

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

## **БУРЕНИЕ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН**

Пособие по специальности

011100 геология

080100 геологическая съемка, поиски и разведка  
месторождений полезных ископаемых

Воронеж  
2004

Утверждено научно-методическим советом геологического факультета  
ВГУ  
18 марта 2004 г, протокол №

Составители: Стрик Ю.Н; Ильяш В.В

Пособие подготовлено на кафедре полезных ископаемых и недропользования геологического факультета Воронежского государственного университета  
Рекомендуется для студентов 2 курса специальности 0111 00 «геология» дневного отделения и 3 курса специальности 080100 «геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» заочного отделения изучающих дисциплину «техника разведки».

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### ВВЕДЕНИЕ

- 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БУРЕНИИ СКВАЖИН**
  - 1.1. Основные технические понятия, целевое назначение скважин
  - 1.2. Производственные операции бурения
  - 1.3. Основные технологические понятия и показатели бурения
- 2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС БУРЕНИЯ**
  - 2.1. Классификация горных пород по степени связности
  - 2.2. Буримость и классификация горных пород по буримости
- 3. КОЛОНКОВОЕ БУРЕНИЕ**
  - 3.1. Общие сведения
  - 3.2. Общая схема колонкового бурения
  - 3.3. Инструмент колонкового бурения
- 4. КОНСТРУКЦИЯ КОЛОНКОВЫХ СКВАЖИН**
- 5. БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ**
- 6. ПРОМЫВКА БУРОВЫХ СКВАЖИН**
  - 6.1. Промывка скважин
  - 6.2. Основные типы промывочной жидкости и условия применения
  - 6.3. Назначение глинистых растворов и их свойства
  - 6.4. Методы измерения свойств промывочных растворов
- 7. ТЕХНОЛОГИЯ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ**
- 8. ТАМПОНИРОВАНИЕ СКВАЖИН**
  - 8.1. Производство работ по цементированию скважины при помощи двух пробок
  - 8.2. Расчет цементирования скважин способом двух пробок
  - 8.3. Ликвидационный тампонаж скважины

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие имеет цель помочь студентам, обучающимся по специальности освоить один из двух разделов дисциплины «Техника разведки», который называется «Бурение разведочных скважин». Бурение скважин является одним из важнейших технических способов решения многих геологических задач на самых различных стадиях и этапах изучения и освоения недр. Выпускник геологического факультета ВГУ не буровик, но о скважинах и технологии бурения должен знать не меньше, а в некоторых случаях и больше технических исполнителей сложного производственного процесса, каковым является бурение скважин, особенно глубоких. Именно геолог ставит задачи, которые должны быть решены бурением, геолог проектирует конструкцию скважины, выбирает наиболее рациональный комплекс технических средств и технологических способов, которые позволят получить искомый результат с наименьшими затратами. В геологоразведочном деле бурение скважин чаще всего преследует цель вскрыть рудное тело, залегающее на глубине. Поэтому, задавая с поверхности земли все начальные параметры бурения скважины, должен учитывать всю совокупность геологических, технических и технологических факторов, влияющих на процесс бурения, чтобы скважина выполнила свое предназначение.

В настоящее время бурение скважин, многоцелевое производство и современная промышленность предлагает большой выбор технических средств и технологий, в которых требуется разбираться, чтобы принять правильное решение. В условиях рыночной экономики и жесткой конкуренции между недропользователями к специалистам геологам предъявляются соответствующие требования, так как от его квалификации и знаний, порой на уровне интуиции, может зависеть успех всего предприятия.

Данное пособие будет полезным студентам и при изучении лекционного материала, и при выполнении заданий лабораторного практикума, и в процессе прохождения учебной буровой практики.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БУРЕНИИ СКВАЖИН

Буровая скважина проходит сквозь толщу горных пород, для того чтобы добраться до желаемого объекта – залежи рудного тела, нефти, газа, водоносного горизонта и т.д. Таким образом, скважина это искусственная выемка в горном массиве пород. В то же время, имеются близкие по назначению, но иной формы выемки – горные выработки (шахты, штольни, карьеры), от которых скважина существенно отличается наименьшим объемом выемки на глубину проходки. В этом смысле она наиболее экономичная и самая быстрая по достижению объекта вскрытия. В поперечном сечении скважина имеет форму круга, так как бурение осуществляется обычно способом вращения, при этом диаметр круга очень мал по сравнению с длиной скважины это первые сантиметры, реже десятки сантиметров при глубине бурения в сотни метров и даже несколько километров.

Бурение, особенно глубокое - достаточно сложное производство, требующее применения специальных технических средств, которые в комплексе именуют буровой установкой. В нее входят следующие главные узлы: буровая вышка (или мачта), энергетическое оборудование или силовой привод – двигатель, буровой станок и буровой насос. В зависимости от способа бурения и конструкции установки подразделяются на вращательные, ударные, вибрационные, турбинные и др. По способу транспортировки они также подразделяются на стационарные, передвижные, самоходные и переносные.

### 1.1. Основные технические понятия, целевое назначение скважин

*Диаметр скважины* определяется диаметром породоразрушающего

инструмента и изменяется в пределах от 16 до 1500 мм.

*Длина ствола скважины* - это расстояние от устья до забоя скважины, измеренное по ее осевой линии. Глубина скважины это разница между отметками устья и забоя по шкале глубин (ось z). Достигает 12500 м.

Элементы скважины:

*Устье скважины* – начало скважины, то есть место пересечения ее с земной поверхностью или с поверхностью горной выработки.

*Забой скважины* – дно скважины

*Стенки скважины* – боковые поверхности скважины.

*Ствол скважины* – пространство в недрах, занимаемое скважиной.

По способу разработки забоя бурение разделяется на *бескерновое* и *колонковое* (рис. 1.1.).

Бескерновое бурение – бурение, при котором горная порода разрушается на всей площади забоя. Колонковое бурение – бурение, при котором горная порода разрушается по кольцевому забою с сохранением керна. Керн – колонка горной породы, образующаяся в результате кольцевого разрушения забоя скважины.

Основные размеры скважины – диаметры интервалов бурения в мм; диаметры наружные и внутренние колонн обсадных труб в мм; глубина интервалов скважины от устья до забоя в м; общая глубина и длина скважины от устья до забоя в м.

Пространственное расположение буровой скважины определяется: 1) координатами устья  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ; 2) направлением скважины; 3) углом наклона скважины; 4) азимутом скважины; 5) глубиной (рис. 1.2.).

По направлению бурения скважины, форме ствола и их количеству скважины делятся на следующие группы: 1- вертикальные; 2- наклонные; 3- горизонтальные; 4- восстающие; 5- искривленные; 6- многоствольные.

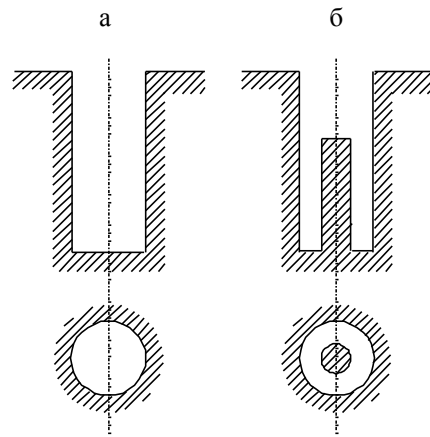


Рис. 1.1. Забои скважин вращательного бурения:  
а - сплошной; б - кольцевой

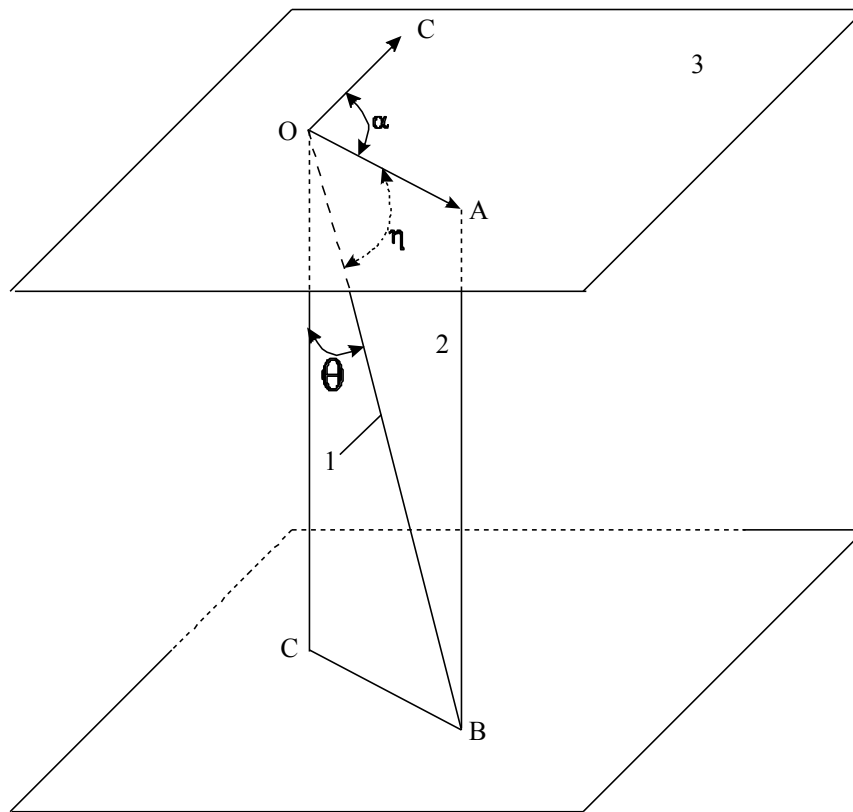


Рис. 1.2. Пространственное расположение скважин:  
1 - ось скважины; 2 - плоскость зенитного угла; 3 - горизонтальная плоскость;  
 $\alpha$  - азимутальный угол;  $\theta$  - зенитный угол;  $\eta$  - угол наклона скважины;  
OC - направление на север; OA - азимут забуривания скважины;  
O - устье скважины; B - забой скважины

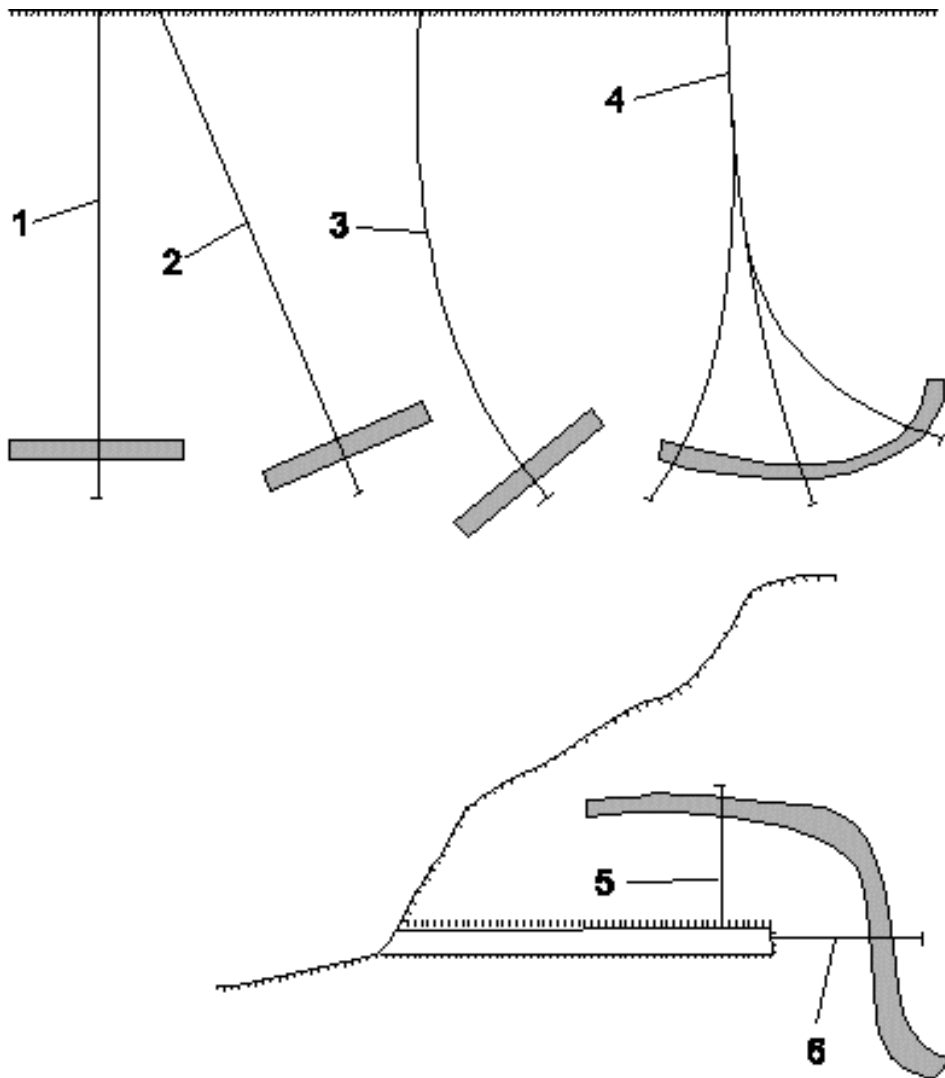


Рис. 1.3. Типы скважин по направлению бурения, форме ствола и их количеству: 1-4 - с поверхности Земли; 1- вертикальные; 2- наклонные; 3- искривленные; 4- многоствольные; 5-6 - из подземной горной выработки 5- восстающие; 6- горизонтальные

*Буровой установкой* называется комплекс, состоящий из буровой вышки (или мачты), бурового и энергетического оборудования, необходимых при бурении скважин. В зависимости от способа бурения буровые установки подразделяются на вращательные, ударные, вибрационные и др. В зависимости от транспортных средств подразделяются на стационарные, передвижные, самоходные и переносные:

По целевому назначению буровые скважины делятся на три основные группы: геологоразведочные, эксплуатационные и технические.



## 1 – Геологоразведочные скважины :

- Картировочные
- Поисковые
- Разведочные
- Гидрогеологические
- Инженерно-геологические
- Сейсмические
- Структурные
- Опорные
- Параметрические

## 2 – Эксплуатационные скважины :

- Водозаборные
- Нефтяные и газовые
- Скважины подземной газификации углей
- Скважины для добычи рассолов
- Геотехнологические скважины

## 3 – Технические скважины:

- Взрывные скважины
- Стволы шурфов и шахт
- Другие

### 1.2. Производственные операции бурения

Бурение как производственный процесс состоит из ряда последовательных операций,

1. Транспортирование буровой установки на точку бурения;
2. монтаж буровой установки;
3. Собственно бурение (проходка ствола скважины), которое включает в себя:
  - а) чистое бурение, т. е. непосредственное разрушение горной по-

- роды породоразрушающим инструментом на забое скважины;
- б) очистка забоя от разрушенной породы и транспортирование ее от забоя до устья скважины. При бурении с промывкой или продувкой, а также при бурении шнеками эта операция совмещается с основной — чистым бурением;
- в) спуско-подъемные операции осуществляются для замены износившегося породоразрушающего инструмента и для подъема керна (образцов пород).
4. Крепление стенок скважины в неустойчивых породах, т. е. способных к обрушения (трещиноватые, слабосвязанные, рыхлые, сыпучие и плывуны), что может производиться двумя способами:
- а) крепление спуском в скважину обсадных колонн труб, что требует остановки бурения;
- б) крепление промывочными жидкостями, закрепляющими стенки скважины, производимое одновременно с бурением
5. Испытания и исследования в скважине (измерение искривления, каротаж и др.
6. Тампонирувание скважин с целью разобщения и изоляции водоносных пластов с разным химическим составом вод или с целью изоляции водоносного пласта от нефтегазоносного.
7. Установки фильтра и водоподъемника в гидрогеологической скважине и производство гидрогеологических исследований (замеры уровня воды в скважине, отборы проб воды, определение дебита скважины с помощью пробных откачек).
8. Предупреждение и ликвидация аварий в скважине.
9. Извлечение обсадных труб и ликвидация скважины после выполнения задачи (ликвидационный тампонаж).
10. Демонтаж буровой установки и перемещение на новую точку бурения
- Перечисленные рабочие операции бурения являются последователь-

ными, т. е. могут выполняться по- следовательно одной и той же бригадой.

При необходимости бурения нескольких скважин и при наличии резервных буровых установок с целью ускорения разведочных работ некоторые рабочие операции могут быть параллельными, т. е. выполняться двумя или несколькими специализированными бригадами. Так, например, буровая бригада выполняет собственно бурения и крепление скважины; монтажные бригады занимаются только транспортированием, монтажом, демонтажем буровых установок, ликвидационным тампонажем скважин; каротажная бригада занимается только каротажем и т. п.

### 1.3 Основные технологические понятия и показатели бурения

*Показателями бурения* называются параметры, характеризующие количество и качество результатов проходки скважин. Главнейшими из них являются: скорость, стоимость 1 м пробуренной скважины, процент выхода керна, направление ствола скважины и др.

*Режимом бурения* называется сочетание параметров, которые могут изменяться бурильщиком.

Так, например, при вращательном бурении основными параметрами режима бурения являются: 1) осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент; 2) частота вращения бурового снаряда;

3) качество очистного агента (воды, бурового раствора или сжатого воздуха); 4) объемный расход, т. е. объем в единицу времени очистного агента.

Различают следующие разновидности режимов бурения: оптимальный и специальный.

*Оптимальным режимом бурения* называется сочетание параметров режима бурения, обеспечивающих максимальную скорость бурения в данных геолого-технических условиях при данном типоразмере породоразрушающего инструмента и при обеспечении требуемых качественных пока-

зателей: надлежащего направления ствола скважины и высокого выхода керна.

*Специальным режимом бурения* называется сочетание специальных технологических задач. Например, взятие керна полезного ископаемого с помощью специальных технических средств, выпрямление ствола скважины, искусственное искривление скважины в заданном направлении и др. В этом случае величина скорости бурения имеет подчиненное значение.

*Рейсом бурения* называется комплекс работ, затраченных на выполнение следующих рабочих операций: 1) спуск бурового снаряда в скважину; 2) чистое бурение, т. е. углубление скважины (основная операция); 3) подъем бурового снаряда из скважины.

## **2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС БУРЕНИЯ**

Горные породы классифицируются по разным признакам. По происхождению они делятся на: магматические или изверженные; (глубинные и излившиеся); осадочные (механические или обломочные, хемогенные, органические); метаморфические, образовавшиеся из магматических и осадочных пород на больших глубинах под действием высоких давлений и температур. Для бурения важны физико-механические свойства горных пород, которые определяют сопротивляемость породы разрушению, а, следовательно, производительность и затраты. Физические свойства горных пород характеризуют их физическое состояние. Из всего разнообразия физических свойств пород прямо или косвенно влияют на процесс бурения следующие: минеральный состав, степень связности, пористость, плотность, удельный вес, структура, текстура, зернистость.

Механические свойства горных пород являются внешним проявлением физических и выражаются в способности оказывать сопротивление деформированию и разрушению. К ним относятся: прочность, крепость, динами-

ческая прочность, твердость, упругость, хрупкость, пластичность, абразивность и др. В целом, изверженные породы наиболее прочные, за ними следуют метаморфические, потом осадочные, хотя и здесь не без исключений. На прочность пород оказывает существенное влияние степень их выветривания. Есть гранит, а есть выветренный гранит, прочность второго намного ниже.

Изучение физико-механических свойств горных пород необходимо 1) для выбора способа бурения и наиболее производительных типов породоразрушающих инструментов; 2) для разработки рациональной технологии бурения и крепления стенок скважины; 3) для расширения геологической изученности района работ. Особое внимание уделяют исследованию физико-механических свойств керна из опорных скважин, так как результаты этого изучения используются при составлении проектов бурения новых скважин..

## 2.1 Классификация горных пород по степени связности

По степени связности горные породы разделяются на четыре основные группы: скальные, связные, рыхлые (сыпучие) и плавучие. Скальные породы характеризуются различной, обычно высокой твердостью, обусловленной наличием между минеральными зернами молекулярных сил сцепления, которые после разрушения породы не восстанавливаются. Скальные породы по содержанию кварца разделяются на кварцсодержащие и бескварцевые. Первые характеризуются большей твердостью и абразивностью. Связные породы отличаются от скальных меньшей прочностью. Обычно это некоторые типы осадочных пород, в которых обломочный материал связан цементирующей массой иного состава или структуры. К ним, например, относятся различные песчаники. Рыхлые породы (сыпучие) представляют собой механическую смесь частиц минералов или пород, не связанных между собой. Плавучие породы обладают способно-

стью к течению, это обычно разжиженные водой пески (плывуны), но к течению способны породы и в твердом состоянии, например лед.

## 2.2 Буримость и классификация горных пород по буримости

Буримостью называется сопротивление горной породы проникновению в нее породоразрушающего инструмента. Буримость является комплексной функцией, зависящей, во-первых, от механических и абразивных свойств горных пород, во-вторых, от применяемой техники и технологии бурения, а именно: способа, типа и площади разрушения. Буримость является одним из основных факторов, определяющих производительность труда в процессе бурения скважин.

Для вращательного колонкового бурения все горные породы разделены на двенадцать категорий по возрастающей трудности бурения. Критерием отнесения к той или иной категории является механическая скорость бурения при стандартных условиях. Определить точно только визуально категорию породы по величине механической скорости бурения в производственных условиях не всегда представляется возможным. Тем не менее, это обычно и практикуется при документации керна. При таком визуальном и субъективном способе не исключаются неточности в отнесении породы к той или иной категории, и здесь важен опыт геолога. Буримость зависит от способа бурения. Поэтому для разных способов бурения разработаны свои классификации горных пород по буримости, в которых горные породы сгруппированы в категории в зависимости от показателя буримости. Ниже приводится классификация пород по их буримости при колонковом способе. За критерий отнесения породы к соответствующей категории принята углубка скважины за 1 час чистого времени бурения. Скорость проходки пород I категории составляет 20-30 м/час; XII категории – 5-10 см/час.

Таблица 2.1

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

Категория пород	Горные породы, типичные для каждой категории
I	Торф и растительный слой без корней; рыхлые: лесс, пески (не плавунуны), супеси без гальки и щебня; ил влажный и иловатые грунты; суглинки лессовидные; трепел: мел слабый
II	Торф и растительный слой с корнями или с небольшой примесью мелкой (до 3 см) гальки и щебня; супеси и суглинки с примесью до 20% мелкой (до 3 см) гальки или щебня; пески плотные; суглинок плотный; лесс; мергель рыхлый; плавун без напора; лед; глины средней плотности (ленточные к пластичные); мел; диатомит; сажи; каменная соль (галит); нацело каолинизированные продукты выветривания изверженных и метаморфизованных пород; железная руда охристая
III	Суглинки и супеси с примесью свыше 20% мелкой (до 3 см) гальки или щебня; лесс плотный; дресва; плавун напорный; глины с частыми прослоями (до 5 см) слабосцементированных песчаников и мергелей, плотные, мергелистые, загипсованные, песчанистые; алевролиты глинистые слабосцементированные; песчаники, слабосцементированные глинистым и известковистым цементом; мергель; известняк-ракушечник; мел плотный; магнезит; гипс тонкокристаллический, выветренный; каменный уголь слабый; бурый уголь; сланцы тальковые, разрушенные всех разновидностей; марганцевая руда; железная руда окисленная, рыхлая; бокситы глинистые
IV	Галечник, состоящий из мелких галек осадочных пород; мерзлые водонесные пески, ил, торф; алевролиты плотные глинистые; песчаники глинистые; мергель плотный; не-1г <sup>т</sup> от1'ыч известняки и доломиты; магнезит плотный; пористые известняки, туфы; опоки глинистые; гипс кристаллический; ангидрит; калийные соли; каменный уголь; бурый уголь крепкий; каолин (первичный); сланцы глинистые, песчано-глинистые, горючие, углистые, алевролитовые; серпентиниты (змеевики) сильно выветренные и оталькованные; неплотные скарны хлоритового и ам-фибол-слюдистого состава; апатит кристаллический; сильно выветренные дуниты, перидотиты; кимберлиты, затронутые выветриванием; мартиновые и им подобные руды, сильно выветренные; железная руда мягкая вязкая; бокситы
V	Галечно-щебенистые грунты; галечник мерзлый, связанный глинистым или песчано-глинистым материалом с ледяными прослойками; мерзлые; песок крупнозернистый и дресва, ил плотный, глины песчанистые, песчаники на известковистом и железистом цементе; алевролиты; аргиллите; глины аргиллитоподобные, весьма плотные, плотные сильно песчанистые; конгломерат осадочных пород на песчано-глинистом или другом пористом цементе; известняки; мрамор; доло-

	миты мергелистые; ангидрит весьма плотный; опоки пористые выветренные; каменный уголь твердый; антрацит, фосфориты желваковые; сланцы глинисто-сланцевые, слюдяные, тальково-хлоритовые, хлоритовые, хлорито-глинистые, серицитовые; серпентиниты (змеевики); выветренные альбитофиры, кератофиры; туры серпентинизированные вулканические; дуниты, затронутые выветриванием; кимберлиты брекчиеведные; мартитовые и юл подобные руды, неплотные
VI	Ангидриты плотные, загрязненные туфогенным материалом; глины плотные мерзлые: глины плотные с прослоями доломита и сидеритов; конгломерат осадочных пород на известковистом цементе; песчаники полевошпатовые, кварцево-известковистые; алевролиты с включениями кварца; известняки плотные доломитизированные, скарированные; доломиты плотные; опоки; сланцы глинистые, кварцево-серицитовые, кварцево-сланцевые, кварцево-хлоритовые, кварцево-хлорито-серицитовые, кровельные; хлоритизированные и рассланцованные альбитофиры, кератофиры, порфириды; габбро; аргиллиты слабо окремненные; дуниты, не затронутые выветриванием; перидотиты, затронутые выветриванием; амфиболиты; пироксениты крупнокристаллические; тальково-карбонатные породы; апатиты, скарны эпидотокальцитовые; колчедан сыпучий; бурые железняки ноздреватые; гематито-мартитовые руды; сидериты
VII	Аргиллиты окремненные; галечник изверженных и метаморфических пород (речник); щебень мелкий без валунов; конгломераты о галькой (до 50%) изверженных пород на песчано-глинистом цементе; конгломераты осадочных пород на кремнистом цементе; песчаники кварцевые; доломиты весьма плотные; окварцованные полевошпатовые песчаники, известняки; опоки крепкие плотные; фосфоритовая плита; сланцы слабо окремненные; амфибол-магнетитовые, куммингтонитовые, роговообманковые, хлоритороговообманковые; слабо рассланцованные альбитофиры, кератофиры, диабазовые туфы; затронутые выветриванием: порфиры, порфириды; крупно- и среднезернистые, затронутые выветриванием граниты, сиениты, диориты, габбро и другие изверженные породы; пироксениты, пироксениты рудные; кимберлиты базальтоподобные; скарны кальцитосодержащие авгито-гранатовые; кварцы пористые (трещиноватые, ноздреватые, охристые); бурые железняки ноздреватые пористые; хромиты; сульфидные руды; мартито-сидеритовые и гематитовые руды; амфибол-магнетитовая руда
VIII	Аргиллиты кремнистые; конгломераты изверженных пород на известковистом цементе; доломиты окварцованные; окремненные известняки и доломиты; фосфориты плотные пластовые; сланцы окремненные: кварцево-хлоритовые, кварцево-серицитовые, кварцево-хлорито-эпидотовые, слюдяные; гнейсы; среднезернистые альбитофиры и кератофиры; базальты выветренные; диабазы; андезиты} диориты, не затронутые выветриванием; лабрадориты; перидотиты; мелкозернистые, затронутые выветриванием граниты, сиениты, габбро; затронутые выветриванием гранито-гнейсы, пегмати-



	ты, кварцево-турмалиновые породы; скарны крупно- и среднезернистые кристаллические авгито-гранатовые, авгито-эпидотовые; эпидозиты; кварцево-карбонатные и кварцево-баритовые породы; бурые железняки пористые; гидро-гематитовые руды плотные; кварциты гематитовые, магнетитовые; колчедан плотный; бокситы диаспоровые
IX	Базальты, не затронутые выветриванием; конгломераты изверженных пород на кремнистом цементе; известняки карстовые; кремнистые песчаники, известняки; доломиты кремнистые; фосфориты пластовые окремненные; сланцы кремнистые; кварциты магнетитовые и гематитовые тонкополосчатые, плотные мартито-магнетитовые; роговики амфибол-магнетитовые и серицитизированные; альбитофиры и кератофиры; трахиты; порфиры окварцованные; диабазы тонкокристаллические; туфы окремненные; ороговикованные; затронутые выветриванием липариты, микрограниты; крупно- и среднезернистые граниты, гранито-гнейсы, гранодиориты; сиениты; габбро-нориты; пегматиты; березиты; скарны мелкокристаллические авгито-эпидото-гранатовые; датолито-гранатогеденбергитовые; скарны крупнозернистые, гранатовые; окварцованные амфиболит, колчедан; кварцево-турмалиновые породы, не затронутые выветриванием; бурые железняки плотные; кварцы со значительным количеством колчедана; бариты плотные
X	Валунно-галечные отложения изверженных и метаморфизованных пород; песчаники кварцевые сливные; джеспилиты; затронутые выветриванием, фосфатно-кремнистые породы; кварциты неравнозернистые; роговики с вкрапленностью сульфидов; кварцевые альбитофиры и кератофиры; липариты; мелкозернистые граниты, гранито-гнейсы и гранодиориты; микрограниты; пегматиты плотные, сильно кварцевые; скарны мелкозернистые гранатовые, датолито-гранатовые; магнетитовые и мартитовые руда, плотные, с прослойками роговиков; бурые железняки окремненные; кварц жильный; порфириты сильно окварцованные и ороговикованные
XI	Альбитофиры тонкозернистые, ороговикованные; джеспилиты, не затронутые выветриванием; сланцы яшмовидные кремнистые; кварциты; роговики железистые, очень твердые; кварц плотный; корундовые породы; джеспилиты гематито-мартитовые и гематито-магнетитовые
XII	Совершенно не затронутые выветриванием монокристаллические джеспилиты, кремль, яшмы, роговики, кварциты, эгириновые и корундовые породы

Как видно из таблицы, для отнесения породы к той или иной категории по буримости к ее названию дополнительно даются несколько определений, уточняющих свойства и состояние пород.

### 3. КОЛОНКОВОЕ БУРЕНИЕ

#### 3.1 Общие сведения

Колонковое бурение является основным техническим способом разведки месторождений твердых полезных ископаемых. Оно также широко применяется при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях и при структурно-картировочных изысканиях нефтяных и газовых месторождений. Кроме того, это бурение применяется для различных инженерных целей. Колонковым способом могут буриться шурфы и разведочные шахты. Колонковое бурение получило столь большое распространение по следующим причинам.

1. Оно позволяет извлекать из скважины столбики породы — керны, по которым можно составить геологический разрез месторождения и опробовать полезное ископаемое.

2. Колонковым способом можно бурить скважины под различными углами к горизонту, различными породоразрушающими инструментами в породах любой твердости и устойчивости. Из подземных выработок можно бурить восстающие скважины.

3. Бурить скважины малых диаметров на большую глубину, применяя относительно легкое оборудование.

#### 3.2. Общая схема колонкового бурения

Бурение скважины начинается с подготовки подъездных путей и площадки для буровой установки. Перед началом бурения на месте заложения запроектированной скважины разравнивается площадка, выкапываются ямы под емкости для промывочной жидкости и под фундаменты и собирается буровая вышка 14 с буровым зданием 15. В вышке монтируются в требуемом направлении буровой станок 7, буровой насос 18, электро-

двигатели 19 для привода станка и насоса (рис.3.1). При отсутствии электроэнергии станок и насос приводятся в действие через соответствующую трансмиссию от двигателя внутреннего сгорания (ДВС)

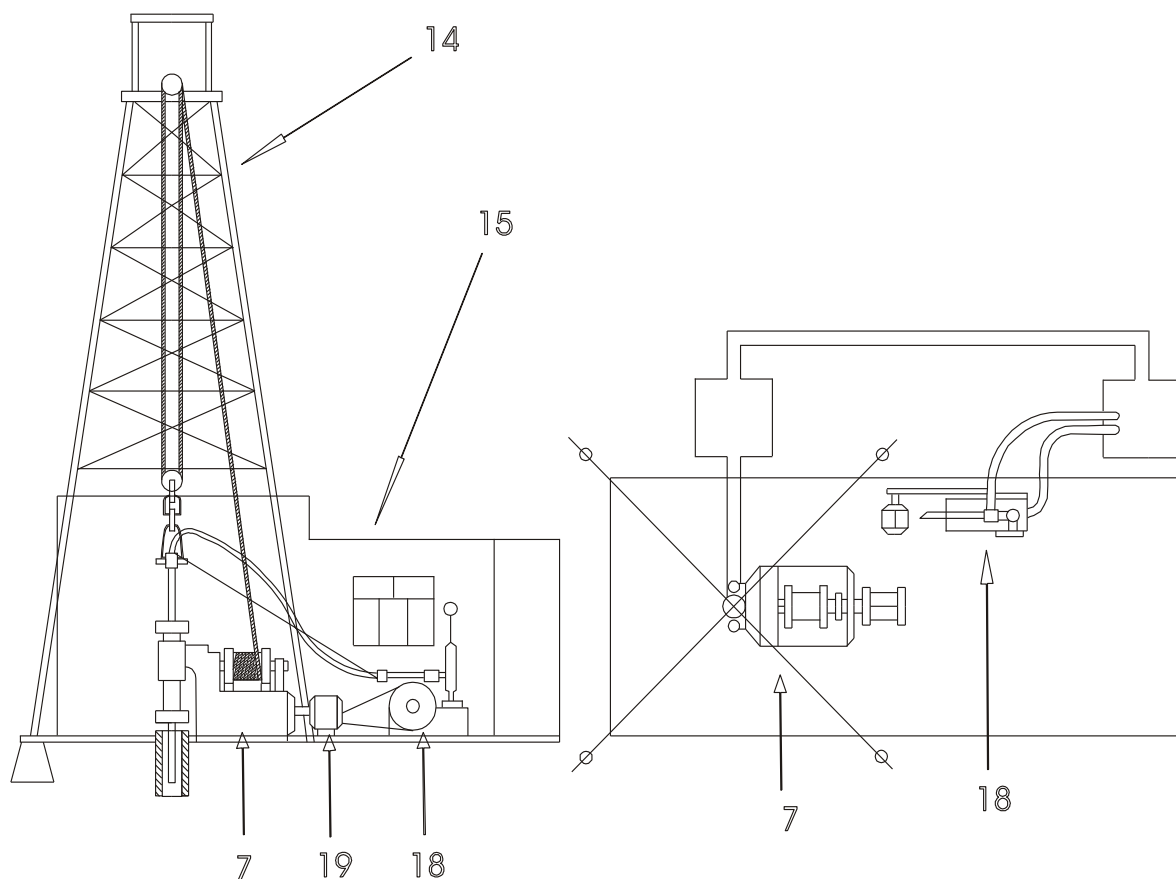


Рис.3.1 Схема бурового агрегата

После монтажа буровой установки и проверки ее работы производится забуривание скважины в заданном направлении, после чего устье скважины закрепляется направляющей трубой. Все части бурового снаряда соединяются друг с другом при помощи резьбовых (герметичных) соединений. Верхняя ведущая бурильная труба пропускается сквозь шпindelь вращателя бурового станка, закрепляется в зажимном патроне, затем.. на нее навинчивается буровой сальник.

Одновременно оборудуется система для очистки бурового раствора от частиц разбуренной породы. Для охлаждения коронки, очистки забоя от разрушенной породы и выноса на поверхность шлама скважину промывают. Бурение скважины производится в следующей последовательности.

При помощи лебедки в скважину спускается буровой снаряд, собираемый из следующих частей: коронки 7, колонковой трубы 6, переходника 5, колонны бурильных труб 4, длина которой увеличивается по мере углубления скважины, вертлюг-сальника 3, нагнетательного шланга 2, соединяющего буровой снаряд с буровым насосом 1. Вращение бурового снаряда сопровождается нагнетанием под давлением промывочной жидкости буровым насосом. Раствор, насыщенный шламом разбуренной породы, поднимается вверх по стволу скважины, где поступает по системе желобов 8 в отстойник 9, где шлам опускается на дно, а осветленная вода в приемный бак 10.

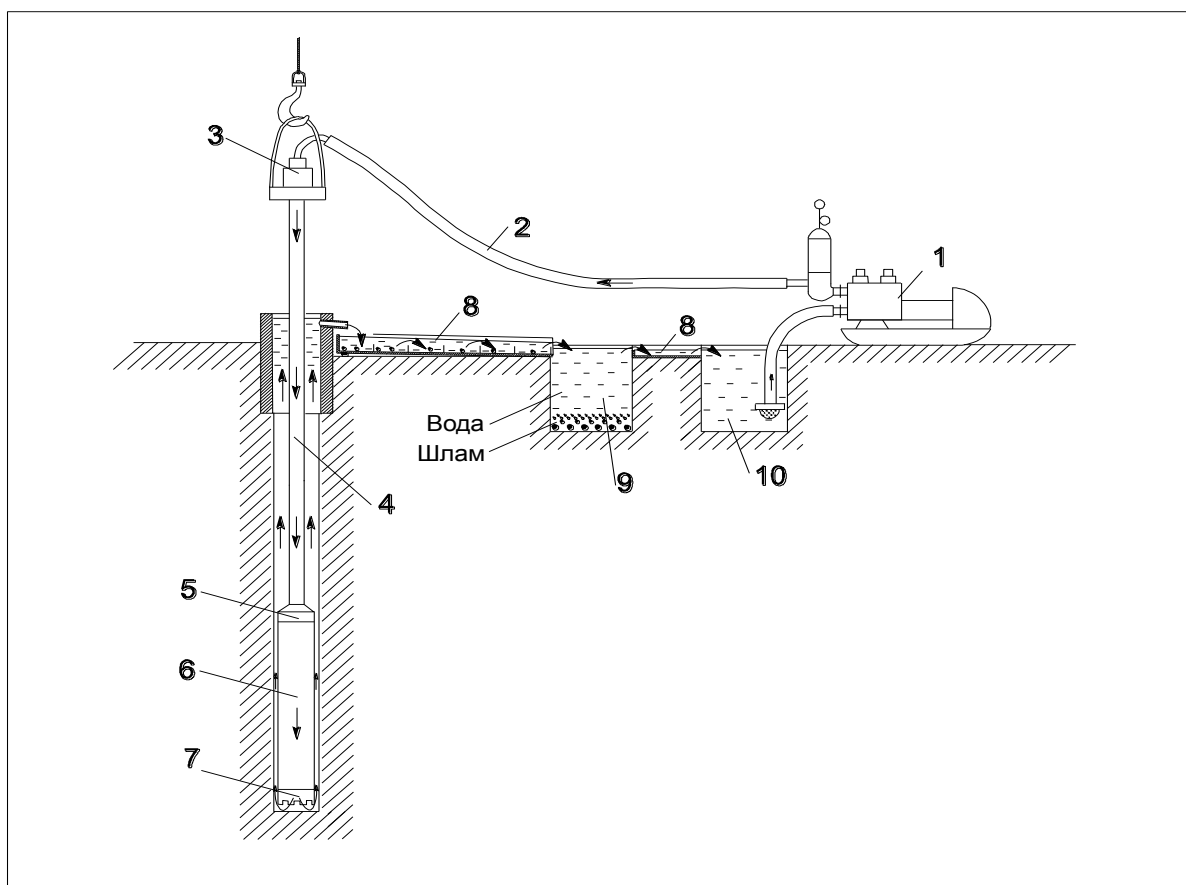


Рис. 3.2 Схема прямой промывки скважин:

1 – буровой насос; 2 – нагнетательный шланг; 3 – вертлюг – сальник; 4 – колонна бурильных труб; 5 – трубный фрезерный переходник; 6 – колонковая труба; 7 – коронка; 8 – система желобов; 9 – отстойник; 10 – приемный бак

С промывкой и вращением снаряд осторожно доводят до забоя и начинают

бурение. Скважину забуривают до коренных пород и врезаются в них на 0,5—1,5 м, после чего опускают направляющую трубу, предназначенную для предохранения устья скважины от размыва и направления изливающейся из скважины жидкости в желобную систему. При глубоком бурении всю толщу верхних неустойчивых и водоносных пород перекрывают следующей колонной обсадных труб называемой кондуктором. Затрубное пространство за кондуктором на всю глубину или в нижней части должно быть зацементировано, а кольцевой зазор между направляющей трубой и кондуктором загерметизирован.

В зависимости от физико-механических свойств пород, диаметра и типа буровой коронки шпинделю и буровому снаряду сообщают ту или иную частоту вращения и при помощи регулятора подачи создают необходимую осевую нагрузку на коронку. Частота вращения инструмента подбирается в зависимости от типа коронки, ее диаметра и глубины скважины. Регулятор подачи позволяет создавать необходимое давление резцов коронки на породу забоя, независимо от веса колонны бурильных труб. Вращаясь и внедряясь в породу, коронка выбуривает кольцевой забой, формируя керн. По мере углубления скважины керн заполняет колонковую трубу.

Если бурение ведется по устойчивым породам, то для промывки скважины применяется техническая вода. При проходке скважины в недостаточно устойчивых породах промывку ведут глинистым раствором. При бурении в относительно безводных скважинах может применяться продувка забоя сжатым воздухом.

После того как колонковая труба наполнится керном, приступают к подъему инструмента на поверхность. При бурении в крепких и абразивных породах иногда приходится прекращать бурение и приступать к подъему инструмента из-за значительного снижения скорости бурения вследствие затупления резцов коронки или из-за самозаклинивания керна в колонковом снаряде. Перед началом подъема керн должен быть надежно заклинен в нижней части колонкового снаряда и сорван. После заклинивания

керн насос выключают и буровой снаряд при помощи лебедки поднимают на поверхность, развинчивая колонну бурильных труб на отдельные свечи. Длина свечей определяется высотой буровой вышки. Свеча свинчивается из двух или трех, а иногда и четырех бурильных труб. Длина свечи на 3—5 м меньше высоты вышки. Свечи устанавливаются на подсвечник. Вес поднимаемой колонны можно определять с помощью индикатора веса.

После извлечения колонкового снаряда на поверхность коронку отвинчивают, керн извлекают из колонковой трубы, инструмент вновь собирают, опускают в скважину и бурение продолжают. При каждом подъеме коронку осматривают и в случае износа заменяют новой. Керн промывают, очищают от глинистой корки, замеряют и укладывают в последовательном порядке в керновые ящики, отмечая интервал скважины, с которого поднят керн, и процент выхода керн.

Если скважина пересекает неустойчивые породы, которые обваливаются или выпучиваются даже при применении специальных промывочных растворов, в нее опускают колонну обсадных труб, перекрывая неустойчивые породы, после чего продолжают бурение скважины коронкой меньшего диаметра. Через 50—100 м проходки измеряют угол наклона (зенитный) и направление (азимут) скважины. После того как скважина пересечет полезное ископаемое и войдет в пустые породы лежащего бока, бурение прекращают, инструмент поднимают и разбирают.

В скважине производят геофизические исследования (каротаж), измеряют кривизну ствола, температуру, проверяют глубину скважины, после чего приступают к ликвидации скважины. Для этого, прежде, извлекают обсадные трубы (если они не зацементированы), затем заполняют под давлением тампонажным раствором, чтобы по стволу не было перетока подземных вод. После этого буровая установка разбирается и перевозится на новую точку. На месте ликвидированной скважины устанавливают репер.

В крепких породах бурение производят алмазными коронками. В

крепких хрупких породах может быть с успехом применено ударно-вращательное бурение с гидро- или пневмоударным механизмом. В породах средней твердости и мягких вращательное бурение ведется коронками, армированными твердосплавными резцами. Если скважины пересекают уже изученные породы, то на участках, где полезное ископаемое отсутствует, целесообразно перейти на бескерновое бурение, которое позволяет повысить производительность бурения за счет значительного увеличения проходки за рейс и сокращения времени на спуско-подъемные операции, а также за счет повышения режимов бурения.

Глубины колонковых скважин бывают различные - от нескольких метров до нескольких тысяч метров. Диаметры колонковых скважин зависят от целей их проходки и от типа породоразрушающего инструмента. При алмазном способе скважины бурятся в основном коронками диаметром 76, 59 и 46 мм. При твердосплавном бурении чаще применяют коронки диаметром 92, 76, 59 мм. При инженерно-геологических и гидрогеологических работах иногда проходят колонковым способом шурфоскважины диаметром 500—1500 мм. Выпускаются установки для бурения колонковым способом круглых стволов шахт диаметром более 5 м.

### 3.3. Инструмент колонкового бурения

Инструмент, предназначенный для бурения скважин, называется буровым инструментом и подразделяется на технологический, вспомогательный, аварийный и специальный.

Технологический инструмент предназначен непосредственно для бурения. Набор инструмента, соединенного в определенной последовательности, называется буровым снарядом. Вспомогательный инструмент — это буровой инструмент, предназначенный для обслуживания технологического инструмента при бурении. Аварийный инструмент предназначен для ликвидации различного рода осложнений, препятствующих нормальному

процессу бурения, а специальный - для обслуживания специфических операций в скважинах.

Технологический буровой инструмент (буровой снаряд) состоит из колонкового набора (буровой коронки, кернорвательного устройства, колонковой трубы, трубного переходника, шламовой трубы) и бурильной колонны (бурильных труб и их соединений). Для каждого диаметра скважин составляется определенный буровой снаряд. В связи с этим стандартами предусмотрено по каждому типу инструмента определенное количество размеров, взаимно унифицированных по соединительным элементам и диаметрам (типоразмеры).

Вспомогательный инструмент предназначен, в основном для сборки – разборки бурового снаряда и для обсадки скважины обсадными трубами. Представлен обсадными трубами, полуавтоматическим элеватором с пробкой (грибком), элеватором, шарнирным ключом, подкладной вилкой.

**Таблица 3.1**

**Основные размеры обсадных труб ниппельного соединения  
и ниппелей к ним (в мм)**

Параметры	Нормы				
Наружный диаметр трубы и ниппеля D	73+0,3 5	89±0,4 0	108+ ±0,86	127+ + 1,02	±146 ±1,17
Толщина стенки труб	5,0±0,4	5,0+0,4	5+0,63	5,0+0,6 3	5,0±0,6 3
Внутренний диаметр ниппеля	62,0	78,0	95,5	114,5	134,5
Наружный диаметр наружной резьбы	68,5	84,5	103,0	122,0	141,0
Наружный диаметр внутренней резьбы	68,54	84,55	103,05	122,06	141,06
Длина резьбы	40	40	60	60	60
Внутренний диаметр	67,0	83,0	101,5	120,5	139,5



резьбы					
Длина трубы L	1500; 3000; 4500; 6000				
Масса 1 м труб, кг	8,4	10,4	13,0	16,0	17,4

Таблица 3.2

### Основные размеры обсадных безниппельных труб (в мм)

Наружный диаметр труб D	34±0,1	44±0,20	57±0,2	73±0,3	89±0,40
	5		5	5	
Толщина стенки труб t	3,0±0,2	3,5±0,2	4,5±0,3	5,0±0,4	5,0±0,4
	5	5	5	0	0
Наружный диаметр наружной резьбы d <sub>0</sub>	31,6	42,0	54,0	69,5	85,5
Наружный диаметр внутренней резьбы	31,632	42,032	54,040	69,540	85,550
Внутренний диаметр резьбы	30,1	40,5	52,5	68,0	84,0
Длина трубы L	1500	1500	1500	1500	1500
	3000	3000	3000	3000	3000
			4500	4500	4500
				6000	6000
Масса 1 м труб, кг	3,0	4,0	5,2	8,4	10,4

Для удержания снаряда в подвешенном состоянии применяются трубные хомуты и трубодержатели. Для свинчивания и развинчивания обсадных труб применяются двух- или трехшарнирные ключи. Каждый ключ может быть использован для свинчивания и развинчивания двух размеров обсадных труб.

Для предохранения нижнего конца обсадной колонны от повреждений при спуске и во время бурения к нижнему ее концу присоединяется башмак обсадных труб.

#### 4. КОНСТРУКЦИЯ КОЛОНКОВЫХ СКВАЖИН

Прежде чем приступить к бурению скважины, надо составить ее проектную конструкцию. Исходными данными для выбора конструкции скважины служат:

- а) физико-механические свойства пород, пересекаемых скважиной, их крепость, устойчивость, водонасыщенность и т. д.;
- б) глубина скважины, наклон скважины;
- в) конечный диаметр скважины, который зависит от вида полезного ископаемого;
- г) способ бурения.

Проектирование скважины начинается с выбора и обоснования глубины скважины, конечного диаметра бурения, начальных углов забуривания, технической конструкции скважины. Глубина картировочной скважины определяется установленной геологическим заданием глубиной геологического картирования. Глубина разведочной и поисковой скважин в общем случае устанавливается из необходимости пересечения скважиной тела полезного ископаемого и углубления в подстилающие породы на 2-20 м. Начальные углы забуривания зависят от угла падения и азимута падения тела полезного ископаемого или пластов горных пород, глубины скважины. Желательно, чтобы скважина пересекала пласты горных пород под углами, близкими к  $70^{\circ}$ - $90^{\circ}$ . Если углы падения пластов не превышают  $30^{\circ}$ , то скважины проектируются вертикальными. При больших углах падения необходимо бурение наклонных или искривленных скважин.

Конечный диаметр бурения определяется, прежде всего, видом полезного ископаемого, которое требуется вскрыть, а точнее – требованиями к объему их проб. Большинство твердых полезных ископаемых не требует специфических видов анализа. При бурении их алмазными коронками рекомендуется принимать конечный диаметр скважины 46 или 59 мм. Для

твердосплавного бурения конечный диаметр скважины следует брать 59, 76 мм. Бурение некоторых полезных ископаемых, требует более объемных проб для изучения. Например, бурение при разведке угольных месторождений, минеральных солей и других твердых полезных ископаемых, залегающих в толщах осадочных пород, производится твердосплавными коронками, причем при проходке по угольному пласту конечный диаметр скважины должен быть не меньше 76 мм, а при пересечении минеральных солей — не менее 92 мм. При разведке химического сырья и стройматериалов бурят скважины диаметром 93-200 мм. Разведка россыпных месторождений золота и платины производится скважинами диаметром 150-200 мм. При инженерно-геологических исследованиях в основном бурят скважины диаметром 112-219 мм. При гидрогеологических изысканиях диаметры скважин определяются размерами существующих конструкций приборов и водоподъемного оборудования и колеблются в пределах 100-219 мм и более. Диаметры эксплуатационных скважин на воду определяются требуемой продуктивностью скважины и обычно не менее 168 - 300 мм.

Основная масса этих скважин бурится в перемежающихся породах рыхлых, мягких и средней крепости. Часто бурение производится в песчано-глинистых грунтах, содержащих гравий, гальку и валуны. Породы эти склонны к обрушению. Встречаются породы типа пльвунов. Поэтому в процессе углубки необходимо закреплять скважину обсадными трубами.

После выбора конечного диаметра скважины, намечают интервалы, требующие закрепления обсадными трубами, определяют глубины установки колонн обсадных труб. Обсадные трубы необходимо предусматривать для:

- 1) закрепления устья скважины с целью предохранения от размывания и отвода промывочной жидкости в желоба (направляющая труба);
- 2) закрепления залегающих сверху неустойчивых и обводненных пород и для надлежащего направления ствола скважины (кондуктор);

3) перекрытия зон разрушенных и раздробленных пород, галечников, слабых конгломератов и брекчий, которые плохо крепятся глинистым раствором и не могут быть затампонированы быстросхватывающимися смесями;

4) производства тампонажа для изоляции водоносных горизонтов, закрепления стенок скважины перед пересечением полезного ископаемого, над которым залегают неустойчивые породы, дающие осыпи.

При проектировании буровых работ в новых районах необходимо предусматривать резервную колонну обсадных труб и соответствующий резервный диаметр коронок.

Выбирают конструкцию скважины снизу вверх. После выбора конструкции скважины выбирают буровую установку, затем составляют спецификацию необходимого бурового оборудования и инструментов, определяют режимы бурения для каждого типа породы в отдельных интервалах и разрабатывают геолого-технический наряд на строительство скважины (табл. 4.1.). Он будет служить основным документом - руководством для буровой бригады. В нем в табличной форме имеется информация по геологическому разрезу, конструкция скважины и рекомендуемые параметры режима бурения.

## **5. БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ**

*Буровой установкой* называется комплекс бурового и энергетического оборудования, а также сооружений (вышка или мачта, буровое здание), служащий для бурения скважин. Колонковое бурение производится установками, состоящими из бурового агрегата, который размещен в буровом здании, и буровой вышки или мачты. Буровой агрегат включает буровой станок, буровой насос для промывки скважины, силовые приводы к ним, аппаратуру контроля и регулирования процесса бурения.

Установки для колонкового бурения по транспортабельности разделяются на стационарные, передвижные, самоходные, переносные.

Таблица 4.1

**Геолого-технический наряд****Основной ствол**

Масштабная линейка	Категория пород по буримости	Глубина подошвы слоя	Мощность слоя	Наименование горных пород	Геологический разрез	Конструкция скважины	Диаметры (мм)		Технологические параметры бурения			Коронка	
							Глубина, м		Скорость вращения м/с (об/мин)	Осевая нагрузка, Н (на 1 основной резец)	Подача промывочной жидкости, л/мин; скорость потока, м/с		
							Породоразрушающего инструмента	Обсадных труб					
50 100 150 200 250 300 350 400	I	10,0	10,0	Супесь			112/10,0	108/10,0	120 об/мин	400-500	промывка без циркуляции	M 1	
	VI			Известняки					0,6-1,6 м/с	500-800	0,5 м/с	CM 5	
	VI	120,0	110,0	Зона поглощения в известняках									
	VI	150,0	30,0	Известняки				93/160,0	89/160,0	120 об/мин	400-500	0,25 м/с	CM 5
	VI			Известняки									
	VI	280,0	130,0	Песчаники						0,6-1,6 м/с	500-800	0,3-0,6 м/с	CM 5
	VI	400,0	120,0	Песчаники с вкрапленными сульфидными рудами						120 об/мин	400-500	0,25 м/с	CM 5
	VI	435,0	35,0	Песчаники				76/450,0		0,6-1,6 м/с	500-800	0,3-0,6 м/с	CM 5

*Стационарными* называются такие установки, у которых буровой агрегат и вышка монтируются в виде одного или нескольких блоков. Эти установки не имеют собственной транспортной базы. После окончания бурения установка разбирается на составные блоки, которые перевозятся на новое место бурения, где снова монтируются. Стационарные буровые установки используются при больших затратах времени на бурение скважин.

*Передвижные* буровые установки монтируются на одной или нескольких рамах, установленных на санях, колесных или гусеничных тележках. Такие установки применяют при небольших расстояниях между скважинами и перемещают буксировкой автомобилями или тракторами.

*Самоходные* установки монтируются на базе автомашин, тракторов.

*Буровые станки* служат для вращения колонны бурильных труб с колонковым набором, регулировки осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент с подачей бурового снаряда по мере углубления скважины, а также для осуществления спуско-подъемных операций при бурении скважины, креплении ее обсадными трубами и специальных работах.

Основные узлы станка для колонкового бурения: а) вращатель бурового снаряда; б) многоступенчатая коробка передач для регулирования частот вращения и подъема; в) лебедка для осуществления спуско-подъемных операций; г) главный фрикцион для включения и отключения станка от двигателя; д) механизм подачи бурового снаряда и регулятор нагрузки на породоразрушающий инструмент, е) пульт управления с контрольно-измерительной аппаратурой.

Конструктивная схема станка и установки в целом существенно определяется типом вращателя и механизмом подачи. Вращатели по своей конструкции подразделяются на шпиндельные, роторные и подвижные. Вращатель бурового станка является основным рабочим механизмом, выполняющим технологические операции при бурении.

Осевую нагрузку на забой скважины регулирует механизм подачи бурового станка. В зависимости от конструкции механизма подачи буровые станки бывают: с гидравлической подачей; винтовой дифференциальной подачей; рычажной подачей; комбинированной рычажно-дифференциальной подачей; подачей с барабана лебедки (роторные станки). Преимущественно применяют шпиндельные станки с гидравлической системой подачи, Вращение и подача бурильной колонны в этом случае осуществляется с помощью шпинделя.

Таблица 5.1

## Технические характеристики буровых установок с гидравлической подачей

Параметры		Классы установок							
		УКБ-1	УКБ-2 50/100	УКБ-3 200/300	УКБ-4 300/500	УКБ-5 500/800	УКБ-6 800/1200	УКБ-7 1200/2000	УКБ-8
Глубина бурения, м	Конечный диаметр 93 мм	12,5	50,0	200,0	300,0	500,0	800,0	1200,0	2000,0
	Конечный диаметр 59 мм	25	100	300	500	800	1200	2000	3000
Начальный диаметр скважины, мм		132	132; 93 *		151; 112*	151		214	295
Конечный диаметр скважины, мм	Твердыми сплавами	76	76						
	Алмазами	36	46	59					
Грузоподъемность на крюке, т, не менее	Номинальная	0,12	0,63	2,00	3,20	5,00	8,00	12,50	20,00
	Максимальная	0,25	1,20	3,20	5,00	8,00	12,00	20,00	32,00
Мощность приводного электродвигателя, кВт		3 *	11	15	22	30	45	55	75
Частота вращения бурового снаряда, об/мин	Минимальная	250	200	160		120	100	80	60
	Максимальная	1200	1500	1500					1200

Высота мачты, м		7,6	14	14,7	19		26		
Длина бурильной свечи, м	1,6	4,7	9,5	9,5	14,0	14,0; 18,6	18,6	18,6; 24,0	
Наибольшее усилие подачи вверх, кН		20	40	60	85		150		
Наибольшее усилие подачи вниз, кН		15	30	40	65		120		
Угол наклона вращателя, градус	70—90 (0—360) *				70—90		75—90	90	
Скорость подъема бурового снаряда, м/с	Минимальная до	' —	0,80	0,55	0,45	0,40	0,32	0,30	0,25
	Максимальная от	—	1,6	2,0					
Длина установки, м		5,58	8,34	13,2	10,7		13,5		
Ширина, м		3,0	2,5	4,2	4,56		10,0		
Высота, м		8,33	11,0	14,7	19,1		26,0		
Масса установки, т		5,67	10,0	14,0	17,5		25,0		

\* Для бурения из подземных горных выработок.



Установки, оборудованные шпиндельным или подвижным вращателем с гидравлической подачей, обладают следующими преимуществами:

- 1) могут бурить вертикальные, наклонные и восстающие скважины;
- 2) обеспечивают возможность регулирования осевого усилия на забой (создание принудительного усилия или разгрузки забоя);
- 3) позволяют производить плавную подачу бурового снаряда с требуемой скоростью;
- 4) позволяют определять вес снаряда в скважине;
- 5) гидравлическая подача может быть использована как гидравлический домкрат при извлечении труб и ликвидации аварий.

Все эти преимущества предопределили распространенность шпиндельного и подвижного вращателя с гидравлической подачей на установках колонкового бурения, используемых при разведке твердых полезных ископаемых. В роторных установках ротор (вращатель) в отличие от шпинделя вращается лишь в горизонтальной плоскости и неподвижен относительно вертикальной оси, поэтому не может обеспечить дополнительную осевую нагрузку (разгрузку на буровой снаряд).

## **6. ПРОМЫВКА И ПРОДУВКА БУРОВЫХ СКВАЖИН**

### **6.1. Промывка скважин .**

Колонковое бурение производится с промывкой скважины. Основным назначением промывки является:

1. Очистка забоя скважины от разбуренной породы и вынос ее на поверхность.
2. Охлаждение породоразрушающего инструмента.
3. Укрепление стенок скважины от обрушения

Существует три способа промывки скважин: с выходом промывочной жидкости на поверхность земли: прямая, обратная и комбинированная.

Прямая промывка (рис. 3.2.), когда промывочная жидкость, нагнета-

емая насосом, проходит по колонне бурильных труб, затем (при бурении кольцевым забоем) между керном и колонковой трубой омывает забой, охлаждает породоразрушающий инструмент, захватывает с забоя частицы разрушенной породы, поднимается вверх по кольцевому пространству между бурильными трубами и стенками скважины и, наконец, выходит на поверхность.

Достоинства прямой промывки: 1) буровой раствор, выходя из суженных промывочных отверстий коронки приобретает большую скорость и с силой ударяет о забой, размывая разбуриваемую породу, что способствует увеличению скорости бурения; 2) применяя специальные промывочные жидкости при бурении в сыпучих, рыхлых и трещиноватых породах обеспечивает закрепление стенок скважины путем скрепления частиц неустойчивой породы.

Недостатки прямой промывки: 1) возможен размыв стенок скважины при бурении в мягких породах вследствие большой скорости восходящего потока; 2) пониженный процент выхода керна в результате динамического воздействия струи на верхний торец керна, что приводит к его размыву; 3) при бурении скважин большого диаметра повышенный расход промывочной жидкости, необходимый для создания такой скорости восходящего потока, при которой все разбуренные частицы породы будут выноситься на поверхность. Прямая промывка имеет преимущественное применение в практике разведочного бурения.

Обратная промывка, когда промывочная жидкость движется к забою по кольцевому пространству между бурильными трубами и стенками скважины, омывает забой, входит в отверстия породоразрушающего инструмента, при наличии керна проходит по кольцевому зазору между керном и колонковой трубой, проходит по внутреннему каналу бурильной колонны и, обогащенная шламом, выходит на поверхность земли.

Достоинства обратной промывки: интенсивная очистка забоя от частиц разрушенной породы и возможность гидравлического транспорта

кернов через бурильные трубы на поверхность. Основным недостатком обратной промывки — невозможность обеспечения нормального процесса бурения при наличии в разрезе поглощающих горизонтов, в которых теряется полностью или частично промывочная жидкость. В связи с более сложной организацией обратной промывки она имеет ограниченное применение.

Комбинированная промывка, когда движение промывочной жидкости над колонковой трубой осуществляется по схеме прямой промывки, а ниже с помощью специальных устройств по схеме обратной промывки. Техническое исполнение комбинированной промывки связано с применением устройств, преобразующих прямую промывку в обратную в призабойной зоне. Комбинированная промывка применяется с целью повышения выхода керна.

## 6.2 Основные типы промывочной жидкости и условия применения

1. Техническая вода (пресная, морская, рассолы) применяется при бурении в устойчивых породах.

2. Глинистые растворы применяются в трещиноватых, рыхлых сыпучих, плавучих и других слабоустойчивых породах для предотвращения обвалов, а также в трещиноватых скальных породах для борьбы с потерей циркуляции.

Кроме того, при бурении в особо сложных и специфических условиях применяют более сложные растворы с специальными добавками.:

1. Для приготовления легких химически азрированных буровых растворов применяют глинопорошки, поверхностно-активные вещества (0,1—0,2%), реагенты-структурообразователи (каустическая сода 0,1—0,2%) или кальцинированная сода (0,5—2,5%).

2. Утяжеленные глинистые растворы применяются при вскрытии пластов с большим пластовым давлением для предупреждения выбросов

из устья скважины фонтанной воды, нефти или газа. Для изготовления утяжеленного глинистого раствора к нему добавляют инертный порошкообразный материал — утяжелитель, изготовленный из тяжелых минералов: - барита ( $BaSO_4$ ); гематита ( $Fe_2O_3$ ) и др.. После задавливания фонтана под действием гидростатического давления утяжеленного раствора, над устьем скважины устанавливают противовыбросную арматуру, промывают скважину облегченным азрированным глинистым раствором или технической водой, удаляют утяжеленный раствор и фонтанирование скважины восстанавливается.

3. Эмульсионные буровые растворы. Эмульсией называется система, состоящая из двух (или нескольких) взаимно нерастворимых жидких фаз, одна из которых диспергирована в другой. Различают два типа эмульсии. Эмульсии первого рода — «масло в воде» (М/В), когда масло в водной среде находится в виде мельчайших шариков.

Эмульсии второго рода, называемые инвертными или обратными, — «вода в масле» (В/М), когда вода в виде мельчайших шариков распределена в масле. Для придания эмульсии устойчивости применяют специальные реагенты — эмульгаторы. Эмульсионные растворы первого рода нашли широкое применение при алмазном высокоскоростном бурении с целью гашения вибрации и снижения мощности на вращение бурильной колонны.

4. Растворы на нефтяной основе (РНО), применяют для вскрытия нефтяных и газовых пластов для сохранения их естественной проницаемости. Эти растворы сложны по своему составу, более дорогие, чем буровые растворы на водной основе.

5. Термостойкие промывочные жидкости

### 6.3 Назначение глинистых растворов и их свойства

Глинистые растворы имеют следующие назначения: 1) глинизация стенок скважин; 2) удержание выбуренной породы во взвешенном состоянии при прекращении циркуляции; 3) создание повышенного противодав-

ления на пласт; 4) облегчение транспортирования по стволу; 5) предохранение бурового инструмента от коррозии благодаря тонкой глинистой корке, покрывающей поверхность инструмента.

По размерам диспергированных (раздробленных) частиц различают два вида жидких дисперсных систем: 1) коллоидные растворы и 2) суспензии.

Коллоидные частицы в жидком растворителе (например, воде) под действием силы тяжести практически не оседают. Суспензией называется взвесь, т. е. дисперсная система, состоящая из двух фаз — жидкой и твердой, в которой мелкие твердые частицы размером от 0,1 до 10 мкм и более взвешены в жидкости. С течением времени, под действием силы тяжести, взвешенные частицы осаждаются на дно сосуда.

Глина это дисперсная система, состоящая из воды и взвешенных в них частичек размером от коллоидных до частиц суспензий. Количество коллоидных частиц в глинистом растворе зависит от сорта глины и от способа его приготовления. Чем больше коллоидных частиц в растворе, тем лучше его качество. В нормальном глинистом растворе суммарная поверхность коллоидных частиц вследствие малых размеров и большого их количества превосходит суммарную поверхность частиц суспензий. Поэтому глинистый раствор есть коллоидно-суспензионная система, которая имеет свойства коллоидного раствора.

В глинистом растворе коллоидные частицы заряжены отрицательными электрическими зарядами, а ионы воды, положительными зарядами. Частицы глины как заряженные одноименным электричеством отталкиваются друг от друга. Вследствие весьма малых размеров и массы коллоидных частиц преобладающее значение для них имеет действие сил электрических зарядов, а не сила тяжести. Отталкивание коллоидных частиц, заряженных одноименным электричеством, способствует нахождению частиц во взвешенном состоянии.

Глинистые растворы являются гидрофильными коллоидными рас-

творами, в которых частицы глины смачиваются водой. Явление смачиваемости частиц глины водой объясняется тем, что силы притяжения между молекулами глины и воды значительно больше, чем между молекулами воды. Воду, входящую в состав глинистого раствора, можно разделить на адсорбированную и свободную.

Адсорбированная вода связана с частицами глины силами притяжения, образует вокруг них гидратные оболочки и по своим свойствам значительно отличается от обычной воды (например, имеет большую плотность, большую вязкость и пр.).

Свободная вода в глинистом растворе является дисперсионной средой, в которой находятся глинистые частицы с адсорбированной водной оболочкой. Практическое значение смачиваемости состоит в том, что при столкновении частиц с гидратными оболочками они не слипаются. Между частицами остается прослойка молекул свободной воды. Смачиваемость частиц обеспечивает устойчивость глинистых растворов, состоящих из хорошо смачивающихся коллоидных частиц.

Стабильностью называют свойство коллоидных частиц, находящихся в коллоидном растворе во взвешенном состоянии. Стабильность обеспечивается: 1) высокой степенью дисперсности частиц и, следовательно, их весьма малой массой; 2) наличием у коллоидных частиц одноименных электрических зарядов, вызывающих взаимное отталкивание; 3) гидрофильностью коллоидов, т. е. наличием вокруг коллоидных частиц уплотненных гидратных оболочек, которые предохраняют частицы от слипания и последующего оседания. Поэтому глинистый раствор в течение долгого времени сохраняется в жидком состоянии и способен перекачиваться насосом.

Структурообразованием называется способность глинистых растворов, находящихся в покое, образовывать внутри себя структуру. Причина образования структуры и ее последующего роста в глинистом растворе состоит в том, что глинистые частицы имеют форму тонких пластинок, кото-

рые несут электрический заряд по своей широкой боковой поверхности и поэтому поверхность хорошо смачивается водой. По толщине контура эти пластинки имеют слабый электрический заряд или он отсутствует. Поэтому по тонким контурным поверхностям частицы плохо смачиваются водой. Столкновение отдельных коллоидных частиц с плохо смоченными поверхностями приводит к их слипанию. С течением времени число слипшихся частиц увеличивается и в растворе образуется пространственный решетчатый каркас из коллоидных частиц, слипшихся тонкими боковыми поверхностями. Вода остается в ячейках этой сетки и не может свободно перемещаться. Раствор становится густым, похожим на студень или гель. При встряхивании или перемешивании загустевшего глинистого раствора структура его разрушается и глинистый раствор приобретает свойства жидкого раствора.

Тиксотропией называется свойство глинистого раствора загустевать при стоянии и разжижаться при встряхивании или перемешивании. Тиксотропией обладают не все коллоидные растворы, а только некоторые, в том числе глинистые растворы. Тиксотропностью называется быстрота образования структуры, а после перемешивания — быстрота восстановления структуры.

Удерживающей способностью глинистого раствора называется способность глинистого раствора удерживать частицы породы при структурообразовании. Это свойство глинистого раствора предотвращает осаждение частиц породы на забой при прекращении циркуляции.

Коагуляцией, или свертыванием, коллоидов называется процесс слипания коллоидных частиц в агрегатные группы с последующим осаждением этих частиц под влиянием силы тяжести. Коагуляция коллоидов происходит, если коллоидные частицы сделать нейтральными, они при столкновении будут соединяться, а группы, агрегаты оседать под влиянием силы тяжести. Коагуляция глинистого коллоида происходит от прибавления к воде коагулянтов, например некоторого количества поваренной соли NaCl,

которая распадается под действием молекул воды с образованием положительных ионов натрия, нейтрализующих глинистые частицы, заряженные отрицательным электричеством. Если скважиной пересечены соленосные породы или водоносный горизонт с соленой водой, глинистый раствор, протекающий по стволу скважины, может подвергаться коагуляции. Обратимыми коллоидами называются такие коллоиды, которые при надлежащем электрическом состоянии среды способны восстанавливаться из скоагулированного состояния.

Пептизацией называется процесс превращения скоагулированного коллоида, свернувшегося в виде комочков, в коллоидный раствор. Для использования свойств обратимости коллоидов к глинистому раствору в качестве пептизаторов добавляют вещества, восстанавливающие отрицательные электрические заряды у глинистых частиц. К числу пептизаторов относятся: щелочи (каустическая сода, едкий натр NaOH, кальцинированная сода Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и др.) или коллоиды, имеющие отрицательные электрические заряды, например гуминовая кислота.

Содержание в глине окислов и солей. Глины могут содержать примеси окиси железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), окиси натрия (Na<sub>2</sub>O), окиси кальция (CaO), окиси магния (MgO), окиси калия (K<sub>2</sub>O) и др. Наличием преобладающей примеси часто определяются свойства глины. Чем больше в глине содержится натрия, тем лучше ее качество. Наличие солей (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub> и др.) ухудшает качество глины. Сильно засоленные глины можно применять для приготовления глинистых растворов, но при этом необходима дополнительная их химическая обработка.

Набухание глин. Набуханием называется свойство глин увеличиваться в объеме при поглощении воды. Натриевые бентонитовые глины могут при замачивании увеличиваться в объеме в 8—10 раз и легко распадаются в воде на отдельные частицы. В кислых щелочных и солевых растворах бентонит не набухает. Гидрослюдистые и палыгорскитовые глины обладают меньшей способностью набухать. Каолиновые глины не набу-



хают, расщепляются в воде плохо, растворы, приготовленные из них, неустойчивы и быстро разделяются на твердую фазу и жидкость. Глинизация стенок скважины используется при бурении с промывкой глинистым раствором в неустойчивых породах для укрепления стенок скважины и для изоляции пластов. После внедрения глинистого раствора в пустоты пород и его загустевания в них кольцевая зона породы вокруг ствола скважины укрепляется. После образования глинистой корки на стенках скважины прекращается поступление свободной воды из бурового раствора в пустоты пород. Кроме того, если пласты пород содержат воду, нефть газ и если величина пластового давления не превышает величину гидростатического давления промывочной жидкости на стенки скважины, то вода, нефть и газ не поступят из пласта в скважину. Происходит изоляция пластов и прекращение движения жидкости или газа в системе скважина-пласт. Для успешной глинизации в глинистом растворе должны преобладать мелкие коллоидные частицы, над крупными частицами суспензий. Наиболее коллоидальными являются бентонитовые глины, которые обеспечивают пониженную водоотдачу, повышенную вязкость и повышенные тиксотропные свойства глинистых растворов.

Глинистый раствор с недостаточным количеством коллоидных частиц не обладает способностью закупоривать все отверстия между частицами породы. Толстая корка пропускает воду, плохо связывается с породами и легко обваливается. Вода, проникшая в пласт, уменьшает силу трения между частицами и поэтому снижает устойчивость стенок скважины. При подъеме и спуске бурильных труб толстая корка набирается на замковые соединения труб, образуя сальники, что способствует прихватам инструмента. Толстая корка затрудняет спуск обсадной колонны и нередко приводит к прихвату последней.

Глинизация стенок скважины является крупным недостатком при вскрытии водоносного или нефтегазоносного пласта, так как предотвращает или уменьшает приток воды или нефти и газа из пласта в ствол скважи-

ны. Поэтому вскрытие водоносного горизонта должно производиться с промывкой водой, безглинистым самораспадающимся (водогипановым или крахмальным) раствором.

#### 6.4. Методы измерения свойств промывочных растворов

Во избежание зашламования скважины разность удельного веса жидкости, выходящей из скважины, и удельного веса промывочной жидкости, нагнетаемой в скважину, должна быть в пределах 0,01 — 0,03; поэтому необходимо периодически замерять эти параметры

Плотность тела – это отношение массы тела к его объему промывочной жидкости необходимо: 1) для суждения о степени насыщенности глинистого раствора глиной; 2) для суждения о степени насыщенности промывочной жидкости шламом разбуренных пород 3) для определения гидростатического давления..

Плотность нормального глинистого раствора в зависимости от требуемого гидростатического давления должна быть в пределах 1,08—1,45 г/см<sup>3</sup>; аэрированного (насыщенного воздухом) 0,7— 0,9 г/см<sup>3</sup>; утяжеленного (с добавкой порошка барита или гематита) до 2,30 г/см<sup>3</sup>.

Плотность промывочной жидкости измеряют ареометрами постоянного объема

Вязкость глинистых растворов. Под вязкостью понимается внутреннее трение, существующее между слоями жидкости, движущимися друг относительно друга с различной скоростью. Условная вязкость определяется при помощи стандартного полевого визкозиметра (СПВ-5). Чаще применяются растворы, 500 см<sup>3</sup> которых вытекают за 18—24 с (вязкость 18— 24 с). Для борьбы с поглощением применяются растворы повышенной вязкости (40—80 с и более).

Содержание песка в глинистом растворе. При значительном содержании песка в растворе происходит быстрый износ деталей насоса, бу-

рового сальника (вертлюга) и другого оборудования. Во время остановки циркуляции песок оседает на забой скважины и может прихватить колонковый снаряд. Под песком понимается содержание твердых частиц разбуренных пород и комочков глины. Содержание песка определяется разбавлением раствора водой в отношении 1: 9 и отстаем в течение 1 мин. За это время в осадок выпадают фракции песка крупнее 0,1 мм. Для более полного осаждения всех фракций песка, оставляют раствор в покое в течение 3 мин. Для определения содержания песка применяется отстойник ОМ-2. В нормальном глинистом растворе содержание песка должно быть менее 4%.

Суточный отстой характеризует стабильность глинистого раствора, т. е. способность в течение длительного времени не расслаиваться на твердую и жидкую фазы.. Нормальные глинистые растворы должны за сутки давать отстой не более 3—4%. Стабильность глинистого раствора определяется с помощью прибора ЦС-2 . У нормальных растворов эта разница не должна превышать 0,02 г/см<sup>3</sup>.

Водоотдача характеризует способность глинистого раствора отфильтровывать воду в пористые породы. Показатель водоотдачи характеризуется объемом воды в кубических сантиметрах, отфильтровываемой в течение 30 мин из 100 см<sup>3</sup> глинистого раствора через бумажный фильтр диаметром 75 мм под избыточным давлением 0,1 МПа. Водоотдача имеет большое значение при бурении в пористых породах. Глинистые растворы с большой водоотдачей образуют рыхлую корку, сужающую ствол скважины и вызывающую затяжки бурового инструмента при подъеме. Проникновение воды в глинистые породы вызывает их набухание и выпучивание в ствол скважины. Снижение водоотдачи глинистого раствора способствует устранению этих явлений. Величина водоотдачи зависит: 1) от качества глины; 2) от качества воды: (жесткая и засолоненная вода повышает водоотдачу); 3) от способа приготовления раствора (недостаточное размешивание глины приводит к повышению водоотдачи); 4) надлежащая химиче-

ская обработка раствора снижает водоотдачу.

Водоотдачу глинистого раствора определяют на приборе ВМ-6

Нормальной для глинистых растворов считается водоотдача не более 25 см<sup>3</sup> за 30 мин. Для борьбы с прихватами и обвалами снижают водоотдачу посредством химической обработки до 5—6 реже до 2—3 см<sup>3</sup> за 30 мин. Растворы, имеющие водоотдачу свыше 25 см<sup>3</sup> за 30 мин, могут создавать осложнения при бурении в пористых породах.

Статическое напряжение сдвигу  $\theta$  характеризует способность глинистых растворов удерживать во взвешенном состоянии частицы породы.

Так как связи между частицами глины в тиксотропном растворе устанавливаются постепенно, то величина  $\theta$  зависит от времени стояния раствора в покое. Вначале  $\theta$  быстро растет, а затем медленно повышается до определенного предела. Измеряется  $\theta$  в приборах, называемых пластометрами.

Статическое напряжение сдвига  $\theta$  характеризует способность глинистого раствора удерживать во взвешенном состоянии частицы шлама.

Выбор глины. Оценку пригодности глины лучше всего производить по качеству приготовленного из этой глины раствора. Из небольшого количества испытуемой глины готовят глинистый раствор с условной вязкостью  $i = 18—24$  с. Производят измерение показателей свойств полученного глинистого раствора. Сравнивают результаты измерений с параметрами глинистого раствора для нормальных условий бурения и делают вывод о пригодности полученного раствора для целей бурения без его химической обработки.

Глинопорошки изготавливают на глинозаводах, транспортируют в бумажных мешках и применяют для приготовления глинистого раствора для ускорения распада глины на коллоидальные частицы. На заводе при изготовлении глинопорошков к ним могут быть добавлены химические реагенты, повышающие качество раствора.

## 6.5. Расчет потребного количества глины

Количество глины для изготовления единицы объема глинистого раствора, имеющего определенную вязкость, зависит от степени коллоидальности глины. Глины принято сравнивать по выходу получаемого из них раствора установленной вязкости.

Выходом глинистого раствора  $V_B$  называется объем глинистого раствора в  $m^3$  установленной вязкости из 1 т глины.

Количественные показатели глинистого раствора для глин различной степени коллоидальности при плотности глины  $\rho_g = 2,5 \text{ т/м}^3$  и условной вязкости глинистого раствора 25—30 с приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

**Количественные показатели глинистых растворов  
разной коллоидальности**

Степень коллоидальности глины	Плотность глинистого раствора $\rho_r$ г/см	Объем глины $V_g$ на 1 м <sup>3</sup> раствора, м <sup>3</sup>	Масса глины $m$ на 1 м <sup>3</sup> раствора, кг	Выход глинистого раствора из 1 т глины $V_B$ м <sup>3</sup> /т
Высококоллоидная	1,04—1,06	0,03—0,04	70—100	15—10
Коллоидная	1,06—1,15	0,04—0,10	100—250	10—4
Среднеколлоидная	1,15—1,30	0,10—0,20	250—500	2—1,5
Малоколлоидная	1,30—1,40	0,20—0,27	500—675	
Тяжелая	1,40—1,50	0,27—0,33	675-825	1,5—1,2

*Определение объема глины  $V_g$  для приготовления  $V_r 1 \text{ м}^3$   
глинистого раствора.*

Пусть:  $\rho_g$  — плотность глины (природные глины в воздушно-сухом состоянии имеют плотность от 2,2 до 2,8 т/м<sup>3</sup>, в среднем» 2,5 т/м<sup>3</sup>);  $\rho_v = 1 \text{ т/м}^3$  — плотность воды;  $\rho_r$  — плотность глинистого раствора, т/м<sup>3</sup> (см. табл. 25);  $V_g$  — объем глины для приготовления 1 м<sup>3</sup> глинистого раствора,

$\text{м}^3$ . Составим уравнение масс в объеме  $1 \text{ м}^3$ : (масса глины) + (масса воды) = (масса раствора). Заменяя массы на соответствующие им произведения объема на плотность, учитывая, что объем воды можно представить как разность объема раствора и объема глины и приняв за единицу объем раствора, получим

$$V_{\Gamma}P_{\Gamma} + V_{\text{В}}P_{\text{В}} = V_{\text{р}}P_{\text{р}};$$

$$V_{\Gamma} + V_{\text{В}} = V_{\text{р}}$$

Так как  $V_{\text{р}} = 1$

$$V_{\text{В}} = 1 - V_{\Gamma}$$

$$V_{\Gamma}P_{\Gamma} + (1 - V_{\Gamma})P_{\text{В}} = P_{\text{р}}$$

$$V_{\Gamma}P_{\Gamma} + P_{\text{В}} - V_{\Gamma}P_{\text{В}} = P_{\text{р}}$$

$$V_{\Gamma}(P_{\Gamma} - P_{\text{В}}) = P_{\text{р}} - P_{\text{В}}$$

$$V_{\Gamma} = (P_{\text{р}} - P_{\text{В}}) / (P_{\Gamma} - P_{\text{В}})$$

*Определение массы глины  $m$  для приготовления  $1 \text{ м}^3$  раствора  $m = V_{\Gamma} * P_{\Gamma}$*

Объем глинистого раствора  $V$  для бурения заданной скважины  $V = V_1 + V_2 + V_3$ ,  $\text{м}^3$  где  $V_1 =$  объем скважины  $= D_{\text{ср}} * H$  (здесь  $D$  — средний диаметр скважины,  $H$  — глубина скважины)

$V_2$  — объем резервуаров для хранения глинистого раствора ( $2—5 \text{ м}^3$ );  $V_3$  — потеря глинистого раствора в скважине — зависит от степени трещиноватости пород ( $V_3 = 2—5 V_{\text{х}}$  и более).

Масса глины  $M$  для бурения заданной скважины

$$M = mV, \text{ т}$$

где  $m$  — масса глины для приготовления  $1 \text{ м}^3$  раствора, т;  $V$  — объем глинистого раствора для бурения заданной скважины,  $\text{м}^3$ . Насыпная масса (глина имеет пористость с суммарным объемом пустот = 20%) будет меньше за счет пористости, поэтому  $M = m * V * 0.8$

## 7. ТЕХНОЛОГИЯ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

В зависимости от категории пород можно задавать разные режимы

бурения, параметрами которого является частота вращения бурового снаряда, осевая нагрузка и объем подачи промывочной жидкости в единицу времени. Режимы бурения разные для победитового и алмазного бурения. Коронки также изготавливаются разными по конструкции для разных категорий пород.

Нагрузка на коронку задается, исходя из количества основных (объемных) резцов, их размеров и твердости пород. Общая нагрузка на коронку должна быть равна  $C = m \cdot q$

где  $m$  — число объемных (основных) резцов;  $q$  — рекомендуемое давление на 1 резец, Н (см. табл. 7.1).

Частота вращения коронки должно быть  $n = 60V / \eta D_{ср}$  где  $V$  — окружная скорость коронки 0,6-1,6 м/с,  $D_{ср}$  — средний диаметр коронки, м

Подача промывочной жидкости определяется, исходя из скорости восходящего потока  $V_{п}$  и диаметра скважины;  $V_{п} = 0,25— 0,6$  м/с. Чем больше скорость бурения, тем больше и  $V_{п}$ . При бурении в трещиноватых и абразивных породах необходимо снижать окружную скорость и осевую нагрузку.

Промывка при алмазном бурении должна обеспечивать хорошее охлаждение алмазов, так как они при сильном нагреве они графитизируются. Скорость восходящего потока между бурильной колонной и стенками скважины должна быть в пределах 0,4— 0,8 м/с.

При наполнении колонковой трубы керном буровой инструмент поднимают на поверхность. Для этого над коронкой помещают кернорватель, который срывает керн от забоя. Поднятая коронка отвертывается и осматривается. Керн из колонковой трубы осторожно и последовательно извлекается, документируется и укладывается в керновые ящики.

Таблица 7.1

## Характеристика твердосплавных коронок

Маркировка коронок	Категория пород по буримости	Характеристика пород	Типичные представители пород	Диаметр, мм		Число резцов		Осевая нагрузка на 1 основной резец, Н	Окружная скорость коронки, м/с
				Наружный	Внутренний	Основных	Подрезных		
M1	I— III	Мягкие однородные	Суглинки, глины, торф, мел	151	112	8	—	500—600	1,0—1,5
				132	92	8	—		
				112	73	8	—		
				93	57	8	—		
M2	II— IV	Мягкие с твердыми прослойками	Глины, слабоцементированные песчаники, глинистые алевролиты, мергели, неплотные известняки	151	113	14	—	600—800	1,0—1,5
				132	93	14	—		
				112	74	12	—		
				93	58	12	—		
M5	II— IV	Мягкие однородные	Глины, слабоцементированные песчаники, ангидриты, глинистые сланцы	151	107	24	6	300—600	1,0—1,5
				132	88	24	6		
				112	68	16	4		
				93	53	16	4		



СМ3 (С)	IV— VI	Монолитные малоабразив- ные	Аргиллиты, алевролиты, глинистые сланцы, долами- ты, гипсы, из- вестняки	151	133	12	9	600—1000	1,0—1,6
				132	114	12	9		
				112	94	8	6		
				93	75	8	6		
				76	59	6	3		
59	44	6	3						
46	31	6							
СМ4 (МР2Н П-1)	V— VI, Частич- но VII	Малоабразив- ные монолит- ные и пере- межающиеся по твердости	Алевролиты, аргиллиты, гли- нистые и слан- цы, песчаники известняки, ба- зальты, дуниты	151	132	12	4	500—800	0,8—1,5
				132	113	12.	4		
				112	93	9	3		
				93	74	9	3		
				76	58	9	3		
СМ5 (1НМ)	V— VI	Малоабразив- ные монолит- ные и слабо- трещиноватые	Доломиты, из- вестняки, глинистые и песчаные сланцы, сер- пентиниты	151	133	24	4	400—600	0,8—1,6
				132	114	24	4		
				112	94	18	3		
				93	75	18	3		
				76	59	12	4		
				59	44	12	4		
				46	31	12	2		
36	21	9	3						

СМ5 (16НА)	VI-VII	Малоабра- зивные моно- литные и трещиноватые	Доломиты, из- вестняки, серпентиниты, перидотиты	151	133	24	8	500—700	1,0—1,6
				132	114	24	8		
				112	94	18	6		
				93	75	18	6		
				76	59	12	4		
				59	44	12	4		
				46	31	12	2		
СТ2 (СТ6)	IV— VI	Малоабра- зивные трещинова- тые переме- жающиеся	Известняки, ча- стично окрем- ненные доломи- ты, сланцы с с твердыми вклю- чениями	151	133	12	6	500—800	0,6—1,2
				132	114	12	6		
				112	94	10	5		
				93	75	8	4		
				76	59	6	3		
				59	44	6	3		
				46	31	6	3		

Однослойную алмазную коронку следует заменить в случае: а) механического повреждения коронки; б) появления на торце коронки круговых борозд, вследствие отсутствия полного перекрытия рабочего торца алмазами; в) сильного оголения алмазов; г) износа коронки по диаметру. Износившиеся алмазные коронки отправляют на завод, где матрицу растворяют в соответствующих кислотах и отбирают алмазы, которые можно вторично использовать в коронках (рекуперация алмазов).

При бурении алмазными коронками частота вращения часто принимается в пределах 500—1500 об/мин. Осевая нагрузка подбирается из расчета 500—1200Н на 1 см<sup>2</sup> рабочего торца коронки в зависимости от насыщенности торца алмазной коронки алмазами и крепости пород.

Параметры режима алмазного бурения применительно к коронкам различного диаметра и породам разной крепости приведены в табл. 7.2 (по данным ВИТРа). Производительность алмазного бурения при правильно выбранной коронке зависит от параметров режима бурения: осевой нагрузки на коронку, частоты ее вращения, количества и качества промывочной жидкости. Это положение, общее для вращательного бурения, приобретает при алмазном бурении особое значение вследствие чувствительности алмазной коронки на нарушение правильного соотношения между указанными режимными параметрами.

На процесс алмазного бурения сказывается влияние многочисленных переменных факторов, и поэтому вопрос о режимах бурения должен рассматриваться отдельно по группам пород со сходными физико-механическими свойствами. В общем случае при алмазном бурении рекомендуется применять высокую частоту вращения, причем по мере ее увеличения необходимо одновременно повышать осевую нагрузку на коронку. Нормальной частотой считается 750—1500 об/мин, пониженной 400—750 об/мин для алмазных коронок диаметром 46 и 59 мм.

Величина осевой нагрузки определяется с учетом следующих основных факторов: а) с увеличением твердости породы осевые нагрузки должны повы-

шаться; б) в трещиноватых, а также в тонкослоистых породах с чередованием твердых и более мягких прослоев осевые нагрузки должны быть меньше, чем в монолитных однородных породах; в) слоистые породы с тенденцией к искривлению ствола скважины бурят при пониженных осевых нагрузках; г) для коронок с алмазами меньшей величины осевая нагрузка уменьшается; д) при увеличенной подаче промывочной жидкости коронка меньше забивается шламом и поэтому осевые нагрузки можно увеличить. Одно из основных правил алмазного бурения заключается в том, что осевая нагрузка на коронку должна быть всегда равномерной и достаточной для объемного разрушения породы.

Таблица 7.2

Категории пород по буримости	Диаметры коронок, мм			
	36	46	59	76
Осевая нагрузка на коронку				
VI—VII	2500—3000	3 000—5 000	4000—8000	5000—10000
VIII—IX	3000—5000	5000—7 000	6000—10000	8000—13000
IX—XI	5000—7000	6 000—9 000	8000—12000	10000—17000
XI— XII	6000—8000	7000—10000	10000—16000	13000—18000
Частота вращения об/мин				
	400—700	500—900	800—1 400	600—1 000
Подача промывочной жидкости Q, л/мин				
VI—VII	25-35	30-50	50-70	60-100
VIII—IX	20-30	30-40	40-60	50-80
IX—XI	15-25	20-30	35-50	40-60
XI— XII	10-15	15-20	25-35	30-40

\*Примечание. При бурении трещиноватых, абразивных и перемежающихся по твердости пород частота вращения и осевая нагрузка снижаются на 25—49%.

## 8. ТАМПОНИРОВАНИЕ СКВАЖИН

*Тампонируванием* скважины называется комплекс работ по изоляции отдельных ее интервалов. Тампонирувание осуществляется с целью предотвращения обвалов скважины и размывания пород в пространстве за обсадными трубами, разделения водоносных или других горизонтов для их исследования, перекрытия трещин, пустот, каверн, для ликвидации водопроявлений, поглощения промысловой жидкости при бурении.

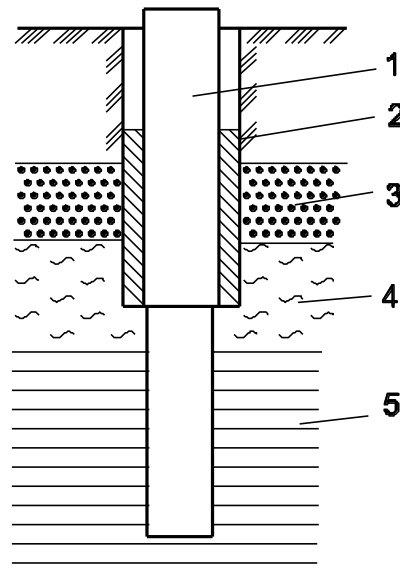


Рис. 8.1. Общая схема тампонажа:

1 – колонна обсадных труб; 2 – тампонажный материал; 3, 4, 5 – изолируемый, водонепроницаемый и водоносный пласты соответственно.

При бурении на жидкие и газообразные полезные ископаемые, а также на минеральные соли необходимо изолировать пласт полезного ископаемого от вышележащих пластов. Изоляция отдельных горизонтов в скважине необходима для предотвращения проникновения грунтовых и пластовых вод в пласт полезного ископаемого. При подходе к продуктивному пласту проходка скважины пре-

кращается в водонепроницаемом вышерасположенном пласте. Затем в скважину спускают колонну обсадных труб, а кольцевое пространство между низом колонны и стенами скважины заполняют водонепроницаемым материалом. Тампонирующим затрубного пространства обсадная колонна предохраняется от сжатия давлением и корродирующего воздействия минерализованных подземных вод.

Применяют постоянное и временное тампонирующее. Постоянное тампонирующее проводят на длительное время. При постоянном тампонирующем околоствольное пространство изолируется от ствола скважины. Временное тампонирующее предназначается для изоляции отдельных горизонтов и проводится на срок испытания скважины.

Тампонирующее производят для разобщения и изоляции водоносных пластов с разным химическим составом. Например, для изоляции горько-соленой воды от питьевой, изоляции водоносных пластов от нефтегазоносных, для производства опытных нагнетаний воды в пористый пласт, для защиты обсадных труб от коррозии минеральными водами, для устранения циркуляции подземных вод по стволу скважины при извлечении обсадных труб и ликвидации скважины.

В качестве тампонажных материалов используют глину, цемент, глиноцементные смеси с наполнителями, быстросхватывающиеся смеси (БСС), битумы и смолы.

Тампонирующее глиной применяют при бурении неглубоких разведочных или гидрогеологических скважин. Если в месте намечаемого тампонирующего залегает пласт глины мощностью 2—3 м, то тампонирующее осуществляют задавливанием башмака обсадной колонны в глину, предварительно пробурив этот пласт на 0,5—0,6 м.

При отсутствии на забое глины или при недостаточной мощности ее пласта нижнюю часть скважины заполняют вязкой глиной, в башмак обсадной ко-

лонны вставляют конусную пробку, которой выдавливают глину в затрубное пространство. По окончании тампонирувания пробки разбуривають.

Тампонирувание с помощью цемента называется *цементированием* скважин. Цементирование используют при бурении скважины на воду, нефть, газ и в случаях, когда необходимо получить прочный и плотный тампон на весьма продолжительное время.

Для цементирования скважин используют тампонажный цемент на основе портландцемента.

После смешивания с водой тампонажный цемент должен давать подвижный раствор, перекачиваемый насосами, который с течением времени загустевает и затем превращается в водонепроницаемый цементный камень. Цементный раствор надо изготовлять как можно быстрее, чтобы предупредить его схватывание во время нагнетания в скважину. Готовят цементный раствор в цементомешалках или в специальных цементировочных агрегатах, смонтированных на автомобиле.

Наиболее широко применяемый способ цементирования при разведочном бурении — погружение башмака обсадной колонны в цементный раствор, залитый на забой скважины. Забойное цементирование проводят для изоляции нижней призабойной части колонны обсадных труб. Цементный раствор заливают в скважину через заливочные трубы на высоту 2—3 м.

После извлечения из скважины заливочных труб на забой спускают колонну обсадных труб. После затвердения цементного раствора разбуривають пробку в обсадных трубах и продолжают проходку скважины.

*Временное тампонирувание* скважин производится на непродолжительный период проведения раздельного исследования водоносных (нефте- и газоносных) горизонтов.

Для разобщения отдельных участков скважины, подвергаемых исследованиям (откачки, нагнетания), используют специальные тампоны, называемые пакерами. По принципу действия различают пакеры простого и двойного

действия. Пакеры простого действия разделяют скважину на два изолированных друг от друга участка, а двойного действия — на три.

Принцип действия пакера основан на том, что при расширении резиновой манжеты или подушки надежно уплотняется зазор между стенками скважины и колонной труб, на которой опускается тампон. Резиновая манжета (подушка) в скважине может уплотняться механически, с помощью воды или сжатого воздуха.

Гидравлический пакер (рис. 8.2.) с двумя резиновыми камерами 3 (двойного действия) спускают в скважину на колонне труб 1. Вода, подаваемая под давлением через трубки 2 в камеры 3, прижимает их к стенкам скважины. Таким образом скважина разделяется на три участка. Через фильтровую трубу 4 после установки пакера производят опытные откачки или наливывы.

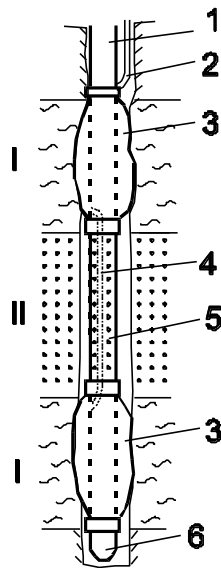


Рис. 8.2. Гидравлический пакер:

I – водоупор; II – пористый водоносный пласт; 1 – колонна обсадных труб; 2 – трубка для нагнетания воды; 3 – камера; 4 – соединительная трубка; 5 – фильтровая труба; 6 – глухая пробка

*Тампони́рование без обсадных труб.* Для борьбы с поглощением промывочной жидкости без уменьшения диаметра скважины применяют БСС



различного состава. Дозировка смеси, содержащей портландцемент, глинистый раствор, жидкое стекло, каустическую соду и воду, зависит от качества цемента и глины. Изменением количества жидкого стекла и каустической соды регулируют свойства смеси и сроки ее схватывания. Через 20—35 мин после приготовления БСС теряет подвижность, а через 1—1,5 ч заканчивается ее схватывание. Используют также тампонажные смеси на основе синтетических смол путем смешивания их с наполнителем и последующим введением в смесь отвердителя.

Тампонажные смеси должны быть доставлены к месту поглощения промывочной жидкости до потери подвижности. Смесь, доставляют одним из следующих способов: 1) заливкой через устье неглубокой скважины; 2) закачиванием через бурильную колонну, 3) в колонковом наборе, закрытом снизу глиняной пробкой, с последующим выдавливанием промывочной жидкостью; 4) с использованием специальных тампонажных устройств.

Доставленную в зону поглощения тампонажную смесь после выдержки в течение времени, необходимого для ее затвердевания, разрушают.

### 8.1. Производство работ по цементированию скважины при помощи двух пробок

Если необходима большая высота подъема цемента в затрубном пространстве (на любое расстояние от забоя, вплоть до устья скважины), применяется *цементирование под давлением с разделяющими пробками*. При этом используют две разделяющие пробки и цементировочную головку. Разделяющие пробки снабжены уплотняющими резиновыми манжетами. Верхняя пробка сплошная, а в нижней выполнен осевой канал, перекрытый стеклянным диском или резиновой перепонкой.

Промывка затрубного пространства. Через отвод 1 (рис. 8.1, а) цементировочной головки нагнетают промывочную жидкость для промывки скважины. При этом колонна обсадных труб подвешена в устье скважины с помощью ла-

фетного хомута и не касается забоя.

Введение в обсадные трубы нижней пробки. Для этого цементирующую головку отвинчивают от колонны и в устье обсадной колонны вводят нижнюю пробку. После этого навинчивают цементирующую головку с закрепленной в ней верхней пробкой

Нагнетание цементного раствора в колонну обсадных труб. Освобождение верхней пробки и ее продавливание вдоль колонны. Вывинчивают выдвижные стопоры б цементирующей головки, освобождая этим верхнюю пробку и через отвод нагнетают промывочную жидкость (глинистый раствор или воду) для продавливания пробок. Тогда система, состоящая из двух пробок и цементного раствора между ними, будет перемещаться вниз.

Продавливание цементного раствора в затрубное пространство. Когда нижняя пробка упрется в упорное (стопорное) кольцо, закрепленное между трубами и башмаком, тогда возросшим давлением насоса раздавливается стеклянная пластинка, перекрывающая отверстие в нижней пробке, и цементный раствор через это отверстие продавливается в кольцевое затрубное пространство (рис. 8.1, в). Окончание нагнетания цементного раствора в затрубное пространство соответствует моменту схождения пробок (рис. 8.1, г), определяемому по резкому повышению давления на манометре.

Снятие колонны обсадных труб с лафетного хомута и спуск колонны до забоя.

Для этого колонну с помощью элеватора, крюка, талевой системы и лебедки бурового станка приподнимают, вынимают из корпуса лафетного хомута и спускают колонну до забоя.

Выдерживание колонны обсадных труб под давлением (при закрытых отводах 1 и 2) в течение 12-24 ч до конца схватывания и затвердевания цемента.

Снятие цементирующей головки, разбуривание пробок и упорного кольца, очистка забоя.

Проверка результата тампонирования. Для этого понижают откачкой уровень жидкости в скважине ниже (не менее чем на 10 м) статического уровня тампо-

нируемого водоносного горизонта. Если в течение суток уровень воды в скважине не поднялся (не учитывая поднятия уровня до 1 м за счет стегания капель по стенкам труб), то считают, что тампонирование водоносного пласта произведено и об этом составляется акт.

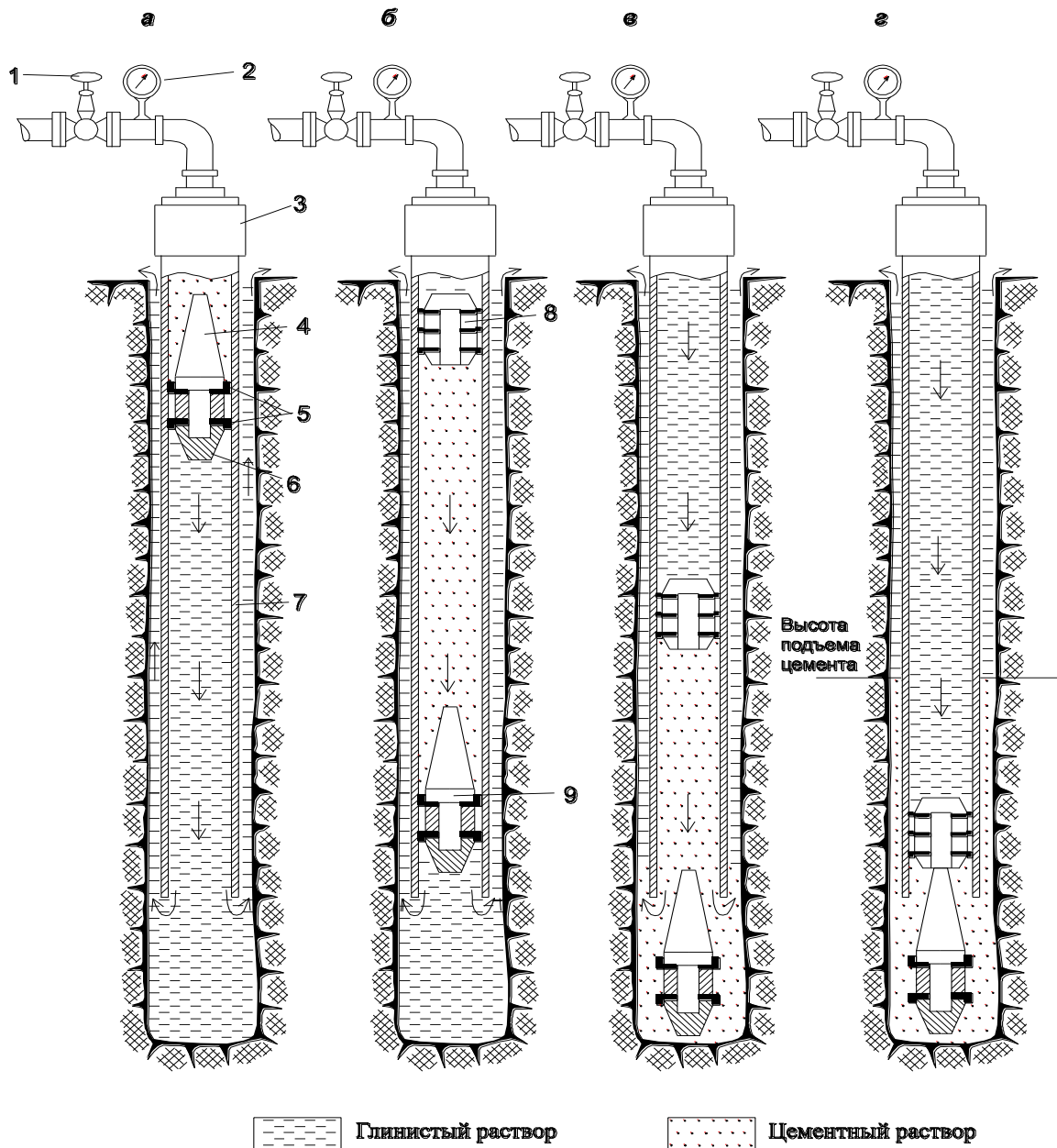


Рис. 8.1. Схема тампонажа скважины цементом по способу «с двумя пробками»:

а – начало закачивания цемента; б – конец закачки цемента; в – начало подъема цемента в затрубное пространство; г – конец цементации

1 – запорный кран; 2 – манометр; 3 – головка для цементации; 4 – верхняя часть пробки; 5 – резиновые манжеты; 6 – нижняя часть пробки; 7 – обсадная труба; 8 – верхняя пробка; 9 – нижняя пробка

## 8.2. Ликвидационный тампонаж скважины

Пробурив скважину, производят контрольный замер ее глубины, измерение зенитных углов и азимутов через установленные интервалы (обычно 20 м) и геофизические исследования (каротаж). Затем приступают к извлечению обсадных колонн и ликвидационному тампонированию скважины.

Цель ликвидационного тампонирования состоит в том, чтобы изолировать все водоносные пласты и пласты полезного ископаемого, подлежащего разработке, от поступления в них воды по скважине и трещинам из изолируемого водоносного пласта и устранить возможность циркуляции подземных вод по стволу скважины при извлечении обсадных труб и ее ликвидации.

Для ликвидационного тампонирования скважины, пройденной в скальных и полускальных породах, применяют цемент, в породах глинистых — пластичную жирную глину. Скважина, пробуренная с применением глинистого раствора и тампонируемая цементом, перед тампонированием промывается водой для разглинизации. Цементный раствор нагнетают насосом через бурильные трубы, опущенные до забоя. По мере заполнения скважины цементным раствором бурильные трубы приподнимают. После подъема насос и бурильные трубы должны быть промыты водой для очистки от остатков цементного раствора.

При тампонировании глиной ее замачивают, готовят густое глиняное тесто, затем с помощью глинопресса или вручную готовят цилиндры из глины. Глиняные цилиндры опускают на забой скважины в длинной колонковой трубе и, приподняв колонковую трубу на 1,0—1,5 м над забоем, выпрессовывают с помощью насоса давлением воды обычно при 1,0—1,5 МПа. Для надежности каждую порцию тампонажной глины трамбуют металлической трамбовкой.

Для ликвидационного тампонирования глубоких скважин хорошо зарекомендовали себя:

1. Глинисто-цементный раствор, изготавливаемый на базе глинистого раствора повышенной вязкости ( $T = 50—80$  с,  $\theta = 500—1500$  Н/см<sup>2</sup>).

На 1 м<sup>3</sup> глинистого раствора добавляют 120—130 кг тампонажного цемента и 12 кг жидкого стекла.

2. Для тампонирования законченных скважин применяют отверждаемый глинистый раствор (ОГР) следующего состава: нормальный глинистый раствор — 64%; формалин — 11%; ТС-10 — 25%. ТС-10 представляет собой темно-коричневую жидкость, изготовленную из смеси (в надлежащих пропорциях) сланцевых фенолов, этиленгликоля и раствора едкого натра.

В ряде разведочных районов к тампонажным растворам добавляют песок. При наличии полного поглощения промывочной жидкости на интервале скважины выше зоны поглощения устанавливают деревянные пробки. В устье ликвидированной скважины оставляют обсадную трубу с цементной пробкой. На трубе отмечают номер и глубину скважины.

При выполнении работ по ликвидационному тампонированию следует руководствоваться утвержденными инструкциями или правилами выполнения этого вида работ, действующими в данном регионе. О выполнении ликвидационного тампонирования составляется акт по форме, предусмотренной инструкцией или правилами.

#### Рекомендуемая литература

1. Воздвиженский Б.И. Разведочное бурение / Б.И. Воздвиженский, О.Н. Голубинцев, А.А. Новожилов. – М.: Недра, 1979. - 510 с.

2. Советов Г.А. Основы бурения и горного дела / Г.А. Советов, Н.И. Жабин. – М.: Недра, 1991. – 368 с.

Составители: Стрик Юрий Николаевич; Ильяш Валерий Владимирович