержатель, вставляемый в РТ-1200-2М и выполняющий роль подкладной вилки. Роль ведущей вилки выполняет специальный ключ, который затягивается и вращается водилом труборазворота. Технические данные ПРТ приведены в разделе 7.2.

Полуавтоматическая установка ТУ-100/8 (ПГО «Иркутскгеология») на тракторе С-100 используется для извлечения и развинчивания обсадных труб при ликвидации разведочных и гидрогеологических скважин.

Приставка МСОТ-ДГ к труборазвороту РТ-1200. Предназначена для механического свинчивания резьбовых соединений обсадных труб диаметром 73-146 мм при

креплении геологоразведочных и гидрогеологических скважин.

Гидравлический трубодержатель ТР2-12,5 предназначен для удержания бурильной гладкоствольной колонны на устье скважины при свинчивании и развинчивании труб вручную и с помощью вращателя станка. Привод выполняется от гидросистемы бурового станка. Технические данные - в разделе «инструмент для бурения с ССК».

Ключи трубные ручные используются при сборе колонкового набора и операциях с бурильными трубами при отсутствии механизмов по их свинчиванию.

Ключи шарнирные КШ - универсальные предназначены для свинчивания и развинчивания буровых коронок, корпусов кернорвателей, переходников, колонковых и обсадных труб. В качестве захватных элементов используются скобы с наплавками твердого сплава.

Ключи КБ - для буровых алмазных коронок и расширителей Крутящий момент передается через штифт на скобе ключа, который утопляется при охвате в цилиндрическое углубление на корпусе коронки.

Ключи гладкозахватные КГ для одинарных и двойных колонковых труб. На скобах ключа вместо зажимных плашек выполнены гладкие расточки по диаметру трубы. Скобы имеют значительную ширину.

Ключи шарнирные КШС выпускаются отдельно для работы с колонковыми и обсадными и для работы с бурильными трубами.

Ключи для бурильных труб КШС по ГОСТ 6494 - 71 имеют два звена, на одном из которых размещена плашка с насечкой высокой твердости.

Ключи шарнирные для колонковых и обсадных труб) по ГОСТ 10559-63 (ТУ 34-2216-75) рассчитаны каждый на два диаметра труб.

Ключи отбойные используются для срыва резьбы (первоначальное отвинчивание) при подъеме бурильной колонны. Они рассчитаны на максимальное окружное усилие, имеют форму крюка с зевом под прорезь замка или ниппеля. Изготавливаются по ТУ 41-01-405—79Е.

Вилки подкладные по ОСТ 41-111-76 применяются для установки колонны на устье скважины при работе без труборазворота при наращивании или подъеме колонны.

Ключи цепные по ТУ 26-02-355-76 являются универсальными, так как каждый тип имеет широкий диапазон размеров захвата. Недостатком ключей является значительная масса самой цепи или склонность к быстрой вытяжке, если цепь недостаточной прочности.

Опора ОКН предназначена для удержания бурового снаряда при его монтаже.

3 Буровое оборудование: буровые установки, агрегаты, станки, насосы, вышки и мачты, вспомогательное оборудование.

Поверхностное оборудование для бурения разведочных скважин представлено комплексом наземных сооружений, бурового, энергетического и вспомогательного оборудования, называемым буровой установкой. К наземным сооружениям, входящим в состав буровой установки, относятся буровая вышка или мачта, буровое здание, поверхностная циркуляционная (очистная) система и вспомогательные сооружения. Буровое оборудование представлено комплексом основных машин и механизмов, необходимых для бурения скважины, образующих буровой агрегат, в который входят: буровой станок, буровой насос (или компрессор), приводные двигатели с трансмиссиями и пусковыми устройствами, средства механизации спускоподъемных операций и пр. К энергетическому оборудованию относятся передвижные электростанции, силовые трансформаторы и пускозащитная аппаратура. К буровой установке прилагается инструмент, технические средства для приготовления и очистки промывочных растворов, средства для отопления, вентиляции и освещения буровой. К месту проведения буровых работ установки могут быть доставлены отдельными узлами, блоками или в виде агрегатов, смонтированных на санях, прицепах или на транспортных базах автомобилей, тракторов, вездеходов, плавучих средствах и пр. По транспортабельности все буровые установки разделяются на разборные (не имеющие собственной транспортной базы и перемещаемые частями с использованием универсальных транспортных средств); переносные разборные (перемещаемые вручную или выюками); передвижные (смонтированные на собственной транспортной базе и перемещаемые буксированием) и

самоходные (смонтированные на самоходной транспортной базе).

Под буровым станком понимают собственно машину, предназначенную для бурения скважины (вращения бурового снаряда, регулирования давления на забой, осуществления спускоподъемных операций). Буровой станок для колонкового бурения состоит из вращателя, механизма подачи, лебедки, коробки перемены передач и главного фрикциона, смонтированных на станине, установленной на специальном основании.

Вращатель предназначен для передачи вращения буровому снаряду. По конструкции он может быть:

- шпиндельным (с проходным полым шпинделем и одним или двумя зажимными патронами для закрепления ведущей трубы и передачи осевой нагрузки буровому снаряду);

- роторным (не передающим осевую нагрузку буровому снаряду);

- подвижным (с индивидуальным приводом, передающим осевую нагрузку буровому снаряду и перемещающемуся вдоль оси вращения).

Механизмы подачи служат для регулирования осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент, и подразделяется на следующие типы: рычажный, дифференциально-рычажный, дифференциально-винтовой, гидравлический и с барабана лебедки.

Лебедка используется для спускоподъемных операций.

Коробка перемены передач позволяет ступенчато изменять частоты вращения и скорости подъема бурового инструмента.

Главный фрикцион служит для включения и отключения станка от двигателя.

Буровые установки классифицируются:

- по целевому назначению;



- по способу бурения;
- по конструкции основных рабочих органов, определяющих его оригинальную схему;
- по транспортабельности.

В современных разведочных буровых установках преимущественно применяют станки с вращателем шпиндельного типа и гидравлическим механизмом подачи снаряда на забой. В 1974 г. разработан новый размерный ряд установок колонкового бурения УКБ (ГОСТ 7959-74), обеспечивающий диапазон глубин разведочного бурения до 3000 м алмазным и твердосплавным буровым инструментом определенного диаметра в породах I-XII категорий по буримости. Установки класса УКБ характеризуются комплексной разработкой всего бурового оборудования и инструмента, высокой степенью унификации оборудования, широким диапазоном регулирования частоты вращения, увеличенной мощностью привода, улучшенной разборностью и монтаже способностью, механизацией трудоемких операций, разработкой модификаций установок по транспортабельности. В настоящее время классы размерного ряда представлены следующими установками УКБ, внедренными в производство.

Одновременно с новыми буровыми установками большие объемы бурения геологоразведочных скважин выполняются серийно выпускаемыми модернизированными установками типа ЗИФ-650М, ЗИФ-1200МР, БСК-2М2-100 и др. В буровых установках типа БСК отсутствует лебедка и мачта, для производства спускоподъемных операций используется специальное гидравлическое устройство, что позволяет бурить скважины из подземных горных выработок. Технические характеристики некоторых установок колонкового бурения:

### 3. 1 Особенности конструкции буровых станков

Принципиальная схема бурового станка характеризуется определенным сочетанием и особенностями конструкций основных его узлов и механизмов: вращателя, механизма подачи, способа и средств спуска и подъема бурового инструмента, типа привода основных рабочих органов.

#### Классификация вращателей буровых станков

Особенности конструкции	Тип вращателя			
	Шпиндельный		Роторный	
Основные элементы	Шпиндель и приводная втулка		Приводная втулка с вкладышем и ведущая труба	
Разновидности основных элементов	Шпиндель		Ведущая труба	
	Проходной	Не проходной	И звлекаемая из ротора	Неи звлекаемая из ротора
	Полый	Сплошной		
Соединение с бурильной колонной	Патроном	Резьбовое	Резьбовое или фланцевое	
Способ освобождения устья скважины	Отодвигание станка или поворот вращателя вокруг шарнира		Освобождение проходного отверстия ротора, отодвигание или поворот вокруг шарнира	

Основными параметрами вращателей буровых станков являются: тип вращателя, конструкция зажимных патронов, диапазон изменения скоростей вращения  $R = n_{\max}/n_{\min}$ ,

диапазон частот вращения (макс., мин., промежуточные), крутящий момент.

Вращатель шпиндельного типа: круглый шлицевой или шестигранный полый вал, механические или гидравлические зажимные патроны, запрессованная в коническую шестерню втулка, угловой редуктор (2 прямозубые шестерни).

Достоинства - простота конструкции, возможность бурения в породах любой прочности под различными углами к горизонту, наращивание инструмента без отрыва коронки от забоя, удобство конструктивного совмещения с механизмом подачи;

Недостатки - небольшой рабочий ход, ограничения в диам. бурильных труб, ограничения в диаметрах бурения.

Подвижный вращатель: редуктор с выходным валом, на конце которого хвостовик для соединения с бурильной колонной. Привод: от приводного вала через перемещающуюся по валу приводную шестерню; от индивидуального привода (ДВС, эл-р, гидродвигатель) с понижающим редуктором. Схема монтажа: на направляющих стойках мачты с перемещением лебедкой или механизмом подачи; на штоке или цилиндре гидравлического механизма подачи. По способу производства СПО: проходные (СПО с помощью механизма подачи или с помощью лебедки); непроходные при ходе подачи, равной длине свечи.

Преимущества: различные способы бурения, минимальные затраты времени и труда при наращивании бурового инструмента, спуск и подъем бурового снаряда с вращением, комплексная механизация СПО. Недостаток - сложность конструкции.

Роторный вращатель - стол с угловым коническим приводным редуктором и фигурной втулкой (с вкладышами), через которую вращение и крутящий момент передается ведущей трубе. Преимущества: простота конструкции и большой ход подачи. Недостатки: необходимость отрывать

инструмент от забоя при его наращивании, трудности при регулировании осевой нагрузки на малых глубинах, невозможность вращения инструмента при СПО, ограничение диаметра бурения диаметром проходного отверстия ротора.

$R = n_{max}/n_{min}$  - зависит от способа бурения, особенностей технологического процесса (свойств горных пород, конструкции скважин, типоразмера породоразрушающего инструмента, прочности бурового снаряда и пр.).

При алмазном бурении  $R = 10-12$ ,  $n_{min} = 100$  об/мин; при твердосплавном -  $R = 6-7$ ,  $n_{min} = 50-60$  об/мин; при ударно-вращательном -  $R = 4-5$ ,  $n_{min} = 20-30$  об/мин в плотных твердых породах и -  $n_{min} = 20-30$  для трещиноватых пород; для шнекового бурения -  $R = 2-2,5$ ,  $n_{min} = 80$  об/мин,  $n_{max} = 150-200$  об/мин; для бурения гидрогеологических и инженерно-геологических скважин -  $R = 3-4$ ,  $n_{min} = 60-100$  об/мин.

Регулирование скоростей вращения: ступенчатое - коробка перемены передач, бесступенчатое - регулируемый привод (гидравлический, электрический).

Преимущества регулируемого привода: снижение вибраций, улучшение условий приработки алмазных коронок, оптимизация режимов бурения, повышения эксплуатационных характеристик бурового оборудования и инструмента.

Конструктивные особенности и параметры механизмов подачи.

#### Классификация механизмов подачи

Тип подачи	Особенности конструкции			
	Элементы механизма подачи	Вид привода подачи	Элементы привода подачи	реп
Реечно-шестеренчатая	Зубчатая рейка и шестерня Кремальера	Ручной Механический Гидравлический		по

	Рейка Подвиж. Неподвиж.			
Винтовая я	Винт и гайка Подвиж. винт Подвиж. гайка Ведущие винт или гайка Правая или левая резьбы			
Поршневая вая	Поршень (плунжер) и цилиндр Подвижные поршень (цилиндр) 1 или 2 цилиндр.			
Цепная или канатная	Цепь, канат, на- правляющие ро- лики (звездочки) Замкнутая (разомкнутая) С полиспастом Без полиспаста			
Рычажно- шарнирная	Система шарнирно- связанных	Ручной Гидравл ический		

	рычагов			
--	---------	--	--	--

### 3.2. Технические средства для производства спуско-подъемных операций

Наряду с типом вращателя и механизма подачи принципиальная схема бурового станка зависит от способа и технических средств осуществления спуско-подъемных операций (табл. 12.1).

Таблица 3.3

Классификация способов осуществления спуско-подъемных операций

Особенности конструкции	Способ подъема и спуска				
	Лебедочный		Безлебедочный		
Основные рабочие механизмы	Лебедка	Кабестан	Экстрактор	Механизм подачи	
Устройства для захвата труб	Вертикальная пробка, элеваторы: кольцевой, полуавтоматический	Вертикальная пробка, фарштабель	Захваты: эксцентричный, кольцевой	Шпиндельный вращатель	Подвешивание вращателя
				Захваты: секторный, кольцевой	
Средства перемещения труб	Лебедка, манипулятор	Вручную			Манипулятор
Средства регулирования скорости спуска	Тормоза лебедки	Вручную	Трубодержатель, тормоза спуска		Механизм

Меха низация СПО	Тр уборазв орот	Ручн ые ключи	Ручные ключи, труборазворот	Ручные труборазворот,
Средс тва подвески КБТ	Подк ладные вилки, трубодерж атели	По дкладны е вилки,	Подкладные вилки, трубодержатели	

Лебедки буровых станков.

Буровые лебедки предназначены для спуска и подъема бурильных и обсадных труб, для регулирования подачи бурового инструмента на забой, для свинчивания и развинчивания бурильных труб, подтаскивания различных грузов, подъема различных грузов в процессе выполнения различных монтажно-демонтажных и других вспомогательных работ и т.д.

При ударном бурении лебедка является одним из основных технологических узлов буровой установки в процессе бурения скважин.

Лебедка должна иметь необходимую грузоподъемность (регламентируемую стандартом), достаточно широкий диапазон частот вращения барабана при навивке и разматыванию каната.

В современных станках для бурения геологоразведочных скважин наибольшее распространение получили планетарные одноступенчатые и двухступенчатые лебедки, барабаны которых жестко связаны с зубчатым венцом (схема механизма первого типа) или с водилом планетарного механизма (схема механизма второго типа). Основные элементы планетарного механизма: зубчатое колесо с неподвижной осью (центральное или солнечное), зубчатые колеса с подвижными осями (сателлиты), зубчатый венец и звено, на котором установлены подвижные оси сателлитов



(водило). Привод лебедки осуществляется от солнечного колеса, жестко связанного с валом барабана лебедки, к сателлитам, свободно насаженным на подшипниках оси водила, а от сателлитов к зубчатому венцу, жестко связанному с барабаном лебедки. Вращение барабана происходит при фиксированном положении осей сателлитов, осуществляемым торможением водила. В этом случае планетарный механизм превращается в обыкновенный редуктор с неподвижными осями и промежуточными шестернями-сателлитами.

Применение в буровых станках планетарных механизмов объясняется их компактностью, небольшой массой, возможностью оперативного обеспечения, как подъема, так и спуска бурового снаряда на разных скоростях с помощью тормоза венца и тормоза водила, т.е. без реверсирования приводного двигателя. Нагрузка на лебедку равномерно распределяется между несколькими сателлитами с рациональным использованием внутреннего зацепления зубчатых колес. Кроме того, планетарные передачи отличаются высокой надежностью, малыми потерями на трение, т.е. высоким КПД (до 0,90-0,98), хорошими виброакустическими свойствами (небольшими вибрациями и слабым шумом) и способностью обеспечивать довольно большие передаточные отношения (до 9 для одноступенчатых и до 100 для двухступенчатых механизмов).

В буровых станках широкое применение получили двухколочные тормоза, которые создают небольшие изгибающие нагрузки на тормозной вал, а также ленточные тормоза простого и реже дифференциального действия.

### 3.4 Буровые насосы

Буровые насосы - машины для обеспечения циркуляции промывочной жидкости и ГЖС (очистного агента) в системе буровой снаряд-скважина.

Требования к буровым насосам для бурения геологоразведочных скважин.

#### 1. Функциональные требования:

а) соответствие технических параметров технологическим требованиям промывки скважин при бурении;

б) стабильность подачи независимо от изменения давления в циркуляционной системе;

в) плавное или ступенчатое регулирование подачи в требуемых пределах;

г) достаточная всасывающая способность (способность к самовсасыванию с уровня 3-4 м ниже уровня установки насоса);

д) минимальная пульсация потока (давление, скорость);

е) универсальность по отношению к типу перекачиваемой среды.

#### 2. Эксплуатационные требования:

а) минимальное значение массы на единицу гидравлической (приводной) мощности, небольшие габариты и высокий КПД;

б) минимальное количество быстроизнашиваемых деталей и узлов и, прежде всего, в гидравлической части;

в) высокая степень унификации и ремонтпригодности;

г) возможность автоматизации при соблюдении правил ТБ и промсанитарии.

Таблица 12.2

Классификация поршневых буровых насосов

Тип вытеснителей		Поршневой	Плунжерный
Исполнение вытеснителей		Горизонтальное	Горизонтальное, вертикальное
Кратность действия		Одинарного, двойного	Одинарного
Схема гидроблоков		Прямоточная, не прямоточная	
Способ приведения в действие		Прямодействующие, приводные	Приводные
Регулирование подачи	Ступенчатое	Сменой втулок цилиндра, плунжера Изменение числа ходов Изменение длины хода	
	Бесступенчатое	Изменение числа ходов Изменение длины хода	
Тип привода		Электрический Двигатель внутреннего сгорания Гидравлический	

Наиболее полно отвечает этим требованиям насосы поршневого типа, которые и получили широкое распространение при бурении. Центробежные, винтовые, шестеренчатые, ротационные, вибрационные и другие типы насосов используются только для выполнения вспомогательных операций (приготовление растворов, работа в гидравлических системах и в специальных снарядах и пр.). В настоящее время на смену широко распространенным поршневым насосам приходят плунжерные насосы с горизонтальным расположением вытеснителей и прямолинейной системой гидроблоков

Современные буровые установки оснащены средствами механизации спускоподъемных и вспомогательных операций (труборазворотами, гидропатронами, автоперехватами, полуавтоматическими элеваторами, свечуекладчиками и т.д.),

а также приборами контрольно-измерительного комплекса (индикаторами осевой нагрузки, частоты вращения, частоты ударов забойных машин, ограничителями крутящего момента, расходомерами, манометрами, ваттметрами и пр.). Все это обеспечивает повышение производительности труда и создает основу для оптимизации управления процессом бурения. Дальнейшего повышения производительности разведочного бурения следует ожидать от разработок и внедрения буровых установок с плавно регулируемым приводом и подвижным вращателем. Плавно регулируемый привод станков по сравнению со ступенчатым регулированием скоростей обеспечивает оптимальную частоту вращения бурового снаряда, более полное использование мощности привода, как в процессе бурения, так и при проведении спускоподъемных операций, и повышает КПД станка за счет отказа от коробки передач. Плавно регулируемый привод может быть электрическим (УКБ-7) и гидравлическим. Перспективы гидропривода тесно связаны с разработкой станков с подвижным вращателем, величина хода которого (до 6 м) несколько превышает длину колонкового набора и бурильной трубы, что позволяет исключить операции по перекреплению шпинделя и наращиванию инструмента в течение рейса, снизить вибрации верха бурильной колонны и механизировать свинчивание и развинчивание труб.

В настоящее время на смену широко распространенным при разведочном бурении поршневым насосам приходят насосы плунжерного типа с горизонтальным расположением вытеснителей (плунжеров), позволяющие стабильно подавать промывочную жидкость при высоких давлениях. Плунжерные насосы типа НБ (пять типоразмеров) становятся основными при колонковом бурении, поршневые насосы типа ГР еще используются при бескерновом бурении долотами большого диаметра.

Для спускоподъемных операций при бурении вертикальных и наклонных скважин используются деревянные трех - и четырехногие вышки и металлические мачты. Конструктивно буровая мачта отличается от буровой вышки только тем, что ее талевая система (кронблок, талевый блок и канат) полностью или частично находятся за пределами контура несущих конструкций. Передвижные буровые мачты по сравнению с вышками позволяют сократить затраты времени и средств на выполнение монтажно-демонтажных, транспортных и вспомогательных работ. Широкое практическое применение получили буровые мачты типа ИРЛУ, созданные в ИГО "Уралгеология", типа МНЕ (ПГО "Оренбурггеология"), мачты типа БМ-2 и БМТ, входящие в состав буровых установок ЗИФ-1200МР, УКБ-4, УКБ-5 и УКБ-7. Высота вышек и мачт зависит от глубины скважины и обычно составляет 12, 14, 15, 18, 22-26 и 32 м, рабочая грузоподъемность от 8 до 50 т.

#### 4. Особенности ударно-вращательного и вращательно-ударного бурения разведочных скважин

В отечественной и зарубежной практике все более широко используется бурение скважин различного назначения в породах средней и высокой твердости, а также по многолетнемерзлым породам (в т.ч. и по россыпям) с применением поверхностных и забойных ударных механизмов. В нашей стране эти способы впервые в мировой практике стали применяться при колонковом бурении на твердые полезные ископаемые с использованием малогабаритных погружных гидроударников.

Эффективность применения этих способов обеспечивается за счет:

а) увеличения количества подводимой к забою энергии, генерируемой забойной машиной в виде ударных импульсов различной силы и частоты;

б) интенсификации процесса разрушения горной породы и уменьшения удельной энергоемкости разрушения крепких пород при динамическом характере прилагаемой к ним нагрузки.

Бурение осуществляется с применением серийных буровых установок, передвижных компрессоров, стандартных и специальных бурильных колонн, погружных (забойных) гидро- и пневмоударных машин, специальных твердосплавных (ударно-вращательное) и серийных алмазных и твердосплавных коронок и шарошечных долот (вращательно-ударное). Объемы бурения ударно-вращательным способом достигали 1 млн. м, а вращательно-ударным способом - 2 млн. м.

Каждый из двух перечисленных комбинированных способов бурения скважин характеризуется конкретным механизмом разрушения горной породы на забое скважины, технологическими параметрами режима бурения и

особенностями конструкции бурового инструмента и в первую очередь породоразрушающего.

Ударно-вращательное бурение характеризуется разрушением забоя под действием ударных нагрузок в результате скалывания и дробления породы. Образующиеся выступы породы на забое срезаются при движении инструмента по касательной к поверхности разрушения. Энергия единичного удара при этом достигает 50-250 Дж, частота ударов и частота вращения инструмента должны обеспечивать в зависимости от твердости пород создания расстояния в 5-7 мм между насечками от последовательных ударов. Осевая нагрузка при этом имеет вспомогательное значение, обеспечивая только плотный постоянный контакт инструмента с забоем. Породоразрушающий инструмент армируется крупными вставками твердого сплава с углом заострения при вершине 90-110°, с отрицательным передним углом 30-45° (для энергии удара 60-80 Дж) и клиновыми или сферическими вставками (для энергии удара 80-250 Дж).

Вращательно-ударное бурение осуществляется главным образом за счет суммарного воздействия статических, постоянно действующих осевой нагрузки и крутящего момента, в результате которых происходит резание, смятие, раздавливание или истирание породы на забое скважины. Периодически действующие динамические нагрузки обеспечивают разупрочнение породы и создание в ней дополнительных усталостных напряжений. Способ характеризуется высокими осевыми нагрузками и частотами вращения снаряда (близкими к их значениям при вращательном бурении) и невысокой энергией единичного удара и относительно высокими частотами ударов (не менее 40 Гц). Вставки породоразрушающего инструмента имеют нулевые или положительные углы резания.