

Д. Л. Творонович-Севрук

МЕТОДИКА БУРОВЫХ РАБОТ

Рекомендовано

*Учебно-методическим объединением
по естественно-научному образованию
в качестве пособия для иностранных студентов
по специальности «геология и разведка
месторождений полезных ископаемых»*

УДК 622.24(075.8-054.6)

ББК 33.131я73

T28

Рецензенты:

кафедра геологии и географии Гомельского
государственного университета имени Франциска Скорины
(заведующий кафедрой кандидат географических наук,
доцент *А. И. Павловский*);

начальник отдела геологии и минерагении
платформенного чехла филиала «Институт геологии»
Научно-производственного центра по геологии

Н. Ю. Денисова

Творонович-Севрук, Д. Л.

T28 Методика буровых работ : пособие / Д. Л. Творонович-
Севрук. — Минск : БГУ, 2022. — 107 с. : ил.

ISBN 978-985-881-204-1.

Кратко описаны геологическая, техническая, технологическая и организационно-управленческая составляющие процесса бурения.

Предназначено для иностранных студентов, обучающихся по специальности «геология и разведка месторождений полезных ископаемых».

УДК 622.24(075.8-054.6)

ББК 33.131я73

ISBN 978-985-881-204-1

© Творонович-Севрук Д. Л., 2022

© БГУ, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Буровые технологии сохраняют безусловное лидерство в вопросах получения достоверной геологической информации. В силу объективных причин¹ сегодня массовое применение бурения не всегда представляется возможным. Знание особенностей бурения помогает геологу на всех стадиях изучения недр – от подготовительной до камеральной.

К настоящему времени издано большое количество учебной литературы по буровому делу, содержащей сведения на уровне как простых понятий, так и детальных алгоритмов расчётов важнейших параметров проектирования и особенностей бурения. Анализ работ по данной проблематике и мониторинг мнений студентов и молодых специалистов поставили перед автором задачу создать пособие, содействующее более качественному усвоению материала по курсу «Методика буровых работ».

Особое внимание уделено пониманию принципиальных проблем, приводящих к возникновению ошибок у исследователей на всех этапах осуществления буровых работ. Анализируются объективные и субъективные факторы, причины и последствия принятия управленческих решений в данной предметной области. Буровые технологии рассматриваются в комплексе с другими методами получения достоверной информации о строении Земли, а также как неотъемлемая составляющая рационального

¹Автор подразумевает следующие причины: 1) ограниченность бюджета; 2) сжатые сроки проведения исследования; 3) ограничения региональных экологических законодательств; 4) особенности хозяйствования на конкретной территории; 5) прочие факторы: логистика, сезонность проведения работ, возможность привлечения достаточного количества квалифицированных специалистов, работа на территории потенциальных вооружённых конфликтов и др.

недропользования, способствующая устойчивому развитию государств и регионов.

Пособие будет полезно для студентов, обучающихся в рамках специальностей геологической направленности (не относящихся к техническому профилю), магистрантов, иностранных студентов, а также энтузиастов в сфере изучения строения земных недр. Следует отметить, что программа курса «Методика буровых работ» предусматривает ознакомление студентов с общими понятиями предмета.

Иллюстративный материал разработан и выполнен автором.

ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ МЕТОДИКИ БУРОВЫХ РАБОТ



Рассмотрим основные *термины* и *определения*. *Бурение* – процесс заложения особых цилиндрикообразных горных выработок – буровых скважин, имеющих значительное отношение протяжённости к диаметру и проходимых без непосредственного воздействия человека на породы, находящиеся в самой нижней части скважины – *забое* (рис. 1.1, *а*). Верхняя часть скважины называется *устьем*, внутренняя часть – *стенками*, а *ствол* объединяет устье, забой и боковые стенки скважины. Глубина скважин может изменяться от первых метров до более 12 км¹. Диаметры скважин изменяются от первых сантиметров до более чем одного метра. Ствол скважины может залегать под различными углами к горизонту, иметь сложные траектории, а также разветвляться. Разрушение породы при бурении может происходить как по всей площади забоя, так и в виде кольцевого забоя с образованием цилиндрического столбика горной породы (колонковое бурение).

Предмет рассматриваемого курса – методика буровых работ, а именно особенности процесса бурения скважин и сопутствующие операции.

Задачи – ознакомление с основными составляющими бурения: свойствами горных пород, влияющими на процесс их разрушения при бурении; особенностями промывки и продувки скважин; взаимодействием глинистых растворов с флюидами и окружающими породами; осложнениями и авариями при бурении; особенностями искривления скважин и направленным бурением; порядком разобщения продуктивных пластов, их вскрытием и испытанием, а также геологическим обслуживанием бурящихся скважин.

¹ Глубина Кольской сверхглубокой скважины по разным оценкам достигает 12 262–12 400 м.

Принципиальным отличием процесса бурения и заложения скважин от иных горных выработок, например колодцев (рис. 1.1, б), является непосредственное воздействие человека различными породоразрушающими инструментами на породы в забое.

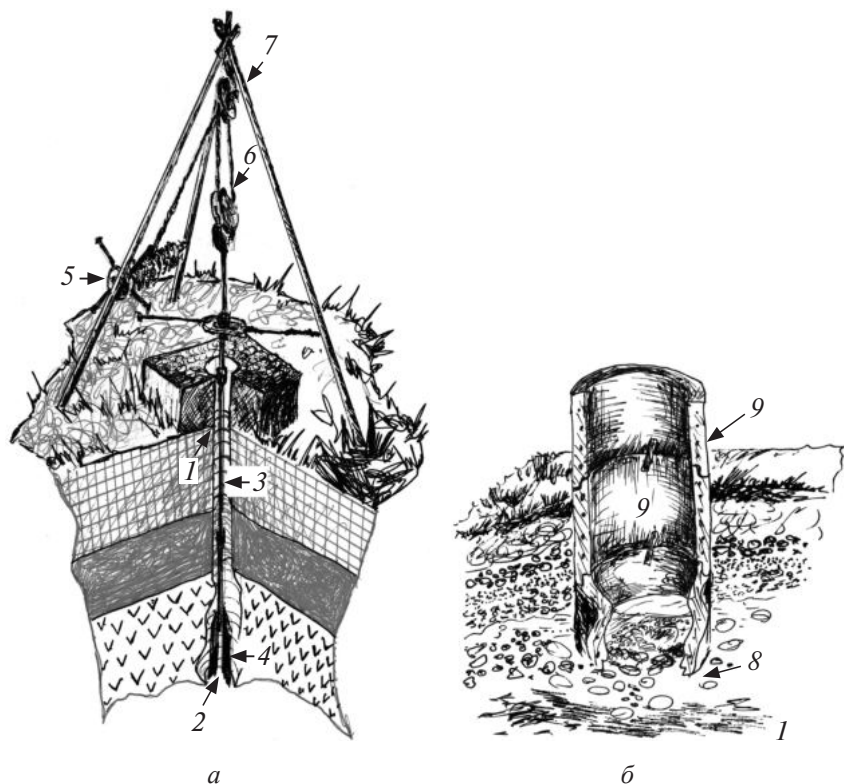


Рис. 1.1. Принципиальная схема буровой установки для ручного бурения (а) и устройство колодца (б):

- 1 – устье; 2 – забой; 3 – ствол скважины с буровым оборудованием;
 4 – долото; 5 – ручная лебёдка; 6 – талевая система; 7 – тренога;
 8 – водоносный горизонт; 9 – стенки колодца

Близким к бурению по принципиальному воздействию на геологические тела является широко распространенное в результате развития технологий разрушения горных пород и крепления сте-

нок горных выработок в XIX в. строительство тоннелей, шахтных стволов и схожих с ними объектов, диаметры которых достаточны для свободного перемещения человека посредством специализированных механизированных комплексов, непосредственно разрушающих породы в забое (рис. 1.2).

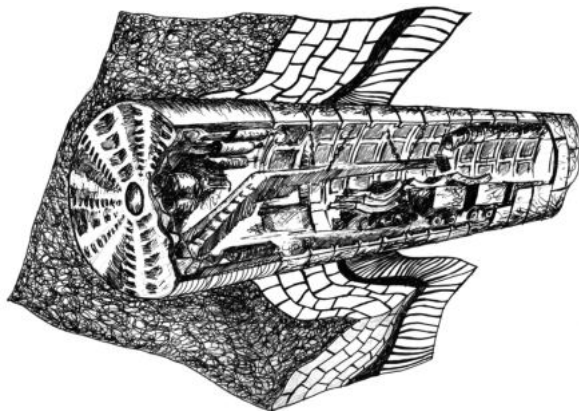


Рис. 1.2. Проходческий щит

Рассмотрим *особенности развития бурения*. Предваряя более детальное изучение данного вопроса, обратим внимание на роль бурения в жизни человека на протяжении истории. В частности, оно рассматривалось преимущественно как важная технология уменьшения временных и материальных затрат, а также как практически единственный приём добычи определённых полезных ископаемых, часто обладающих стратегическим значением, например пресной воды. Однако бурение традиционно являлось областью деятельности, требующей привлечения конструкторской мысли и инноваций независимо от уровня развития общества.

В настоящее время, опираясь на данные такого направления геологии, как история и методология геологических наук, можно сжато рассмотреть данный вопрос в рамках следующих тенденций:

- 1) развитие буровых технологий в целом;
- 2) совершенствование процесса бурения в контексте становления конкретных цивилизаций.

Определение роли индивидов в развитии тех или иных составляющих бурового дела — задача историографии геологии. Мы рассмотрим особенности эволюции бурения в контексте развития человечества.

Так, для познания на донаучном этапе развития геологии (с древнейших времен до XVIII в.) была характерна некоторая децентрализованность процессов выработки знаний и их распространения, что не только присуще рассматриваемой предметной области, но и прослеживается, например, в минералогии, кристаллографии, математике и проявляется в развитии определённых технологий бурения разными исследователями. Указанное обстоятельство объясняется сложностью процессов накопления, сохранения, передачи знаний, особенностями отношения к инновациям в обществе и иными проблемами на рассматриваемом временном этапе.

Вышесказанное проявилось в особенностях развития технологии бурения в Древнем Китае (бурение скважин до глубин порядка 500 м), Индии, Египте (использование алмазного бурения) и др., а также его стремительном развитии в XVII в. в странах Старого и Нового Света. Инженеры прошлого, не имевшие возможности доступа к изобретениям предшественников, часто были вынуждены заново независимо друг от друга изобретать одни и те же вещи. Пример данного явления — открытие алмазного бурения в Европе в XIX в. Период конца XIX — начала XX в. характеризуется внедрением в практику буровых работ дробового бурения, бурения твёрдых сплавов, машинного ударного, роторного и других видов бурения; вводились такие инновации, как многоступенчатые турбобуры, электробуры и др. Скважины бурились как для добычи пресной воды, рассолов, нефти и газа, так и для решения прикладных задач. На территории бывшего СССР бурение было сосредоточено преимущественно в традиционных районах разработки месторождений жидких полезных ископаемых, например Бакинские нефтепромыслы, а также повсеместно распространялось для гидрогеологических целей.

Рассмотрим следующие *задачи бурения, геологические задачи* (более детально раскрываются в рамках классификации буровых скважин по назначению):

1) получение информации о строении земных недр, включая отбор образцов горных пород (прямые исследования) и проведе-

ние геофизических исследований (опосредованные) при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых;

2) эксплуатация месторождений полезных ископаемых;

3) достижение вспомогательных целей, не связанных напрямую с изучением и добычей полезных ископаемых, например бурение скважин, закладываемых для дегазации пластов, прокладка коммуникаций, взрывные работы и др.

В процессе бурения осуществляются следующие основные *действия*:

1) спуско-подъёмные операции;

2) разрушение породы в забое;

3) вынос разрушенной породы из забоя;

4) крепление стенок скважин.

Помимо основных работ, на буровой производятся и вспомогательные: приготовление промывочной жидкости, отбор образцов, геофизические исследования скважин (ГИС), операции в скважинах и др.

Элементы и конструкция скважин. Скважины имеют следующие основные элементы: устье, забой, ствол, обсадная колонна, эксплуатационная колонна, фильтр (фильтры), цементное кольцо.

Этапы полного цикла строительства скважин:

1) постановка задачи перед профильной организацией. На данном временном отрезке производится разработка геолого-технического наряда (ГТН), оценивается объём финансирования проекта, изучаются фондовые материалы;

2) подготовка, перемещение ресурсов и оборудования, необходимых для процесса бурения, включая не только саму проходку ствола скважины, но и обеспечение жизнедеятельности персонала буровой;

3) обустройство буровой, монтаж основного и вспомогательного оборудования;

4) бурение скважины;

5) вскрытие продуктивного горизонта (горизонтов) с возможным его разобщением;

6) опробование, испытание скважины на предмет вызова притока флюидов, оценка её стабильности, освоение;

7) подготовка к эксплуатации скважины или проведение ликвидационных работ, консервация;

8) демонтаж оборудования и рекультивация территории буровой.

Далее рассмотрим *назначение* скважин и их *типы* (более подробно тема раскрывается в рамках классификации буровых скважин по назначению).

Ещё с донаучного этапа развития геологии бурение скважин позволяло решать широкий спектр задач – от поисков, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых до прикладных, связанных с инженерно-геологическими, горнотехническими и прочими вспомогательными, но важными мероприятиями. Следует отметить, одна и та же скважина может использоваться для различных целей. Например, при бурении в целях поисков месторождений полезных ископаемых один и тот же ствол может сначала дать информацию о геологии исследуемого участка, уровне запасов, а далее использоваться для мониторинга газовых эманацій, динамики уровня подземных вод, особенностей изменения геодинамики региона, в том числе извлечения полезных ископаемых и др. Всё это может относиться к одной скважине. Также стволы могут пробиваться изначально для узкоспециализированных нужд – дегазации, водоотведения, инженерно-геологических и др. Данный вопрос неоднозначен, однако имеет определённый смысл, связанный с особенностями проектирования и рационального недропользования в рамках национальных законодательств и административных норм.

В настоящее время в зависимости от цели бурения конкретных скважин выделяют скважины группы А и группы Б (данное подразделение имеет несколько условный характер).

По назначению выделяют следующие основные виды *скважин группы А*, проходимых для исследования геологического строения территории, а также поисков до извлечения полезных ископаемых:

1) опорные – бурящиеся на большие глубины для комплексного исследования геологии значительных территорий;

2) картировочные – бурящиеся для исследования геологии в рамках определённого участка. Результат бурения таких скважин – ГИС и отбор керна;

3) поисковые — предназначенные для поисков неизвестных ранее месторождений полезных ископаемых;

4) параметрические — проходимые при исследованиях потенциально перспективных регионов на предмет поиска месторождений полезных ископаемых, а также корректировки информации об особенностях геофизических параметров горных пород и их соответствия наблюдаемому разрезу;

5) зондировочные (к ним относят также и сейсмозврывные) — проходящие на небольших глубинах и служащие для изучения горизонтов в рамках решения конкретных вопросов (например, уточнения границ пластов). Указанные горные выработки часто могут не иметь крепления стенок;

6) разведочные — бурящиеся в случае необходимости установления границ расположения месторождений полезных ископаемых в отдельном регионе;

7) структурные — предназначенные для уточнения особенностей залегания конкретного горизонта, геологического тела в контексте мероприятий по поиску и разведке месторождений полезных ископаемых при построении структурных геологических карт;

8) эксплуатационные — бурящиеся для непосредственной добычи полезного ископаемого в жидком или газообразном агрегатном состоянии — вода, нефть, газ, рассолы, продукты выщелачивания, серные расплавы и др.;

9) наблюдательные — служащие для мониторинга (системного или несистемного) состояния геологической среды в горно-промышленных районах, для гидрогеологических нужд, оценки экологической ситуации, изучения сейсмичности территории, исследования геотермального режима и др.;

10) нагнетательные — позволяющие создать давление в пластах для извлечения полезного ископаемого;

11) специальные — позволяющие решать широкий спектр геологических задач, которые выходят за пределы традиционных, характерных для поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, — это проходка скважин для заложения взрывных зарядов, сверхглубокого бурения, проходка дополнительных стволов для отбора увеличенного количества образцов определённого полезного ископаемого и др.

В рамках данной группы есть подгруппы скважин с более специализированными стратификациями:

1) скважины для поисков, разведки и эксплуатации месторождений нерудных и рудных полезных ископаемых:

- для поисков, разведки и эксплуатации месторождений при строительстве предприятий по их добыче;

- поисков, разведки и эксплуатации месторождений посредством закачки воды в недра (гидроразрыв, выщелачивание, вымывание и др.);

- поисков, разведки и эксплуатации месторождений путём подземной выплавки;

- поисков, разведки и разработки твёрдых полезных ископаемых с перспективой разработки открытым способом;

2) скважины для комплексных гидрогеологических целей:

- для нужд водоснабжения;

- поисков, разведки и добычи вод различного гидрохимического состава;

- поисков, разведки и добычи геотермальных вод;

3) скважины для поисков, разведки и разработки нефтегазовых месторождений.

Рассмотрим *скважины группы Б*, бурящиеся для горнотехнических, инженерных и инженерно-геологических целей¹:

1) горнотехнические скважины:

- горнопроходческие – проходимые для прокладки коммуникаций без проведения объёмных вскрышных работ, строительства шахтных комплексов и др.;

- вспомогательные – предназначенные для создания дренажа, тампонирования, замораживания, водопонижения, подачи воды, спуска различных материалов (водо-, лесоспускные), водоотливные и водопоглощающие, вентиляции, дегазационные, воздухопроводные, заиловочные и др.;

- взрывные – охватывающие в том числе бурение шпуров – скважин диаметром до 50 мм и протяжённостью до 5 м;

2) инженерные скважины – проникающие преимущественно в верхние горизонты покровных отложений для различных узко-

¹Данные скважины могут использоваться также и для целей, относящихся к группе А.

специализированных целей, таких как прокладка коммуникаций, строительство дорог, сооружений и др.;

3) инженерно-геологические скважины – содержащие ряд более мелких подгрупп:

- геоэкологические – дающие представление о геоэкологических условиях конкретной локальной площадки;

- зондировочные – позволяющие точно определить контуры тех или иных горизонтов при изучении геологии отдельного участка;

- разведочные – способствующие получению точной информации о геологии и инженерно-геологических свойствах грунтов;

- гидрогеологические – предназначенные для изучения фильтрационных параметров водозаборов, дебита скважин в контексте обеспечения народного хозяйства источниками питьевого водоснабжения;

- специальные – позволяющие выполнить не предусмотренные документацией виды работ, такие как отбор проб большого количества материала с определённого горизонта, проведение экспериментальных работ по добыче полезного ископаемого и др.;

4) наблюдательные режимные скважины – предназначенные для постоянного мониторинга состояния каких-либо элементов геологической среды, например изменение уровня грунтовых вод, особенностей сезонного колебания их химического состава и др.

Данный список не исчерпывается описанным назначением скважин, он может увеличиваться в зависимости от постановки новых задач.

Вопросы для самоконтроля и саморазвития

1. История развития бурения.
2. Историография бурения в странах бывшего СССР.
3. Историография бурения в странах Старого Света.
4. Историография бурения в странах Нового Света.
5. Центры зарождения бурения в контексте развития цивилизаций.
6. Развитие бурения до нашей эры.
7. Задачи бурения, геологические задачи.
8. Элементы и конструкция скважин.

9. Устье скважины.
10. Забой скважины.
11. Многозабойное бурение.
12. Назначение скважин и их типы.
13. Классификация буровых скважин по назначению.
14. Скважины группы А.
15. Скважины группы Б.
16. Классификация скважин в нефтяной и газовой промышленности.
17. Альтернативные классификации скважин.
18. Проблемы терминологии в классификации буровых скважин по назначению.
19. История бурения на море.
20. Особенности бурения в различных климатических условиях.



ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И ИХ РАЗРУШЕНИЕ ПРИ БУРЕНИИ

Важной составляющей процесса бурения, помимо удаления обломков горных пород из забоя и крепления стенок скважины, является разрушение вещества забоя. В данном случае, с одной стороны, есть горные породы, обладающие широким спектром физических и химических свойств, а с другой – породоразрушающий инструмент и буровое оборудование. Горные породы обуславливают не только скорость проходки скважины, особенности её искривления, но и возникновение аварийных ситуаций и осложнений при бурении. Они влияют на требования к составу промывочной жидкости.

Рассмотрим основные физико-механические *свойства горных пород*, влияющие на процесс бурения:

1) *твёрдость* – способность противостоять давлению внедряющихся в них конструктивных элементов долота. Определяется традиционно по шкале Мооса, есть и абсолютные единицы измерения твёрдости – кгс/см². Пример твердых пород – граниты, железистые кварциты;

2) *прочность* – способность противостоять ударным нагрузкам, скалыванию, истиранию, сжатию, растяжению и иным приложенным к ним воздействиям. Пример прочных пород – граниты, кварциты и др.;

3) *упругость* – способность возвращаться к прежней форме после прекращения воздействия;

4) *абразивность* – способность к истиранию бурового инструмента, обусловлена твёрдостью составляющих породу минералов, например корунд;

5) *хрупкость* – способность к разрушению от каких-либо воздействий при минимальной пластичности;

6) *водопроницаемость* – способность к фильтрации воды через свои пласты, обуславливается наличием сообщающихся между

собой пор, пустот и трещин. Основные составные элементы данных пород могут быть дезинтегрированными, например пески, галечники и др.;

7) *устойчивость* – способность сохранять стенки скважины без обрушения. Наиболее устойчивы магматические и метаморфические породы, менее – терригенные, в частности обломочные, склонные к оползанию;

8) *слоистость* – свойство, характеризующее наличие слоев в разбуриваемой толще. Все элементы данной породы могут быть как консолидированы, так и неконсолидированы между собой. Примером слоистых пород служат сланцевые формации, флиш и др. Существует также понятие «ложная слоистость», связанное с формированием слоистоподобных образований, выполняющих магматические резервуары в процессе ликвации, в данном случае выделяемые слои будут характеризоваться различным минеральным составом;

9) *трещиноватость* – способность, которая характеризует наличие трещин в горных породах и обуславливает такие свойства, как *водопроницаемость* и *пустотность*. В рассматриваемом случае подразумевается наличие всех без исключения трещин – сообщающихся и не сообщающихся между собой. Примером таких пород служат трещиноватые известняки. Данное свойство присуще горизонтам кор выветривания;

10) *анизотропность* – способность, определяющая различие физических свойств в зависимости от направления воздействия на породу или минерал. Пример проявления данного свойства – способность графита расщепляться по спаянности;

11) *плотность, или удельный вес*, – свойство горных пород, характеризующее зависимость веса вещества относительно занимаемого им объёма. Например, уранинит имеет удельный вес 8–10 г/см³, а вода – 1 г/см³;

12) *пластичность* – способность горных пород к необратимым изменениям своей формы под внешним воздействием, а также в зависимости от внутренних напряжений, примером которых служат глины;

13) *пустотность* – способность, характеризующая горные породы, которые содержат в своём объёме пустоты. Данное свой-

ство близко к водопроницаемости, отличается наличием пустот, которые могут не сообщаться между собой.

Классификация горных пород по буримости является важной составляющей процесса проектирования скважин, соответственно, планирования объёма финансирования и привлечения различных ресурсов. Оценка степени буримости горных пород нескрытого скважиной разреза – неоднозначная задача для специалиста любой квалификации при проектировании скважины по причине невозможности получения знаний о точном геологическом строении разреза, который будет вскрывать скважина. Также одни и те же породы могут различаться по буримости в реальных условиях из-за сильного различия вещественного состава, формировавшегося на протяжении истории их геологического развития в конкретном регионе. Таким образом, существуют объективные предпосылки невозможности точного определения рассматриваемой величины до начала процесса бурения.

Горные породы на основе эмпирических данных процесса проходки скважин традиционно классифицируются по буримости в зависимости:

1) от физических свойств горных пород, влияющих на процесс бурения;

2) способов бурения и скорости проходки скважины.

Для ударного механического бурения выделяют 7 категорий буримости, а для вращательного механического бурения – 12. В зависимости от совершенствования технологий бурения рассматриваемые классификации будут изменяться.

Основные закономерности разрушения горных пород при механическом бурении. Горные породы способны разрушаться как от статических, так и от динамических нагрузок, приложенным к ним в процессе *вдавливания* или *удара, резания, истирания, скалывания* (рис. 2.1). Практика механического бурения показала, что горные породы эффективнее всего разрушаются путём приложения скалывающего воздействия, менее стойки к растяжению и лучше переносят сжатие. Данное обстоятельство обусловлено тем, что под воздействием ударов горные породы способны разрушаться при создании напряжений меньших, чем предел их прочности. Также существует точка зрения о вдавливании как

основном виде деформации, при котором разрушаются горные породы. Режущее воздействие тоже менее эффективно по причинам усиленного износа долота.

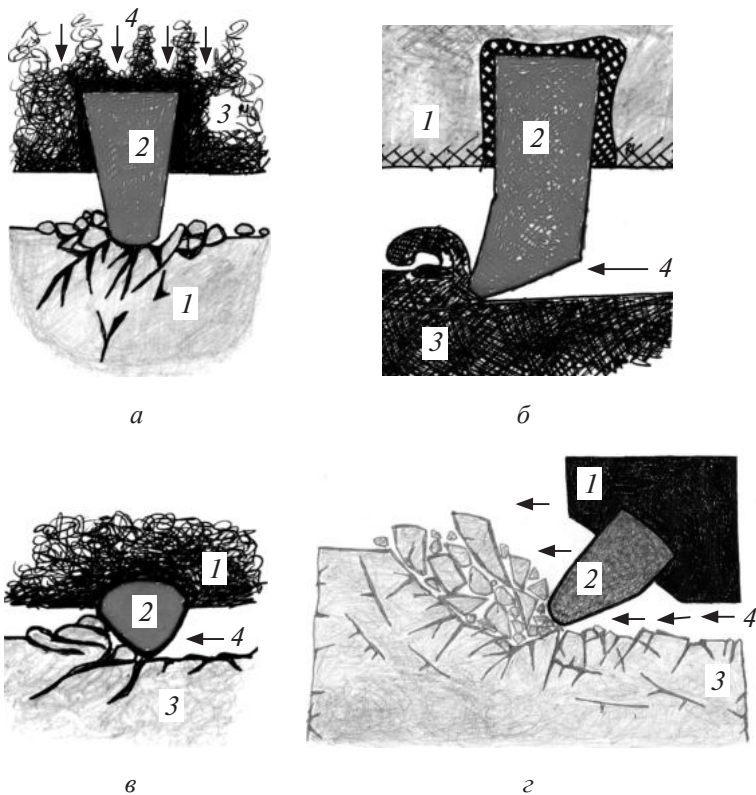


Рис. 2.1. Разрушение пород при бурении путём вдавливания или удара (а), резания (б), истирания (в), скалывания (г):

1 – долото; 2 – армирующий элемент;
3 – разрушаемая порода; 4 – направление воздействия

Основным критерием отнесения горной породы к определённой категории по буримости является *механическая скорость проходки* скважины за 1 ч бурения в стандартных условиях. Интенсивность разрушения породы в забое обуславливается при-

меняемыми при бурении долотами, забойными двигателями, режимами бурения, подбором состава промывочных жидкостей, квалификацией и мотивацией к работе персонала, своевременным обеспечением буровой необходимыми ресурсами.

Вопросы для самоконтроля и саморазвития

1. Основные физико-механические свойства горных пород, влияющие на процесс бурения.
2. Воздействие геологических процессов на физико-механические свойства горных пород при бурении.
3. Основные закономерности разрушения горных пород.
4. Деформации горных пород.
5. Прочность.
6. Упругость.
7. Пластичность.
8. Твердость.
9. Абразивность.
10. Водопроницаемость.
11. Слоистость.
12. Хрупкость.
13. Пустотность.
14. Анизотропность.
15. Классификация горных пород по буримости для различных способов бурения.
16. Категории горных пород по буримости и характерные для них породы.
17. Критерии отнесения горных пород к различным категориям по буримости.
18. Основные закономерности разрушения горных пород при бурении.
19. Механическая скорость проходки.
20. Предупреждение и борьба с осложнениями при бурении.



СПОСОБЫ БУРЕНИЯ. БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ

Рассмотрим *классификацию способов бурения*. Выделяют следующие *механические* способы разрушения горных пород, предусматривающие нахождение долот в забое и широко применяемые в различных областях геологии в начале XXI в.:

- 1) вращательный, в рамках которого есть способ бурения с верхним вращателем (роторное) и бурение с забойными двигателями;
- 2) ударный (штанговое и канатное бурение, вибробурение);
- 3) ударно-вращательный (бурение резанием с наложением ударов).

Существуют и *бездолотные* способы разрушения горных пород, перспективность внедрения которых в настоящее время напрямую связана с особенностями развития научно-технического прогресса:

- 1) взрывной;
- 2) термические, связанные с непосредственным нагреванием пород в забое, включающие огнеструйный, плазменный, плазменно-огнеструйный, электродуговой и др.;
- 3) термические, связанные с опосредованным нагреванием породы в забое: лазерный, электронно-лучевой электроиндукционный, электротермический;
- 4) термомеханический;
- 5) гидромониторный;
- 6) гидроабразивный;
- 7) эрозионный гидромониторный;
- 8) электрогидравлический.

Помимо указанных способов бурения, существуют и другие способы разрушения пород в забое, перспективы внедрения которых в практику возможны в будущем, — это *атомное* бурение, основанное на выделяемой энергии распада ядер атомов; *крио-*

абразивное бурение, связанное с режущим воздействием струи жидкого газа, находящегося под большим давлением, и др.

Вращательное бурение представляет собой процесс проходки скважин, связанный с разрушением путём резания или истирания пород вращающимся, прижатым к забою инструментом – долотом или коронкой. Существуют следующие модификации вращательного бурения:

1) роторное – вращение долота посредством вращения бурильной колонны от устья к забою;

2) турбинное – связано с вращением забойного двигателя – турбобура, расположенного непосредственно в самой нижней части бурильной колонны;

3) роторно-турбинное – вращение долота турбобуром, расположенном в забойном агрегате, вращающимся через бурильную колонну посредством ротора;

4) электробурение – вращение долота с приводом от электрического двигателя – электробуром;

5) бурение объёмным двигателем – связано с вращением долот винтовым гидравлическим двигателем – гидробуром (рис. 3.1);

6) реактивно-турбинное – способ проходки скважин или стволов большого диаметра турбобурами, работающими одновременно с долотами, двигающимися в забое по планетарной траектории.

Колонковое бурение представляет собой проходку скважины путём разрушения породы кольцевым забоем с образованием цилиндрического фрагмента породы – керна – в целях его дальнейшего извлечения. Существуют разновидности бурения, сочетающие колонковое (как способ получения керна) и различные забойные двигатели: турбобуры, электробуры и др.

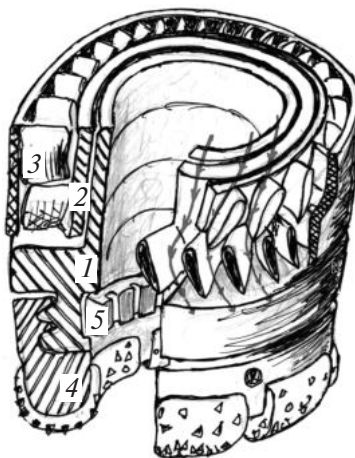


Рис. 3.1. Устройство турбобура:
1 – приводной вал; 2 – ротор;
3 – статор; 4 – долото;
5 – кернорватель

Механическое вращательное бурение глубоких скважин характеризуется:

1) бурением с забойными двигателями повышенной мощности;

2) широким использованием лёгких сплавов и высоколегированных сталей в конструкции бурильной колонны;

3) применением модифицированной (утяжелённой до 2 г/см^3) промывочной жидкости, сохраняющей свои физические и химические свойства на больших глубинах, которые способны выдерживать воздействие высоких температур (более $350 \text{ }^\circ\text{C}$) и давления;

4) высокопроизводительным насосным и спуско-подъёмным оборудованием;

5) большим искривлением скважин: например, отклонение Кольской сверхглубокой скважины на глубине 12 км составило более чем 800 м по горизонтали.

Глубокое и сверхглубокое бурение обеспечивает решение следующих главных задач:

1) создание опорных скважин и получение наиболее полной информации о строении пород на больших глубинах;

2) сбор информации, требуемой для моделирования процессов генезиса месторождений полезных ископаемых, в том числе оценки потенциальной нефтегазоносности территории;

3) изучение геофизических границ для повышения результативности ГИС в исследуемых регионах;

4) исследование геотермальных ресурсов;

5) создание и совершенствование новых технологий глубокого бурения.

Шнековое бурение предполагает проходку скважин при вращении лопастного долота и последующем удалении выбуренной породы путём поступательного движения по спиральям вращающегося шнека, образующего бурильную колонну.

Ударное бурение осуществляется путём ударного разрушающего воздействия на забой падающего бурового снаряда. В качестве бурового снаряда используются желонки, стаканы и другой инструмент ударного действия. Существуют следующие разновидности ударного бурения: 1) ударно-канатное — осуществляется путём многократного ударного воздействия на породы забоя

долотом, подвешенном на канате; 2) ударно-штанговое – связано с многократным воздействием на породы забоя долотом, находящемся на колонне штанг (данный способ обеспечивает минимальное вертикальное отклонение оси скважины).

Ударно-вращательное бурение представляет собой проходку скважин путём разрушения пород в забое при сочетании ударного и вращательного воздействия на породы посредством скалывания.

Вибрационное бурение основано на воздействии вибрации на породы в забое.

Буровое оборудование и инструмент. Вопрос разделения оборудования буровой на основное и дополнительное (вспомогательное) (рис. 3.2) несколько субъективен, одни и те же его виды могут классифицироваться по-разному, однако, несмотря на определённые расхождения в типизациях, можно выделить следующие его разновидности:

- 1) буровые установки;
- 2) основное технологическое оборудование – противовыбросовое, цементировочное, электро- и пневмооборудование, оборудование для циркуляции промывочной жидкости и др.;
- 3) дополнительное оборудование – буровой и аварийный инструмент, буровые долота и забойные двигатели, элементы буровой колонны и обсадные трубы, противовыбросовое оборудование и др.;
- 4) вспомогательное оборудование – вспомогательный инструмент и устройства для осуществления спуско-подъёмных операций (подкладные и закладные вилки, трубные и отбойные ключи, элеваторы и др.).

Перечислим основные *типы* буровых долот.

Лопастные долота имеют лопатки в забойной области и служат для разбуривания мягких и рыхлых пород. В центральной части долот обычно делают отверстия для подачи промывочной жидкости при бурении с верхней или нижней промывкой. Режущие кромки долот могут армироваться твёрдосплавными элементами. В буровой практике распространены двух- и трёхлопастные долота (рис. 3.3).

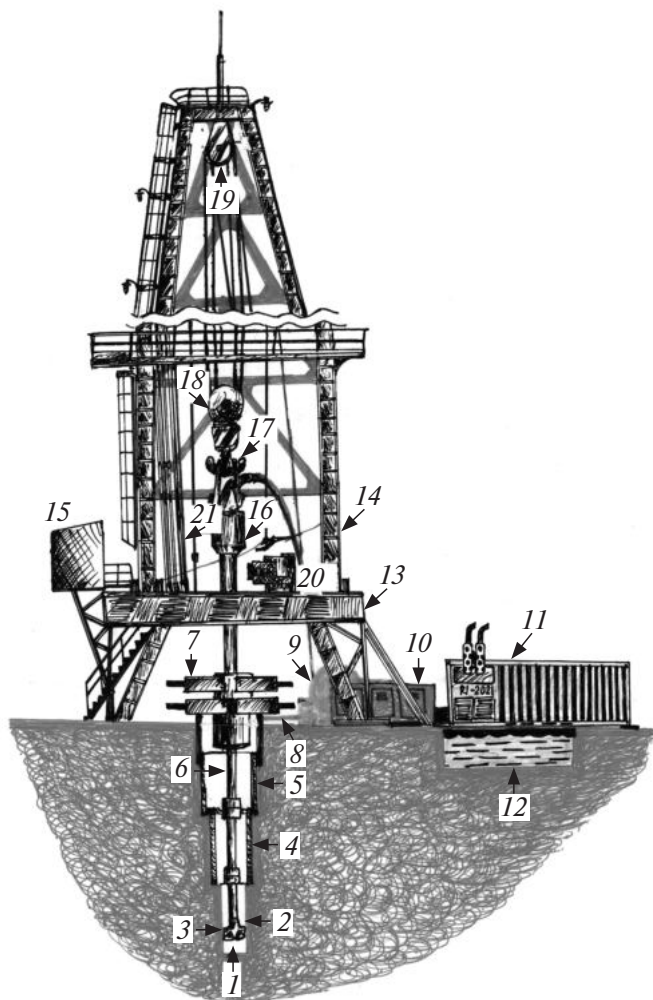


Рис. 3.2. Основное буровое оборудование:

- 1 – забой; 2 – ствол скважины; 3 – долото;
 4 – колонна обсадных труб; 5 – кондуктор;
 6 – бурильная колонна; 7 – превентор;
 8 – линия глушения скважины; 9 – буровая лебёдка;
 10 – буровой насос; 11 – привод; 12 – глинистый амбар;
 13 – буровой стол; 14 – буровая вышка; 15 – пульт бурильщика;
 16 – вертлюг; 17 – буровой крюк; 18 – талевый блок;
 19 – кронблок; 20 – труборазворот; 21 – бурильные свечи

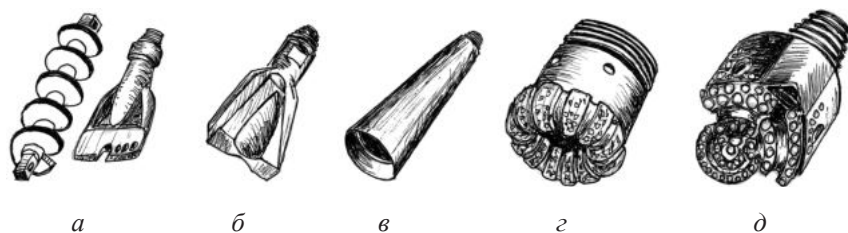


Рис. 3.3. Буровые долота:
 а – шнек и долото типа «рыбий хвост»;
 б – долото для ударного бурения; в – желонка;
 г – алмазная коронка; д – шарошка твёрдосплавная

Алмазные долота представляют собой армированный алмазами породоразрушающий инструмент, применяемый для бурения кольцевым или сплошным забоем конфигурации. Данный тип оборудования служит для проходки твёрдых пород, а также удлинения рейсов.

Шарошечные долота являются долотами для ударно-вращательного бурения различных по буримости пород (рис. 3.3, д).

Существуют шарошечные долота с количеством шарошек от 1 до 6, диаметрами до 500 мм. С ростом твёрдости горных пород уменьшают высоту зубьев и увеличивают их количество. Для профилактики заклинивания долот венцы зубьев шарошек располагаются с перекрытием, в результате чего достигается их самоочистение от налипающих кусков разрушенных пород.

Колонковые долота предназначены для бурения кольцевым забоем и представлены коронками, армированными алмазами или твёрдосплавными элементами.

Долота *специального назначения* представлены пикообразными долотами, фрезерами, райберами, шарошечными долотами для направленного бурения, шпуровидными шарошечными долотами, шарошечными долотами для бурения с продувкой и др.

Бурильная колонна (рис. 3.4) служит для передачи вращающего момента к долоту от ротора, перекачки промывочной жидкости в забой, сборки токопровода при бурении электробуром, передачи давления на долото, спуско-подъёмных операций, осуществления вспомогательных работ при бурении.

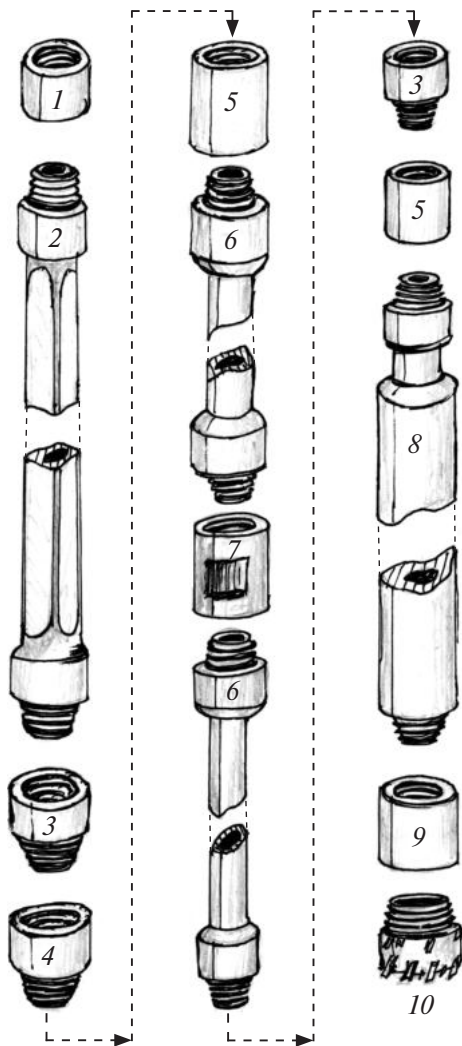
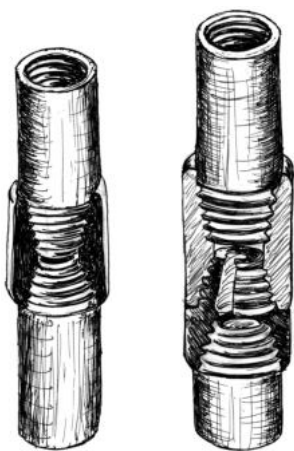


Рис. 3.4. Устройство бурильной колонны:

- 1 – переводник вертлюга; 2 – ведущая бурильная труба;
- 3 – нижний переводник бурильной трубы;
- 4 – предохранительный переводник;
- 5 – муфта бурильного замка; 6 – бурильная труба;
- 7 – соединительная муфта; 8 – утяжелённая бурильная труба;
- 9 – переводник; 10 – долото

Бурильная колонна собирается из ведущей трубы и бурильных труб, соединяемых между собой бурильными замками, которые состоят из муфт и nipples (рис. 3.5). Утяжелённые бурильные трубы соединяют без бурильных замков напрямую. Верхние утяжелённые бурильные трубы присоединяют к бурильной колонне через переводник, а к нижним через переводник присоединяют забойный двигатель или долото.

Бурильные трубы, которые воспринимают сжимающие, растягивающие и крутящие нагрузки при бурении, изготавливаются из высококачественных сплавов в бесшовном исполнении, что обеспечивает их высокую прочность и лёгкость. Ведущие трубы, контактирующие с ротором, в отличие от обычных круглых, имеют многогранную форму. В зависимости от особенностей конструкции бурильных замков бурильные трубы производятся с различным исполнением концевых частей: с приваренными соединительными концами; высаженными внутрь концами; высаженными наружу концами (рис. 3.6). Также большое значение имеет диаметр проходного сечения бурильных труб, обуславливающий особенности циркуляции промывочной жидкости.



a

б

Рис. 3.5. Соединения бурильных труб:
a – муфтовое; *б* – замковое



Рис. 3.6.

Бурильная труба с высаженной наружу резьбой

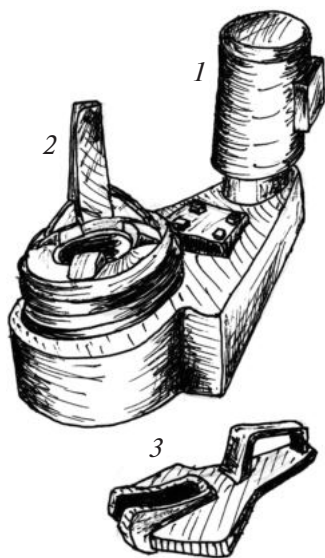


Рис. 3.7. Принципиальная схема труборазворота:
1 – корпус; 2 – води́ло;
3 – подкладная вилка

Труборазворот обеспечивает свинчивание и развинчивание резьбовых соединений бурильной колонны, а также обсадных труб (рис. 3.7).

Бурильные свечи представляют собой сборные элементы бурильной колонны, состоящие из двух и более бурильных труб, неразъёмные в процессе спуско-подъёмных операций. Продолжительность спуско-подъёмных операций и износ замков можно снизить при использовании длинных бурильных свечей. Бурильные свечи собираются между собой бурильными замками. Длина свечей определяется высотой буровой вышки и может достигать 50 м. Бурильные свечи устанавливают и снимают с подсвечника в порядке развинчивания бурильной колонны.

Большинство разъёмных элементов бурильной колонны при колонковом бурении соединяются между собой при помощи резьбовых соединений различных типов: крупной замковой, мелкой трубной, отличающихся конусностью, размерами, шагом и др.

Буровые вышки предназначены для осуществления посредством талевого системы спуска и подъёма бурильной колонны, а также её элементов, постановки обсадных труб и других операций, сопровождающих бурение. Выделяют башенный и мачтовый типы буровых вышек (рис. 3.8). Вышки различаются в зависимости от диаметра, глубины скважин и веса оборудования, в частности их высота меняется от 28 до более 50 м.

Талевая система (полиспастовая) буровой, состоящая из кронблока, талевого блока, талевых канатов и др., служит для упрощения спуско-подъёмных операций на буровой посредством увеличения тягового усилия буровой лебёдки при перемещении канатов через систему канатных роликов (рис. 3.9).

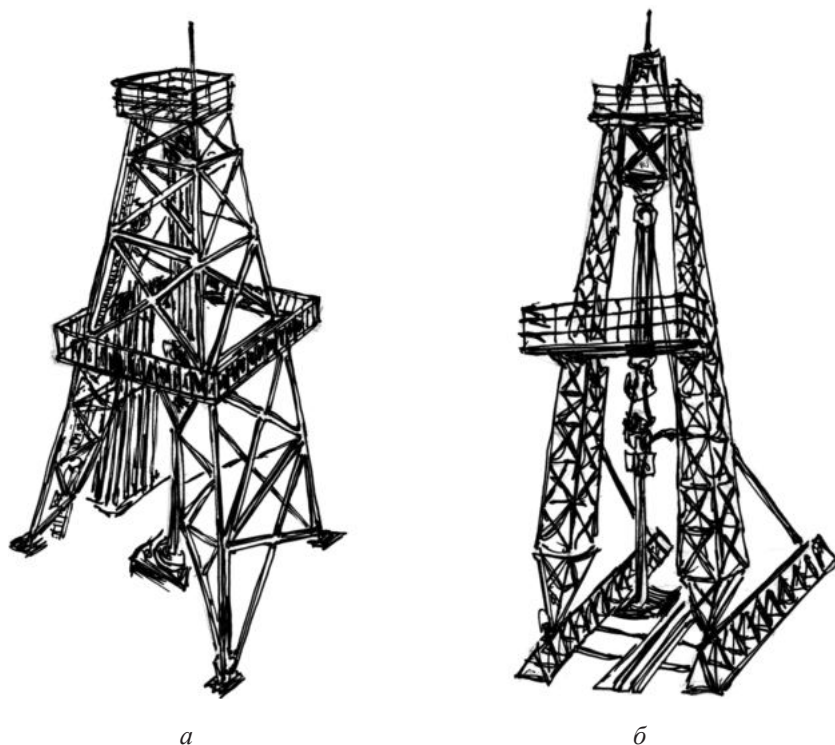


Рис. 3.8. Буровые вышки башенного (а) и мачтового (б) типов

Кронблок является неподвижным блоком полиспастовой системы, закреплённым в верхней точке буровой вышки, содержащим канатные ролики, по которым перемещаются талевые канаты, соединяющие талевый и кронблоки, а также буровую лебёдку.

Талевый блок представляет собой подвижный блок полиспастовой системы буровой, соединяющийся с кронблоком талевыми канатами.

Талевые канаты – тросы, состоящие из свитой между собой стальной проволоки, соединяющие кронблок, талевый блок и буровую лебёдку для проведения спуско-подъёмных операций.

Буровые крюки служат для связи талевых канатов и штропов.

Элеватор захватывает колонну труб для её удержания на весу и обеспечения спуско-подъёмных операций (см. рис. 3.9, в).

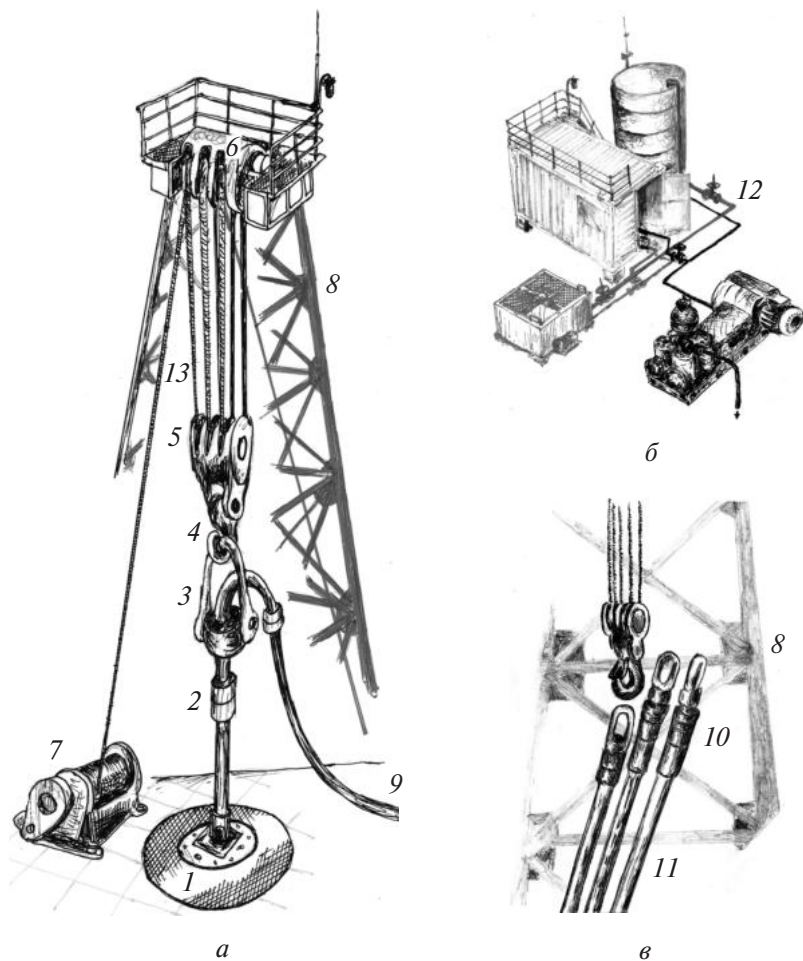


Рис. 3.9. Принципиальные схемы сопрягаемых между собой элементов спуско-подъёмного оборудования буровой (*а*), некоторых элементов обвязки бурового насоса (*б*) и расположения элеваторов на бурильных трубах при проходке скважины (*в*):

- 1 – ротор; 2 – бурильная колонна; 3 – вертлюг;
 4 – буровой крюк; 5 – талевый блок; 6 – кронблок;
 7 – буровая лебёдка; 8 – вышка; 9 – буровой шланг (рукав);
 10 – элеватор; 11 – бурильные трубы; 12 – обвязка оборудования буровых насосов; 13 – талевый канат

Штропы соединяют буровые крюки (крюкоблоки) с элеватором, фиксирующим верхнюю часть колонковых труб в процессе спуско-подъёмных операций.

Буровая лебёдка производит посредством талевого системы спуско-подъёмные операции на буровой. Привод буровой лебёдки может осуществляться от различных двигателей.

Ротор предназначается для передачи вращающего момента бурильной колонне, а также её удержания в процессе спуско-подъёмных операций (рис. 3.10). В случае применения забойных двигателей он задействуется для периодического вращения бурильной колонны. Ротор состоит из корпуса, приводного вала, трансмиссии, вкладыша, также оснащается клиновым захватом для оперативного присоединения к бурильной колонне.

Вертлюг является узлом, соединяющим талевую систему буровой с бурильной колонной, обеспечивающим её беспрепятственное вращение и подачу промывочной жидкости. Вертлюг состоит из подвижной и вращающихся частей, уплотняющихся сальниками для сохранения давления нагнетаемых растворов.

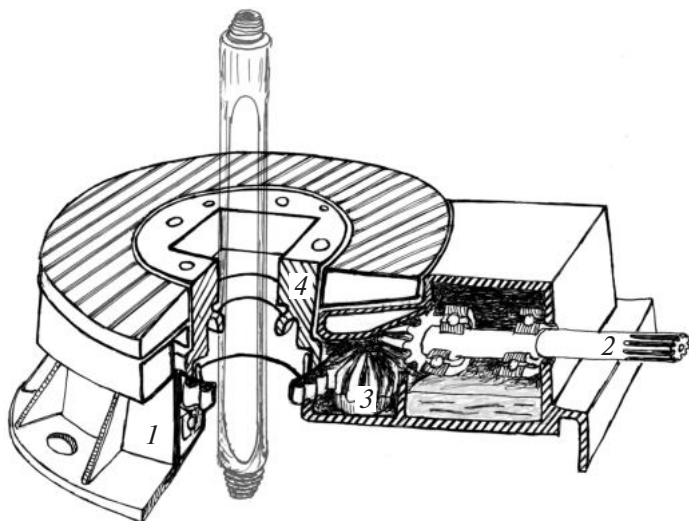


Рис. 3.10. Принципиальная схема ротора:
1 – корпус; 2 – приводной вал;
3 – трансмиссия; 4 – вкладыш

Буровой насос – важнейшая составляющая бурового оборудования, определяющая эффективность проходки скважины (см. рис. 3.2). Широко распространены поршневые двухцилиндровые насосы двойного действия, способные производительно нагнетать вязкую, тяжёлую, агрессивную промысловую жидкость. Буровая может оснащаться несколькими насосами.

Обвязка оборудования буровых насосов и напорной линии представляет собой следующий процесс (рис. 3.9, б). Промысловая жидкость от буровых насосов передаётся нагнетательной линии – *манифольду* – к вертлюгу через буровой шланг. Манифольд оснащается компенсаторами и регуляторами давления, задвижками и другим оборудованием, позволяющим контролировать подачу глинистого раствора в скважину, в частности компенсировать пульсирование подачи рабочего агента к вертикально установленному стояку, расположенному вблизи устья скважины. Стояк с вертлюгом соединяется буровым шлангом.

Буровой шланг (рукав) применяется для перекачки промысловой жидкости от бурового насоса в бурильную колонну. Внутренняя часть рукава состоит из резины, стойкой к углеводородам, перекрывается оплёткой из прорезиненной ткани и усилена взаимно перекрывающимися металлическими лентами. Внутренний диаметр шланга достигает 100 мм, способен выдерживать давление до 300 кгс/см² (см. рис. 3.9, а).

Привод буровых установок (силовой агрегат) различается в зависимости от требуемой мощности бурового оборудования (см. рис. 3.2). В случае применения мобильных станков, бурящих на глубины, которые достигают от первых сотен метров до километра, часто эксплуатируют дизельные моторы. При недостатке мощности последние объединяются, образуя многодвигательные схемы. Стационарные или передвижные установки для разведочного и поискового бурения могут оснащаться дизель-электрическими приводами для упрощения обслуживания передачи мощности буровому станку. Скважины глубокого бурения оснащаются электродвигателями с подключением к электрическим сетям, многотопливными газотурбинными двигателями, способными работать также на попутном газе.

Вспомогательное буровое оборудование представляет собой инструменты (разводные ключи, подкладная закладка, вилки и др.), применяемые для выполнения вспомогательных операций при бурении скважин.

Буровые установки. Типы буровых установок в зависимости от назначения скважин. Вопрос классификации буровых установок по своей сути субъективен и отражает определённый аспект систематизации. Так, в зависимости от параметров, например допустимой нагрузки на крюке (800–10 000 кН), условной глубины бурения (1250–16 000 м), расчётной мощности привода на входном валу подъёмного агрегата (200–4000 кВт) и иных, в соответствии с ГОСТ 16293-89 выделяют 12 классов буровых установок. Одна и та же установка может совмещать в себе несколько элементов классификации:

1) по виду работ:

- для эксплуатации месторождений;
- поисково-разведочных работ;
- прикладных работ.

2) способу бурения:

- бурение вращательное;
- ударно-вращательное;
- вибрационное;
- разрядно-импульсное;
- огнеструйное.

3) типу привода:

- привод дизельный;
- дизель-электрический;
- электрический;
- дизель-гидравлический;
- электрогидравлический.

4) способу передвижения:

- установки самоходные;
- стационарные;
- передвижные.

5) расположению:

- установки наземные;
- морские (имеют много разновидностей (рис. 3.11)).

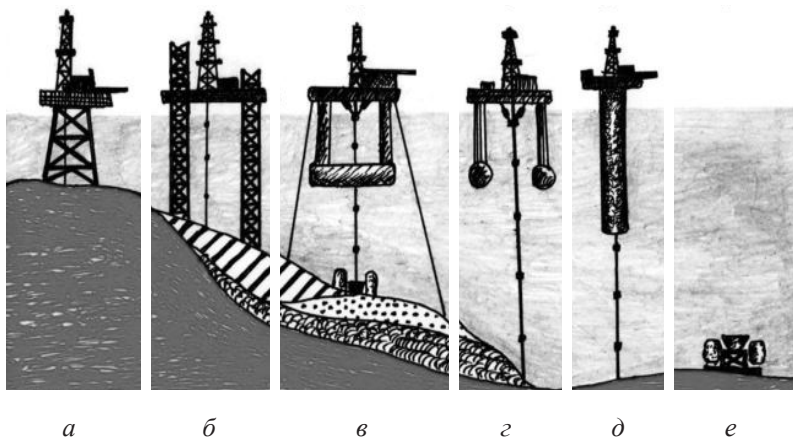


Рис. 3.11. Разновидности морских буровых установок и законченных скважин:
a – стационарная платформа; *б* – стационарная платформа со спускаемыми опорами; *в* – стационарная опора с растянутыми тросами; *г* – полупогружная платформа с автоматическим геопозиционированием; *д* – полупогружная платформа типа *SPAR*; *е* – скважина с законченным устьевым оборудованием

Монтаж буровых установок. В настоящее время широкое распространение получили следующие *способы монтажа* буровых установок, обусловленные их массогабаритными параметрами, рельефом местности производства буровых работ, наличием путей сообщения, климатом и др.:

1) *агрегатный* – подразумевает монтаж буровой установки из отдельных перемещаемых агрегатов – ротора, бурового насоса, приводов и др.;

2) *мелкоблочный* – связан со сборкой оборудования на стальных основаниях саночного типа, используемого для перебазирования буровых установок, а также с установкой мелких блоков на фундаменты и подключения, например собранные на одном основании буровая лебёдка и буровой насос, ротор с приводом и др.;

3) *крупноблочный* – предусматривает сборку в виде крупных блоков, а монтаж производится с помощью передвижных подъёмных кранов и др., например насосный блок с несколькими

насосами, вышечно-лебёдочный блок, силовые агрегаты и трансмиссия и др.;

4) *модульный* — связан с монтажом буровой из отдельных модулей, представленных насосными станциями, например станции пожаротушения, силовой установки и др.

Вопросы для самоконтроля и саморазвития

1. Классификация способов бурения.
2. Механическое вращательное бурение глубоких скважин.
3. Роторное бурение, технические средства.
4. Буровое оборудование, инструмент.
5. Буровые долота, их типы.
6. Лопастные, алмазные, шарошечные долота.
7. Колонковые долота и долота специального назначения.
8. Буровые механизмы: ротор, лебедка, талевая система, вертлюг, буровые насосы, силовой агрегат.
9. Буровые установки.
10. Классификация буровых установок по принципам бурения.
11. Типы буровых установок в зависимости от назначения скважин.
12. Типы буровых установок для бурения скважин на нефть.
13. Колонковое бурение.
14. Буровое оборудование и инструмент.
15. Колонковые долота и бурильные трубы.
16. Шнековое, ударное, вибрационное бурение.
17. Ударно-штанговое бурение.
18. Ударно-канатное бурение.
19. Бурение забойным двигателем, термобурение.
20. Технология бурения нефтяных и газовых скважин.
21. Буровые вышки.
22. Монтаж буровых установок.
23. Забойные двигатели: турбобуры, электробуры.
24. Бурильная колонна.
25. Конструкция, эксплуатация бурильной колонны.
26. Требования к бурильной колонне и её составным элементам.
27. Оборудование роторного стола, силовой блок.
28. Буровая вышка и талевая система.
29. Оборудование циркуляционной системы, насосный блок.
30. Противовыбросовое оборудование.
31. Проектирование и расчёт наземного оборудования для сооружения скважины.

БУРЕНИЕ СКВАЖИН НА ВОДУ



Рассмотрим особенности *бурения скважин на воду*. Глубины таких скважин изменяются в широких пределах — от первых метров до километра и более, что обуславливает разнообразные способы бурения: ударно-канатный, вращательный с прямой¹ либо обратной промывкой², продувкой воздухом и др. В настоящее время для бурения гидрогеологических скважин активнее всего применяется вращательный способ с прямой промывкой глинистым раствором.

Широкое распространение получили комбинированные способы бурения (в целях снижения материальных и временных затрат), когда в процессе проходки стволов скважин часть интервалов, в зависимости от прочностных характеристик пород и осложнений при бурении, проходится с привлечением ударного бурения, часть — при помощи вращательного и т. д. Важнейшим критерием для оценки эффективности строительства скважин является их соотношение с извлекаемыми объёмами воды за период эксплуатации скважины. Способ бурения определяется также особенностями доступа к ресурсам и их снабжению. Традиционно вращательное бурение с промывкой требует большого количества воды, для экономии которой могут применяться различные разновидности ударного способа при проходке скважин на глубинах, достигающих первых сотен метров. Применение шнекового бу-

¹Прямая промывка скважин производится при подаче промывочного агента в забой по пространству внутри бурильной колонны, а по затрубному пространству — в случае необсаженных обсадными трубами скважин или по зазору между бурильной колонной и обсадными трубами подаётся на поверхность.

²Обратная промывка производится при циркуляции глинистого раствора из устья по стволу скважины с подъёмом из забоя по внутреннему пространству бурильной колонны.

рения позволяет увеличить скорость проходки скважин в мягких неконсолидированных породах на глубинах менее 100 м без применения промывки забоя и хорошей степени его очистки.

Серьёзной проблемой бурения скважин на воду является трудность определения глубин расположения водоносных горизонтов на конкретной площадке даже на изученных территориях. Так, водоносные горизонты часто отличаются крайне сложной конфигурацией, выклиниванием, перепадами мощности и др., что осложняет создание гидрогеологических карт повышенного уровня детальности, а также проектирование скважин.

Конструкции гидрогеологических скважин в силу описанных выше причин сильно различаются как по количеству опускаемых колонн, так и по строению фильтров (рис. 4.1). Приведём факторы, обуславливающие конструкцию забоев гидрогеологических скважин:

1) существуют особенности геологического строения коллекторов и водоупоров: их трещиноватость, устойчивость, гранулометрия и др.;

2) водоносный пласт малой мощности разбуривается от кровли до подошвы для получения наибольшего дебита с последующим углублением в флюидоупор для обустройства фильтра и отстойника;

3) водоносный горизонт большой мощности разбуривается до уровня, отличающегося большим дебитом;

4) пласты, отличающиеся большим дебитом, разбуриваются на глубину до 10 м;

5) техническое задание по ожидаемому дебиту скважины обуславливает минимально возможный диаметр эксплуатационной колонны и конструкцию фильтров;

6) существует необходимость организации санитарных зон вокруг скважины.

При бурении гидрогеологических скважин применяются долота режущего и дробящего типов. Долота режущего типа имеют две, три и более лопастей. Как правило, с ростом числа лопастей у долот увеличивается способность разрушения более твёрдых пород. Долота дробящего типа (шарошечные долота) способны к разрушению всех пород, за исключением вязких.

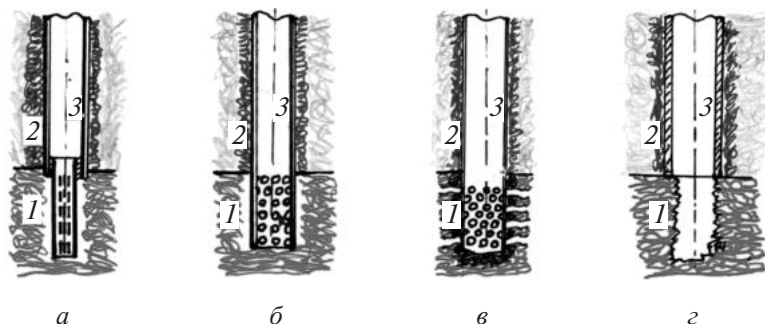


Рис. 4.1. Конструкции забоев скважин со шелевым фильтром (а), с предварительной перфорацией (б), зацементированного забоя с перфорацией (в) и открытого забоя (г): 1 – пласт-коллектор; 2 – цементный камень; 3 – обсадная колонна

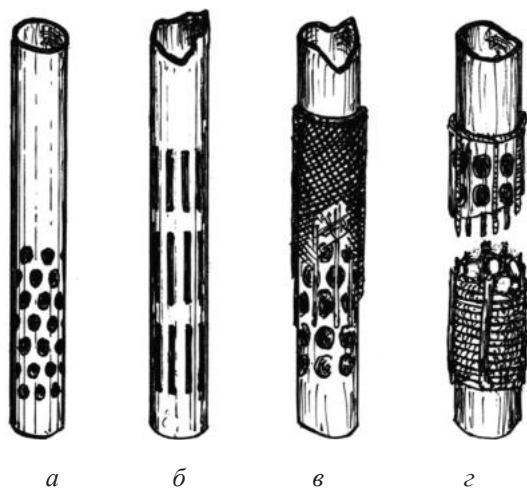
По характеру промывки выделяют режимы бурения скважин со стандартной и нижней промывкой. Такие различия в циркуляции глинистого раствора необходимы для проходки вязких пород.

Обсадные трубы при строительстве гидрогеологических скважин применяются для предохранения их стволов от осыпания, перетоков подземных вод между горизонтами, защиты устья от загрязнения и др. Пространство между стенками скважины и обсадными трубами также цементируется (тампонируется). В качестве материалов для обсадных труб применяются стальные сплавы, пластики, асбестоцемент и др. Существуют следующие требования к обсадным трубам: прочностные характеристики, коррозионная стойкость, стоимость.

Фильтры при эксплуатации гидрогеологических скважин используют для предотвращения забоя от засорения, защиты от обрушения, сохранения дебита и увеличения продолжительности эксплуатации скважины (рис. 4.2).

Требования к фильтрам:

- высокая пропускная способность воды;
- высокие очистные способности;
- высокая прочность;
- антикоррозионная стойкость;
- минимальные затраты ресурсов, требуемых для изготовления фильтров.



*Рис. 4.2. Фильтры
для гидрогеологических скважин:
а – дырчатый; б – щелевой; в – сетчатый;
г – каркасно-стержневой*

Выделяют следующие типы фильтров:

- с засыпкой;
- с фильтрующим заполнением;
- каркасные без покрытия, устанавливаемые в водоносные горизонты, сложенные неустойчивыми скальными, гравийно-галечными и другими рыхлыми породами;
- каркасные стержневые и трубчатые с тонкими фильтрующими покрытиями, делящиеся на сетчатые (используемые в песках различной размерности), каркасно-проволочные (применяемые в крупнозернистых и гравелистых песках) и фильтры с коническими отверстиями (применяемые для сыпучих пород).

В гидрогеологической практике распространены также бесфильтровые скважины, используемые при эксплуатации пластов, находящихся под давлением, составленных как рыхлыми сыпучими образованиями, так и скальными породами, в призабойной области которых обустроена воронкообразная водоприёмная каверна, перекрытая плотными водоупорами в кровле (рис. 4.3).

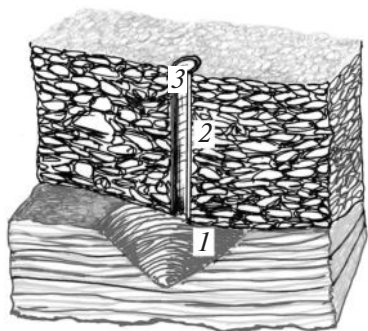


Рис. 4.3. Схема бесфильтрового забоя гидрогеологической скважины: 1 – воронкоподобная каверна в забое; 2 – водоупор; 3 – ствол скважины

Суть указанного метода заключается в откачивании воды из скважины с последующим контролем за ее восстановлением. Опытные откачки¹ проводятся с максимальным дебитом на протяжении более двух суток.

Откачивание водоносного горизонта часто производится при помощи методов экспресс-откачки и экспресс-наливов, заключающихся в оперативных откачиваниях и закачиваниях воды в скважину для экспериментального определения фильтрационных характеристик горизонтов.

Современные способы освоения водоносных пластов (разглинизация, декольматаж) заключаются в первую очередь в профилактике ухудшения проницаемости коллекторов в призабойной области в процессе бурения при использовании специальных технологических приёмов, предусматривающих снижение гидростатического давления на разбуриваемый пласт, с применением

Для эксплуатации гидрогеологических скважин применяются насосы, широкое распространение получили центробежные, винтовые, вибрационные, поршневые и др. Выбор оборудования зависит от дебита скважины, её глубины, диаметра, геологии коллекторов и пр.

Откачки из скважин являются наиболее распространённым методом исследования фильтрационных характеристик водоносного горизонта. Их проводят в зависимости от характера водонасыщенности и продуктивности горизонта при помощи желонирования, эрлифтов, центробежных насосов и др.

¹ Опытная откачка представляет собой формирование контролируемой во времени депрессионной воронки в водоносном горизонте, позволяющее определить эксплуатационные характеристики скважины. Для исследований возмущений гидродинамического поля используется не менее трех скважин.

облегчённых глинистых растворов с минимальной водоотдачей. При вскрытии пласта, сложенного кавернозными, трещиноватыми, пористыми, обломочными образованиями, используют растворы с высокой вязкостью. Процесс кольматации и глинизации забоя и скважинных фильтров резко снижает дебит.

Существуют гидромеханические, физические и химические способы разглинизации.

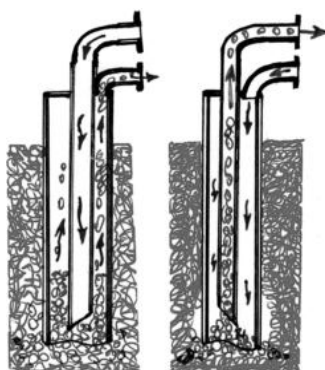
Гидромеханические способы представляют собой промывку через рабочую поверхность фильтра или открытый отстойник, желонкирование¹, свабирование² (поршневание³), эрлифтную прокачку и др. (рис. 4.4).

Физические способы включают торпедирование – воздействие на забой взрывчатых веществ, воздуха под большим давлением, гидравлического удара, вибрации, ультразвука и др.

Химические способы связаны с растворением глинистых новообразований в призабойной области при помощи смесей плавиковой, соляной и других кислот.

В процессе проведения откачек, водопонижения, водоснабжения и для других целей используют различные **виды насосов** по принципам действия:

1) *вибрационные* – состоят из вибрационной установки, расположенной преимущественно на поверхности, предназначены для откачки воды, содержащей примеси различной дисперсности. Рассматриваемое оборудование работает в интервалах глубин до первых десятков метров;



а б

Рис. 4.4. Схемы промывки скважин: а – прямая; б – обратная

¹Желонкирование – способ, операция ударно-канатного бурения при использовании снаряда с клапаном – желонки, который позволяет извлекать из скважины разрушенную при бурении породу или воду.

²Свабирование – процесс снижения количества жидкости в стволе скважины, проводимый для снижения гидростатического давления и последующего вызова притока из разбуренного пласта.

³Поршневание – свабирование.

2) *эрлифты и водоструйные* – принцип действия эрлифтов основан на подаче воздуха через спущенную в забой трубу, нагнетающую его под давлением, который, смешиваясь с водой, увлекает её на поверхность; водоструйные насосы часто используются в целях локального водопонижения и испытания пластов. Принцип их действия основан на подаче к эжекторной камере в забой воды под давлением, способным выдавить содержащуюся в нём жидкость на поверхность. Данное оборудование не может эффективно извлекать мутную воду, а также имеет низкий КПД;

3) *поверхностные центробежные* – перекачивают воду при её вовлечении по лопастям от центра к периферии при вращении колеса в заполненном водой корпусе;

4) *горизонтальные поршневые* – основаны на возвратно-поступательном движении поршня, работающего наподобие гидравлического пресса с элементами клапанного перераспределения перекачиваемой воды;

5) *погружные штанговые поршневые* – по своему принципу действия близки к плунжерным и горизонтальным поршневым насосам, применяемым в нефтедобыче (рис. 4.5, 4.6);

6) *винтовые артезианские* – перекачивают воду, попадающую между подвижными винтовыми элементами и уплотнителями;

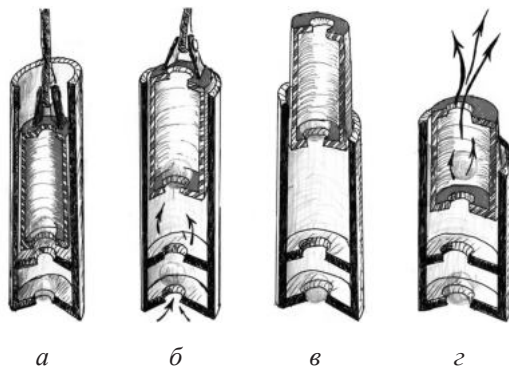


Рис. 4.5. Принцип работы плунжерного (поршневого) насоса:
а – нижняя точка рабочего хода поршня;
б – движение поршня вверх; *в* – верхняя точка рабочего хода; *г* – движение вниз



Рис. 4.6. Привод плунжерного насоса от станка-качалки:
1 – станок-качалка; 2 – устьевое оборудование скважины, ввод штанги к плунжерному насосу

7) *глубинные артезианские центробежные* – с вертикальным валом и двигателем на поверхности или погружным электродвигателем, передающим вращение крыльчатке, поднимающей воду из забоя.

Оборудование устья скважины обуславливается глубиной, диаметром эксплуатационной колонны, дебитом скважин, типом насоса и иными факторами.

Устья скважин с самоизливом обустривают комплектом противовыбросового оборудования для упреждения гидравлических ударов и регулирования давления при подаче воды к потребителю.

Скважины с низким статическим уровнем воды оснащают насосами и системой труб для эксплуатации скважин.

В настоящее время скважинное оборудование оснащают различными средствами автоматизации, работающими в автоматическом, полуавтоматическом и дистанционном режимах с телеметрией. Оборудование, применяемое для эксплуатации гидрогеологических скважин, принципиально схоже с оборудованием для нефтедобычи (см. рис. 4.6).

Вопросы для самоконтроля и саморазвития

1. Особенности бурения скважин на воду. Современные способы бурения скважин на воду.
2. Типы буровых установок для бурения скважин на воду.
3. Конструкция гидрогеологических скважин.
4. Гидравлическое сопротивление на контакте фильтров с водоносными породами.
5. Фильтры и насосы.
6. Бесфильтровые скважины.
7. Промывка скважин.
8. Откачки из скважин.
9. Проектные гидрогеологические разрезы.
10. Санитарные защитные зоны гидрогеологических скважин.
11. Депрессионные воронки скважин.
12. Радиус влияния водозабора.
13. Расчёты эксплуатационного понижения.
14. Виды водозаборов.
15. Параметры водоносных пластов.
16. Водозаборы в однородных, неоднородных, закрытых и полужакрытых пластах.
17. Современные представления о процессе кольматации пласта.
18. Способы вскрытия пласта.
19. Современные способы освоения пласта (разглинизация).
20. Оценка различных способов вскрытия и освоения пласта.

ПРОМЫВКА И ПРОДУВКА СКВАЖИН



Данные о широком применении *промывочных жидкостей* при бурении стали появляться в странах Европы начиная с XIX в.

Первой промывочной жидкостью была вода, позднее в неё добавляли глину как субстанцию, ускоряющую проходку скважин и способствующую укреплению их стенок и выносу кусков выбуренной породы.

В настоящее время промывочные жидкости позволяют решить следующие *задачи*:

1) очистка забоя от фрагментов разрушенной породы и их удаление из ствола скважины;

2) укрепление стенок скважины посредством образования глинистой корки при проникновении промывочной жидкости во вмещающие породы;

3) охлаждение долота и конструктивных элементов бурильной колонны. Промывочные жидкости на водяной основе способны эффективно снижать температуру забойных двигателей (турбобуры и электробуры), при работе которых происходит большее тепловыделение по сравнению с роторным бурением;

4) снижение трения между подвижными элементами долот, бурильной колонны и стенок скважины. Промывочные жидкости способны эффективно разделять бурильную колонну и вмещающие породы, снижая вероятность её прихвата;

5) способность к удержанию фрагментов выбуренной породы в затрубном пространстве при остановке циркуляции промывочной жидкости, что снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций при прихватах бурильной колонны;

6) передача вращения турбобуру посредством нагнетания промывочной жидкости буровым насосом по внутритрубному пространству бурильной колонны;

7) создание избыточного давления в скважине, снижающего вероятность проникновения в её ствол флюидов из вскрываемых бурением пластов;

Промывочные жидкости должны быть химически нейтральными к окружающим скважину породам, тем самым способствовать снижению вероятности их размыва и обвалообразования.

Использование промывочных жидкостей без учёта химических и физических свойств разбурываемых пород может привести к значительным осложнениям в процессе проходки скважины – прихватам бурильной колонны, обвалам, выбросам раствора из устья, фонтанированию, снижению проницаемости продуктивных горизонтов.

В процессе бурения вскрываются горные породы, различающиеся прочностью, твёрдостью, пластичностью и иными механическими и физическими свойствами, что требует применения промывочных жидкостей, способных, с одной стороны, оптимизировать процесс бурения, а с другой – предупредить описанные выше осложнения. В случае применения при проходке скважин промывочных жидкостей с сильно различающимися свойствами необходимо изолирование затрубного пространства от их потенциально неблагоприятного взаимодействия (обвалообразование, выщелачивание и др.) путём цементирования, помещения колонны обсадных труб и др. (рис. 5.1).

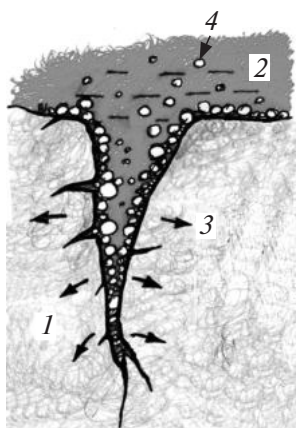


Рис. 5.1. Принципиальная схема проникновения глинистого раствора в поры вмещающих пород и создание противодействия на пласты: 1 – вмещающая порода; 2 – глинистый раствор; 3 – направление воздействия противодействия глинистого раствора; 4 – компоненты глинистого раствора

Составными компонентами промывочных растворов являются вода, глинистая составляющая, газы, нефтепродукты, а также специальные добавки, в результате сочетания которых готовятся водяные, глинистые, глинисто-известковые, растворы на нефтяной основе, эмульсионные и аэрированные жидкости, а также проводится продувка скважин воздухом и газами.

Рассмотрим подробнее свойства и применение различных промывочных жидкостей.

Вода – традиционная промывочная жидкость, которая по причине своей высокой теплоёмкости и подвижности способна эффективно охлаждать долота, выносить фрагменты выбуренной породы. Она имеет низкое гидравлическое сопротивление при перекачке буровым оборудованием, повышая его производительность. Упомянутые свойства улучшают показатели бурения в цельных, низкотрещиноватых породах, неспособных к размыву и осыпанию. Есть у воды и отрицательные свойства, осложняющие процесс бурения, в частности она в силу своей низкой вязкости и удельного веса (имеет удельный вес 1 г/см^3 , а магматические горные породы – $2,4\text{--}3,35 \text{ г/см}^3$) неспособна создавать высокое гидростатическое давление в затрубном пространстве. Вода не может эффективно удерживать шлам и обломки вещества забоя при остановке циркуляции промывочной жидкости, являясь хорошим растворителем, способна выщелачивать вмещающие породы, а также по причинам различного удельного веса и смачивающих свойств пород коллекторов может затруднить вызов притоков нефти в продуктивных пластах на этапе освоения скважины.

Глинистые растворы как промывочная жидкость представляют собой сложные по составу жидкости, содержащие разнообразные глинистые минералы – каолинит, монтмориллонит и др., а также примеси в виде песков, мергелей, способные влиять на пластичность глинистой корки, формирующейся в затрубном пространстве. Глинистые минералы способны к поглощению и выделению воды, содержат её в химически и физически связанных формах, обладают способностью к набуханию. В результате бурения глинистый раствор, глинизируя стенки скважины, может, глубоко проникая в трещины и каверны вмещающих пород, исказить результаты ГИС (рис. 5.2).

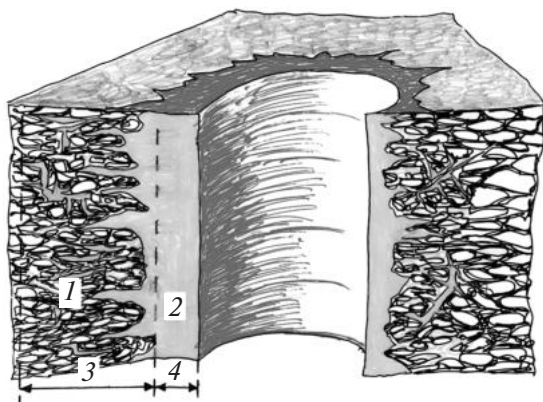


Рис. 5.2. Проникновение глинистого раствора в разбуренные породы:
 1 – разбуренная порода; 2 – глинистая корка;
 3 – глубина диффузии глинистого раствора;
 4 – толщина глинистой корки

Основные физико-механические и химические свойства глинистых растворов:

1) плотность, или удельный вес, — измеряется в г/см^3 , позволяет увеличить давление на стенки и забой скважины. В стандартных условиях удельный вес промывочных жидкостей достигает $1,22 \text{ г/см}^3$. Так, создание избыточного давления в стволе скважины при вскрытии пластов с потенциалом газонефтеводопроявлений (ГНВП) позволяет снизить вероятность неконтролируемых выбросов флюидов. Высокоплотные растворы способствуют укреплению стенок скважин при проходке интервалов пород, склонных к обвалам. Пласты, отличающиеся кавернозностью, образующие зоны поглощения, разбуриваются раствором с низким удельным весом;

2) вязкость — определяется в секундах, характеризует внутреннее трение между слоями жидкости в процессе их перемещения. Зоны поглощения промывочного раствора в разбуриваемом разрезе, представленные пористыми, кавернозными и трещиноватыми породами, разбуриваются жидкостью, отличающейся высокой вязкостью (более 22 с);

3) толщина глинистой корки — измеряется в миллиметрах, определяется объёмом фильтрующей воды, содержанием частиц в промывочных растворах и соотношением размеров поровых каналов продуктивного горизонта. Глинистая корка способна при своём неконтролируемом росте вызвать прихваты бурильной колонны, а набухание — провоцировать обвалообразование. Толщина глинистой корки на стенках скважины, пробуренной в песчаниках, которые слагают продуктивный нефтяной пласт, может превышать 10 мм;

4) водоотдача — измеряется в $\text{см}^3/30$ мин в процессе бурения, характеризует проникновение промывочной жидкости в поры пластов и их заполнение. Неконтролируемый рост водоотдачи может спровоцировать обвалообразование путём избыточного набухания глинистой корки;

5) содержание песка — характеризует количество песка в промывочной жидкости и буровом оборудовании, способствующего увеличению их износа;

6) статическое напряжение сдвига — описывает устойчивость раствора, находящегося в неподвижном состоянии, единицы измерения — $\text{мг}/\text{см}^2$. Растворы с напряжением сдвига более $200 \text{ мг}/\text{см}^2$ применяются для проходки зон поглощения;

7) стабильность глинистого раствора — определяет способность раствора к сохранению своей плотности от забоя к устью;

8) суточный отстой — характеризует объём воды, выделяющийся из раствора после суточного отстаивания. Оптимально приготовленная промывочная жидкость не выделяет воду на протяжении суток. Данный параметр наряду со стабильностью раствора способствует снижению вероятности прихватов бурильной колонны и рисков обвалообразования.

Применение *газа*, преимущественно воздуха, при бурении позволяет:

- улучшить очистку забоя;
- снизить трение бурильной колонны о стенки скважины;
- снизить потребности буровой в воде;
- сохранить коллекторские свойства слабопроницаемых продуктивных пластов;

- улучшить передачу вращающего момента при бурении с верхним вращателем при проходке разрезов;
- оптимизировать процесс бурения в зонах поглощения промывочной жидкости.

Существуют и отрицательные стороны применения газа при бурении:

- увеличивается износ бурильного оборудования по причине низких смазывающих средств газов;
- возникает вероятность образования сальника из обломков выбуренной породы между бурильной колонной и затрубным пространством при наличии незначительного количества воды в стволе скважины;
- возрастают риски взрыва флюидов;
- газ не может создать высокое противодавление на стенки скважины, препятствуя выбросу флюидов;
- газ не способствует креплению стенок скважины;
- газ, выходя под большим давлением из устья скважины на буровой (проникая через элементы бурового оборудования), может значительно ухудшить условия работы персонала.

Аэрированные растворы применяются при проходке зон поглощений и интервалов с нарушением циркуляции промывочной жидкости, позволяют оперативно увеличить пластовое давление в случае необходимости упреждения обвалообразования и притока флюидов. Рассматриваемый тип промывочных агентов является смесью воды или суспензии с воздухом.

Растворы на нефтяной основе представляют собой сложные многокомпонентные коллоидно-химические системы, дисперсионную среду которых образуют углеводороды, находящиеся в жидком виде, а дисперсную фазу – вода и твёрдые составляющие. В зависимости от химического состава разбуриваемых толщ выделяются практически безводные жидкости, представленные известково-битумными и асбестово-битумными растворами. Рост количества воды в рассматриваемых жидкостях приводит к снижению их стабильности.

Также применяются *инвертные эмульсии*, или *эмульсионные глинистые растворы*, стабилизированные поверхностно-активные

вещества (ПАВ), дисперсионную среду которых составляют нефтепродукты, а дисперсную фазу — вода. В зависимости от химического состава продуктивных толщ в состав растворов на нефтяной основе может включаться галит для увеличения устойчивости стенок скважины.

Рассматриваемые жидкости искажают результаты каротажа скважин, они отличаются пожароопасностью и способны причинить значительный экологический ущерб, разрушить полимерные элементы бурового оборудования, отличаются нестабильностью фазового состава.

В целом эмульсионные глинистые растворы близки к растворам на нефтяной основе, их объединяет наличие нефтепродуктов в составе, а различает особенность соотношения дисперсионных сред и дисперсных фаз.

Положительные стороны применения эмульсионных глинистых растворов:

- увеличение скорости проходки и продление ресурса долот;
- стабильность поперечного сечения ствола скважины при бурении;
- уменьшение вероятности прихвата буровой колонны;
- понижение водоотдачи.

Изменения физических и химических свойств промысловых растворов происходят путём добавления в них различных *реагентов*:

1) углещелочные реагенты, сульфит-спиртовая барда, карбоксиметилцеллюлоза — применяются для понижения водоотдачи;

2) реагенты, изменяющие структурно-механические свойства растворов, такие как жидкое стекло, — позволяют изменять вязкость и статическое напряжение сдвига, гашёная известь — повысить водоотдачу и вязкость;

3) галит — позволяет уменьшить растворение пластов эвапоритовой формации, а также увеличить статическое напряжение сдвига промысловых жидкостей, отличающихся большим содержанием углещелочных реагентов;

4) нефтепродукты — сохраняют проницаемость нефтеносных горизонтов для их дальнейшего освоения.

Приготовление промывочных жидкостей производится в строгом соответствии с проектной документацией и характером разбуриваемых пород. В процессе бурения скважин порой требуются значительные объёмы промывочной жидкости (от 1–2 до более чем 40–50 м³), которая может готовиться как на производстве, так и на самой буровой. Приготовление данной субстанции производится в установках-смесителях, гомогенизирующих состав получаемого продукта. В процессе изготовления растворов особое внимание уделяют точному дозированию всех компонентов, порядку их смешивания и хранения.

Способы *очистки* промывочных жидкостей:

1) гидравлический – основан на продолжительном отстаивании промывочных жидкостей и гравитационном оседании шлама и иных примесей на дно глинистых амбаров и желобов. Требует привлечения больших пространств на буровой, повышает экологические риски инфильтрации раствора в почву, но отличается низкими энергозатратами;

2) принудительный – заключается в использовании вибрационных сит и гидроциклонных установок, работа которых отличается, по сравнению с гидравлическим способом, высокой производительностью и степенью очистки, но характеризуется большими энергозатратами.

Вопросы для самоконтроля и саморазвития

1. Промывочные агенты и их назначение.
2. Глинистые растворы, их основные физико-механические и химические свойства.
3. Приготовление глинистых растворов.
4. Очистка глинистых растворов.
5. Гомогенные буровые растворы на водяной основе.
6. Растворы на нефтяной основе.
7. Аэрированные растворы.
8. Гуматные растворы.
9. Гетерогенные водные растворы.
10. Газожидкостные смеси.
11. Нанофлюиды.
12. Флюиды.

13. Токсичность глинистых растворов.
14. Промывка вертикальных скважин.
15. Промывка наклонных скважин.
16. Факторы, влияющие на качество промывки скважин.
17. Классификация буровых промывочных жидкостей и реагентов для регулирования их свойств.
18. Классификация реагентов для регулирования свойств промывочных жидкостей.
19. Типы буровых растворов и условия их применения.
20. Материалы и реагенты для регулирования свойств глинистых растворов.



ОСЛОЖНЕНИЯ И АВАРИИ ПРИ БУРЕНИИ

Осложнение при бурении — это развитие таких ситуаций в процессе бурения или эксплуатации скважин, которые не прекращают процесс бурения, а лишь затрудняют его, нарушая технологию его проведения. Примеры осложнений — прихваты бурильной колонны, нарушение целостности стенок скважин и др.

Авария при бурении — это нарушение целостности, частичное или полное разрушение ствола скважин, бурильной колонны, оборудования буровой и её вспомогательных элементов, неконтролируемые выбросы флюида и промывочной жидкости, препятствующие продолжению процесса проходки или эксплуатации скважин. Аварийные ситуации могут развиваться на протяжении короткого временного отрезка, когда персонал будет не в состоянии их обнаружить и предотвратить в силу объективных причин, минуя стадию осложнений при бурении, примером чего является разрушение элементов бурильной колонны по причине конструктивного брака её составляющих.

Развитие аварийных ситуаций при бурении может происходить и на протяжении длительного времени, в частности при попустительстве персонала, сознательном применении оборудования с неустановленным уровнем безопасности.

Рассмотрим общие признаки осложнений и аварий при бурении.

Осложнение при бурении при неправильном его устранении и воздействии геологических факторов может перерасти в аварию. Прихваты бурильной колонны способны вызвать её полный разрыв. Чаще всего осложнения и аварии происходят при совокупности нескольких составляющих, например геологической и технологической. Так, при входе долота в зону поглощения, представленную кавернозными породами (геологический фактор), персоналу необходимо изменить состав промывочной жидкости (технологический фактор), а если ничего не предпри-

нять, возникнет нарушение её циркуляции с потенциальным прихватом бурильной колонны, которая может разорваться в месте возможного присутствия усталостных деформаций (технический фактор).

Выделяют следующие основные *причины* осложнений и аварий при бурении:

1) *геологические* – обуславливаются геологией вскрываемого разреза, связаны с проходкой неустойчивых горизонтов, повышающих вероятность проявления обвалообразования и склонных к набуханию, с особенностями миграции флюидов в недрах, пластовым давлением и др.;

2) *технологические* – связаны с нарушением технологии бурения, в частности со значительным превышением давления промывочной жидкости в стволе скважины над пластовым в потенциальной зоне поглощения, выполненной кавернозными трещиноватыми породами и др.;

3) *технические* – вызваны поломками основного и вспомогательного бурового оборудования, тесно связаны с технологическими причинами, что приводит к проблемам технического характера, выражающимся в повреждении оборудования. Продолжительная работа с неисправными долотами является технологической причиной, а внезапное заклинивание исправного долота в забое – технической;

4) *организационные* – обусловлены ошибками поведения персонала буровой (нарушение культуры труда, низкая квалификация, недостаточное обеспечение материальными ресурсами);

5) *управленческие* – связаны с принципиальными недостатками администрирования профильных предприятий, непринятием мер по совершенствованию нормативно-правовых актов, направленных на безопасное и эффективное проведение процесса заложения скважин, саботажем контрольно-ревизионных мероприятий – от рядового персонала до управляющих высокого уровня.

Рассмотрим девять *видов* осложнений при бурении, а также *способы их предупреждения*.

1. *Поглощение промывочной жидкости и тампонажных растворов*. Процесс происходит при поглощении жидкости вскрытым пластом (рис. 6.1).

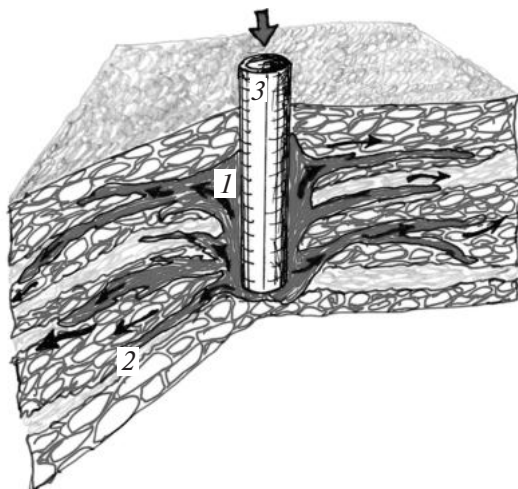


Рис. 6.1. Образование зоны поглощений
 промывочной жидкости:
 1 – каверны в разбурываемой породе;
 2 – перетоки промывочной жидкости;
 3 – бурильная колонна

Данное негативное явление имеет потенциал перехода из осложнений в аварии по причине возрастания рисков прихвата бурильной колонны. Геологические причины данного явления обуславливаются высокой эффективной пористостью, трещиноватостью, низким пластовым давлением в разбурываемых горизонтах и др. Ликвидация проблемы производится следующим образом:

- 1) промывка облегчённых промывочных жидкостей;
- 2) добавление в их состав инертных компонентов, способных к заполнению пор проницаемого горизонта или увеличивающих структурно-механические свойства буровых растворов.

2. *Прихваты бурильной колонны.* Могут переходить из разряда осложнений в аварийные ситуации, возникают при критическом уменьшении её подвижности в результате следующих причин:

- 1) остановка бурения с прекращением циркуляции промывочной жидкости;
- 2) обвалообразование, повлёкшее за собой критическое уменьшение диаметра ствола;

3) применение промывочных растворов с низкими эксплуатационными характеристиками (избыточная толщина глинистой корки, недостаточный удельный вес, вязкость и др.);

4) закачка в скважину недостаточно очищенного отработанного глинистого раствора;

5) низкая скорость циркуляции промывочной жидкости в затрубном пространстве;

6) бурение скважины в интервале, характеризующемся поглощением глинистого раствора;

7) резкие перепады давления в промывочной жидкости;

8) заклинивание бурильной колонны в желобообразных структурах профиля скважины, выработанных в процессе бурения, а также в точках резкого изменения кривизны скважины;

9) потеря глинистым раствором утяжеляющих добавок.

Глинистые корки, образованные промывочными жидкостями на стенках скважины, способны прилипнуть к бурильной колонне. Сальники – наиболее распространённые виды прихватов. Борьба с прихватами бурильной колонны наиболее эффективна в виде профилактических мероприятий, заключающихся в контроле всех описанных факторов. Непосредственная ликвидация данного отрицательного явления производится путём расхаживания бурильной колонны. В самых неблагоприятных случаях при невозможности извлечения бурильной колонны производится бурение с обходом аварийного участка скважины.

3. Нарушение целостности ствола скважины. Осложнение происходит при разбуривании дезинтегрированных, трещиноватых, способных к набуханию пород, отличающихся слабой устойчивостью, находящихся под аномально высоким пластовым давлением (АВПД) (см. гл. 2), что повышает риски обвалообразования и прихватов бурильной колонны на всех интервалах бурения. Их ликвидация почти идентична действиям по восстановлению бурения после прихватов бурильной колонны. Профилактика нарушений целостности ствола скважины заключается в подборе глинистого раствора с эксплуатационными свойствами, способными эффективно укреплять её стенки и создавать противодействие, а также в цементировании и опускании колонны обсадных труб (рис. 6.2, 6.3).

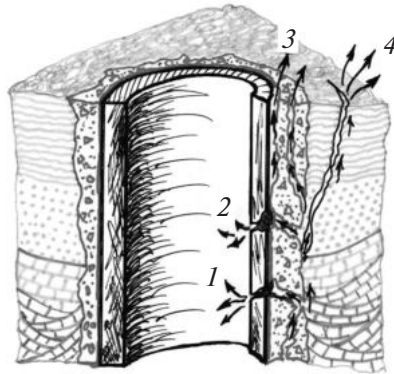


Рис. 6.2. Осложнения и аварии при бурении, связанные с состоянием скважины:
 1, 2 – дефекты обсадной колонны;
 3 – дефекты цементирования и нарушения целостности обсадной колонны; 4 – грифон

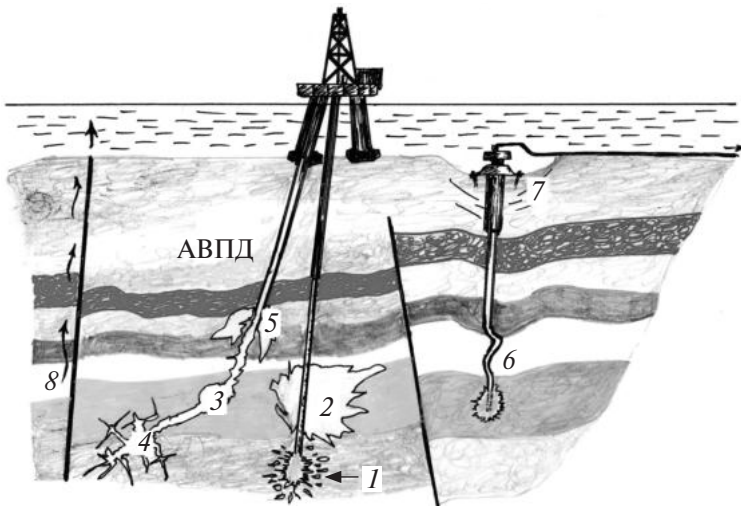


Рис. 6.3. Типичные осложнения и аварийные ситуации, возникающие при бурении скважин:
 1 – пескопроявление; 2 – зоны поглощения;
 3 – потеря устойчивости ствола; 4 – трещиноватость коллекторов;
 5 – потеря циркуляции; 6 – АВПД; 7 – деформация ствола скважины;
 8 – проседание поверхности в процессе отработки месторождения

4. *Газонефтеводопроявления.* Образуются в результате неконтролируемой миграции воды, нефти и газа в ствол скважины и затрубное пространство в процессе бурения или эксплуатации месторождения. Могут перерасти в тяжёлую аварию в случае достижения флюидом земной поверхности с последующим возгоранием. Возникают преимущественно под воздействием неверных действий персонала в результате:

1) углубления ствола скважины с необсаженными стенками в породе, отличающиеся высоким пластовым давлением;

2) развития поглощений бурового раствора в стволе скважины;

3) эксплуатации горизонтов, содержащих большое количество растворённого газа в пластовых флюидах;

4) нарушения временных интервалов промывки ствола скважины, при котором может происходить снижение плотности промывочной жидкости при диффузии газов, нефти и воды из затрубного пространства;

5) снижения уровня промывочной жидкости с последующим падением давления в буровой колонне в результате спускоподъёмных операций в скважине и др.

Ликвидация ГНВП требует привлечения ресурсов и производится путём создания противодействия с последующим креплением стенок скважины и обустройством противовыбросовой арматуры.

5. *Инфильтрация сероводорода в промывочные жидкости.* Происходит из пластовых флюидов и газов, находящихся под высоким давлением и температурой, также является побочным продуктом химических реакций, протекающих в стволе скважины. В результате накопления сероводорода в стволе скважины усиливаются процессы коррозии бурового оборудования, а при взаимодействии данного газа с глинистым раствором и обломками выбуренной породы могут возникать новообразования, обладающие высокой адгезивной способностью (способные к налипанию), и вызывать прихваты буровой колонны. Сероводород опасен для персонала буровой. В качестве меры профилактики его концентрация в промывочном растворе поддерживается рН более 9, добавляются ингибиторы коррозии.

6. *Самопроизвольное искривление ствола скважин.* Формируется под воздействием геологических, технических и технологиче-

ских факторов (см. гл. 7). Указанное явление может приводить к прихвату и потере бурильной колонны, желобообразованию, ускорению износа бурильных труб, снижению эффективности цементирования скважин и др. Предотвратить данное явление полностью невозможно даже при строгом соблюдении технологии бурения в силу объективных причин: вращательные и возвратно-поступательные нагрузки затрудняют позиционирование долота и бурильной колонны по мере увеличения углубления скважины в геологические формации, которые часто сложены пластами, характеризующимися различными физическими и химическими свойствами, а также структурно-геологическими особенностями залегания.

7. *Пластовые флюидопроявления.* Обусловлены технологическими и геологическими причинами, а именно недостаточной степенью крепления стенок скважины и применением промывочных жидкостей, имеющих низкие эксплуатационные характеристики или подвергающихся агрессивному воздействию пластовых флюидов. Пластовые флюидопроявления могут вызывать:

1) межпластовые перетоки флюидов — ухудшают эксплуатационные свойства промывочных жидкостей и требуют проведения мероприятий по разобщению проницаемых горизонтов (цементирование, обсадка трубами);

2) возникновение грифонов — явлений выхода газа на дневную поверхность в непосредственной близости от устья скважины, ликвидация которых требует заполнения цементом или тампонажными растворами затрубного пространства.

8. *Аномально высокое пластовое давление в скважине.* Действует на флюиды, находящиеся в поровом пространстве разбуриваемых пород. В процессе бурения выделяют нормальное, близкое к условному гидростатическому, и аномальное пластовое давление с коэффициентом аномальности менее 0,9 и более 1,10. Причины образования АВПД: геотермический фактор, воздействующий на тепловое расширение флюидов; особенности тектоногенеза; катагенетические изменения горных пород и содержащегося в них органического вещества; осмос и уплотнение глиносодержащих пород. АВПД чаще всего проявляется на глубинах более 4 км и распространено в большом количестве нефтегазоносных

бассейнов. Теоретически все породы проницаемы при аномально сверхвысоком пластовом давлении. АВПД повышает проницаемость горизонтов, обладающих коллекторскими свойствами. Внезапное вскрытие зон с проявлением АВПД способно привести к неконтролируемым выбросам флюидов и предупреждается утяжелением промывочных растворов, креплением стенок скважины путём их цементирования, опускания колонн обсадных труб, оснащения устья противовыбросовым оборудованием. Прогнозирование АВПД производится на основании результатов ГИС, сейсморазведки и данных бурения по смежным областям (см. рис. 6.3).

9. *Оттаивание вечной мерзлоты.* Способно искривить ствол, значительно увеличить его диаметр и снизить устойчивость, вызвать деформацию стенок, изменить его профиль, привести к прихватам буровой колонны, пережать обсадную колонну и др. Замерзание воды способно привести к размораживанию оборудования. Мероприятия по предупреждению данного осложнения необходимо начинать с момента проектирования, когда планируют использование технологий бурения, направленных на сохранение вечной мерзлоты в стволе скважины. На протяжении всех операций проходки скважины необходимо строгое соблюдение температурного режима.

Основные *виды* аварий при бурении и *способы их ликвидации*:

1) аварии, связанные с разрушением, утратой функциональной подвижности, отделением от буровой колонны долот. Возникают в силу технических, технологических и геологических причин и ликвидируются применением магнитного фрезера, паука и других ловильных инструментов;

2) аварии, связанные с разрушением буровой, эксплуатационной и обсадной колонн. Часто возникают в результате их прихватов и прикладывания значительных вращательных усилий буровым оборудованием, а также износа бурового оборудования. Упредить данное явление возможно, применяя исправное оборудование с достаточным ресурсом, а также поддерживая высокую производственную дисциплину, направленную на качественное выполнение операций по сборке и разборке элементов буровой колонны. Ликвидация данных аварий заключается в извлечении

фрагментов бурильной колонны разнообразным ловильным инструментом, представленным колоколом, метчиком, гидравлической труболовкой и овершотом;

3) обрывы канатов и долот ударного инструмента при ударном способе бурения внутри ствола скважины. Обусловлены геологическими, техническими и технологическими причинами. Ликвидируются при применении бокового долота, канаторезки, двурогого и однорогого ершей;

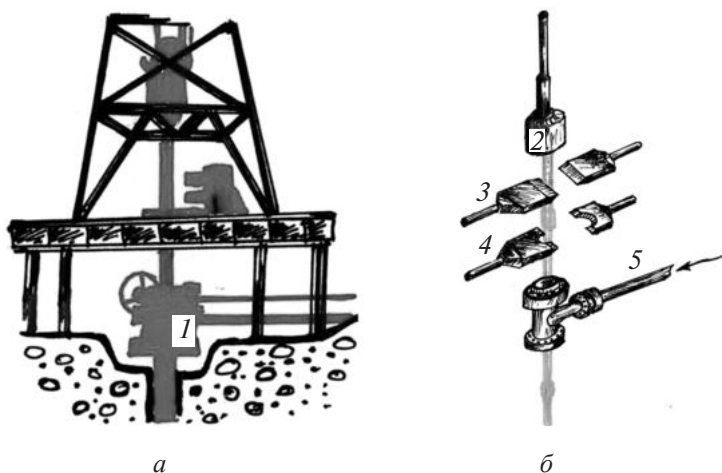


Рис. 6.4. Расположение (а) и особенности строения (б) превенторов на буровой:
1 – расположение превентора; 2 – универсальный превентор;
3 – глухие плашки превентора; 4 – трубные плашки превентора;
5 – линия глушения скважины

4) аварии, связанные с открытым фонтанированием флюидов с возможным их возгоранием. Могут осложняться развитием грифонов, аномально высоким пластовым давлением, неэффективной работой противовыбросового оборудования – превенторов (рис. 6.4). Ликвидация аварий данного типа является крайне сложной задачей, требующей привлечения значительных ресурсов, может потребовать бурения тампонажных стволов, дистанционной разборки бурового оборудования для очистки устья и наведения запорной арматуры и других затратных мероприятий.

Вопросы для самоконтроля и саморазвития

1. Нарушение целостности ствола скважины. Поглощение промывочной жидкости. Газонефтеводопроявления. Аномально высокое пластовое давление.
2. Прихваты бурильной колонны.
3. Крепление скважин.
4. Предупреждение осложнений.
5. Виды аварий при бурении, их причины; предупреждение и ликвидация аварий.
6. Классификация аварий при бурении.
7. Внешние причины возникновения аварий при бурении.
8. Внутренние причины возникновения аварий при бурении.
9. Инструмент ликвидации аварий при бурении.
10. Технология ликвидации аварий при бурении.
11. Причины затягивания сроков ликвидации аварий при бурении.
12. Гидродинамика поглощающих пластов как причина аварий при бурении.
13. Поведение газа в бурящейся скважине.
14. Ловильный инструмент.
15. Крупнейшие аварии в истории бурения.
16. Упреждение аварий при бурении.
17. Проблемы повышения эффективности процесса бурения.
18. Субъекты и объекты аварий и осложнений при бурении.
19. Расследование аварий и осложнений при бурении.
20. Субъективная сторона установления причин аварий и осложнений при бурении.



ИСКРИВЛЕНИЕ СКВАЖИН И НАПРАВЛЕННОЕ БУРЕНИЕ

Все без исключения стволы скважин имеют определённую *степень искривления*, которая обуславливается различными факторами. По степени расположения ствола относительно горизонта выделяют вертикальные и наклонные скважины (рис. 7.1).

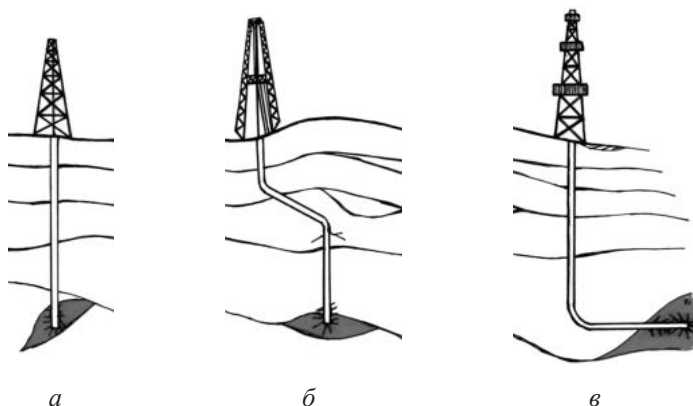


Рис. 7.1. Разновидности скважин по степени наклона:
а – вертикальная; *б* – наклонно направленная;
в – горизонтальная

Вертикальные скважины имеют угол отклонения своего ствола от вертикали не более 5° .

Наклонными скважинами, пройденными методом колонкового бурения, называются скважины, зенитный угол отклонения которых превышает 2° , а у глубоких скважин – 6° .

Ствол скважины в процессе её проходки искривляется.

Естественным искривлением скважин при бурении является их самопроизвольное отклонение от проектного направления.

Искусственное искривление скважин при бурении – их управляемое отклонение от проектного направления.

Пространственное положение каждой точки оси скважины¹ описывается определёнными параметрами:

1) зенитный угол (угол искривления) — угол α , образуемый между осью скважины и вертикалью, замеряемый в определённой точке (рис. 7.2);

2) азимутальный угол — угол φ , образуемый между горизонтальной проекцией скважины и направлением на север в определённой точке;

3) угол наклона — угол η , образуемый между осью скважины и её горизонтальной проекцией на плоскость к измеряемой точке;

4) угол встречи с пластом и выхода из него — угол γ , влияющий на искривление скважины (рис. 7.3).

Измерение искривления скважин в процессе бурения осуществляется систематически по мере проходки ствола. В бурении зенитный и азимутальный углы замеряются *инклинометрами*² каждые 25 и более метров ствола. Более часто измеряют инклинометрию на участках ствола, допускающего самопроизвольное отклонение, которое сильно отличается от проектного. Выделяют плановый и оперативный контроль с прямыми и косвенными видами исследований.

Отметим следующие *причины искривления* скважин: геологические, технические и технологические. Анализ эмпирических данных свидетельствует о неравномерном искривлении скважин в пределах различных участков земных недр, в частности месторождений полезных ископаемых при разбуривании однотипных пород, а степень разбуривания их стенок зависит от технологии бурения. На процесс искривления скважины влияют в той или иной мере все указанные факторы.

¹Ось скважины — воображаемая линия, проходящая сквозь центр плоскости диаметрального сечения скважины на протяжении всего ствола и соединяющая устье с забоем.

²Существующие инклинометры (механические и электромеханические) способны измерять зенитный и азимутальный углы искривления ствола скважины. Виды инклинометров: приборы для работы в породах с воздействием магнитного поля, приборы для работы в породах без влияния магнитного поля, приборы для синхронного измерения азимутального и зенитного углов, инклинометры для ограниченного количества измерения азимутального и зенитного углов.

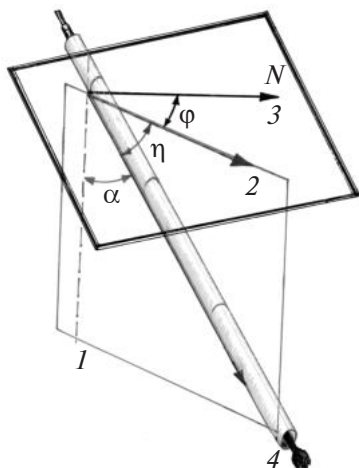


Рис. 7.2. Элементы пространственного положения скважин:
 1 – вертикаль; 2 – направление наклона скважины;
 3 – направление на север;
 4 – простирание скважины

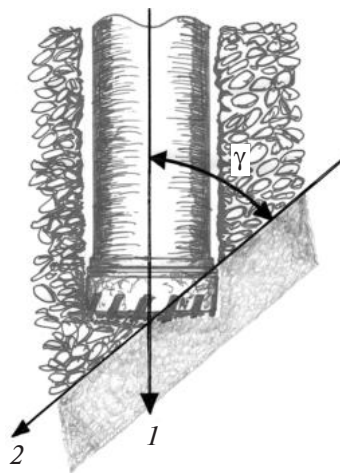


Рис. 7.3. Определение угла встречи скважины с пластом:
 1 – ось скважины;
 2 – направление простирания пласта; γ – угол встречи скважины с пластом

Геологические причины искривления скважин обуславливаются следующими факторами, влияющими на породоразрушающий инструмент и бурильную колонну:

- 1) воздействие анизотропии вскрываемых пластов;
- 2) отклонение при взаимодействии бурового оборудования с твёрдыми породами, с горизонтами, представленными трещиноватыми породами;
- 3) прохождение ствола скважины в геологических формациях, сильно трансформированных тектоническими процессами;
- 4) прохождение бурильной колонной сложно стратифицированных пород, сильно различающихся по буримости, в частности залегающих под различными углами падения.

Из-за ускоренного разрушения мягких пород долотами в забое по сравнению с твёрдыми происходит закономерное отклонение ствола скважины в сторону наименьшего сопротивления. В идеальной ситуации ствол скважины должен смещаться в перпен-

дикулярном вскрываемой слоистости направлении. Практика бурения показала, что ствол скважины способен к искривлению с зенитным углом более 90° .

Чередование, или перемежаемость, твёрдых и мягких стратифицированных образований, а также продолжительность их разбуривания увеличивает степень искривления скважин, в частности их азимутальный угол (перпендикулярно оси разбуриваемых антиклиналей). При разбуривании пластов различной твёрдости, залегающих под наклоном, ствол скважины закономерно изменяет своё направление при выходе из мягкой вдоль простирания твёрдой породы. Неоднородность пород увеличивает вероятность искривления ствола скважины. В результате многолетних наблюдений было замечено, что ствол скважины сильнее всего искривляется при бурении сланцев, а сохраняет своё первичное направление при проходке однородных пород.

Практика бурения показала, что на искривление скважин (горизонтальное и вертикальное) влияет не только взаимодействие бурильной колонны с породами, различающимися по своей твёрдости, но и угол встречи с пластом. Данный показатель обуславливает дальнейшее углубление ствола как без изменения своего направления, так и с уходом вдоль более твёрдых горизонтов. Значение угла встречи с пластом, при котором ствол скважины уходит вдоль более твёрдого горизонта, носит название *критического угла встречи* ($\gamma_{кр}$). Эмпирически было установлено, что для большинства пород $\gamma_{кр}$ достигает $15-20^\circ$ в зависимости от твёрдости пород, осевой нагрузки на бурильную колонну, интенсивности трения между разрушаемой породой и бурильной колонной, а также типа долота. Встречаемые бурильной колонной твёрдые образования, представленные глыбами, валунами и др., способны отклонять ствол скважины в вертикальном и горизонтальном направлениях. Искривление ствола скважин вызывают обвалообразования, зоны брекчирования и др.

Борьба с геологическими причинами искривления скважин заключается:

1) в выборе режимов бурения, препятствующих их отклонению, уменьшению угла встречи с пластом;

2) изменении состава промывочной жидкости, снижающей степень разработки стенок скважины;

3) выборе режима бурения с минимальными остановками циркуляции промывочного раствора;

4) цементировании затрубного пространства или опускании колонны обсадных труб на интервалах потенциально опасных для искривления скважин;

5) использовании удлинённых бурильных труб.

Технические причины искривления скважин обуславливаются:

1) неисправностями вращающихся элементов бурового оборудования;

2) нарушением соосности монтажа и вращения основного бурового оборудования;

3) погрешностями монтажа бурового станка, заключающимися в несоблюдении его вертикального положения;

4) использованием деформированных долот и прочих элементов бурильной колонны;

5) снижением продольной устойчивости бурильных труб по мере уменьшения их диаметра;

6) качеством бурильных труб и их соединительных элементов;

7) особенностями сборки бурильной колонны, связанными с изменением их диаметра;

8) расширением скважины: чем больше различие диаметра скважины и бурильной колонны, тем больше вероятность искривления ствола.

Борьба с техническими причинами искривления скважин заключается:

1) в соблюдении правил установки буровых станков;

2) использовании оборудования, отличающегося незначительной кривизной и повышенной жёсткостью (уделяется внимание соосности механизмов основного бурового оборудования);

3) применении центрирующих приспособлений, размещаемых в стволе скважины и корректирующих его искривление.

Технологические причины, влияющие на искривление скважин, чаще всего обусловлены особенностями соблюдения режима бурения и его способом. Ударное бурение, по сравнению с вра-

щательным, склонно менее всего искривлять ствол скважины. При бурении с верхним вращателем ствол скважины отклоняется в направлении движения бурильной колонны. Как и в случае с техническими причинами, искривление ствола скважины здесь связано со степенью разработки её стенок и напрямую зависит от способа бурения: алмазное бурение отличается наименьшим воздействием на диаметр скважины, твёрдосплавное — расширяет её диаметр в 2–3, а дробовое — в 3 и более раза. Рост осевой нагрузки и количества оборотов усиливает искривление ствола скважины, в том числе по причинам бурения с применением неисправных долот, укороченных труб и использования подвижных отклонителей для направленного бурения. Состав и объём промывочного раствора также могут вызвать размыв стенок скважины. Было установлено: чем меньше диаметр скважины, тем больше она склонна к искривлению.

Борьба с технологическими причинами искривления скважин заключается в соблюдении режимов бурения, препятствующих искривлению, в частности в контроле геологических факторов, на него влияющих.

Ситуация, когда устья скважин размещаются рядом на одной площадке, а забои располагаются в различных точках, определяется как **кустовое бурение** (рис. 7.4). К нему относят также двухствольное параллельное, двухствольное последовательное, трёхствольное бурение. Кустовое бурение позволяет эксплуатировать многопластовые залежи. В пределах куста количество скважин может изменяться от 2 до 60 и более. Расположение скважин в кусте зависит от особенностей геологических условий территории, расположения и площади земельных участков, выделенных для бурения. Количество буровых станков, осуществляющих процесс

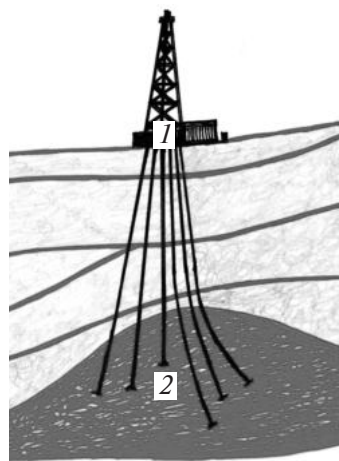


Рис. 7.4. Схема кустового бурения скважин:
1 – буровая установка;
2 – стволы скважин

бурения одновременно, зависит от расстояния между устьями, наличия бурового оборудования, обеспечения буровых материалами, особенностей логистики и др. Кустовое бурение позволяет снизить материальные затраты на перемещение бурового оборудования, снабжение, обслуживание месторождений, экологическую нагрузку в пределах горнопромышленного района и др.

Бурение скважины с одним устьем, но несколькими стволами называется *многозабойным* (рис. 7.5). Данный тип бурения позволяет повысить уровень извлечения нефти и газа при освоении месторождения путём увеличения площади вскрытия (зоны дренирования¹) продуктивных пластов бóльшим количеством стволов.

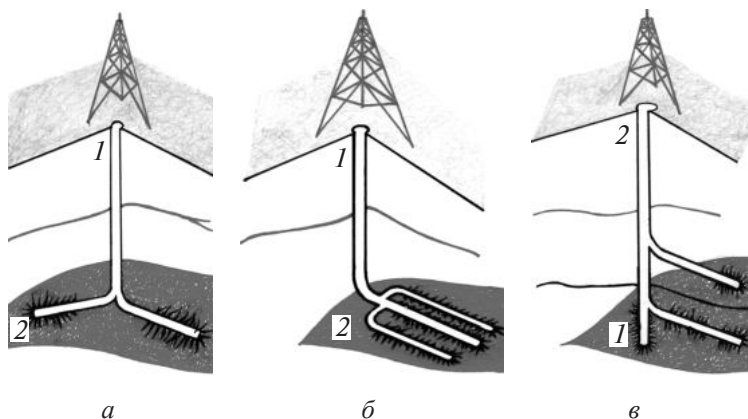


Рис. 7.5. Конфигурации стволов при многозабойном бурении:
 а – две скважины, расходящиеся в противоположные стороны;
 б – горизонтальные стволы, расходящиеся
 в горизонтальной плоскости; в – горизонтальные стволы,
 расположенные в вертикальной плоскости

Использование одного ствола на интервале от устья до залежи полезного ископаемого позволяет минимизировать затраты на бурение других стволов (см. рис. 7.5, 7.6), однако требует расширения основного ствола для повышения эффективности

¹Зона дренирования – область притока флюида в пределах пласта-коллектора, располагающаяся вокруг ствола скважины, его вскрывающего.

эксплуатации месторождения. Разветвление стволов скважин позволяет более эффективно извлекать геотермальные ресурсы. Стволы скважин при многозабойном бурении пространственно локализируются по следующим схемам:

- 1) радиальные – характеризуются радиальным расположением дополнительных стволов относительно основного;
- 2) разветвлённые наклонно направленные – скважины содержат основной ствол, а дополнительные проходят наклонно;
- 3) горизонтально разветвлённые – по конструкции аналогичны разветвлённым наклонно направленным, однако призабойный отрезок их дополнительных стволов стремится к горизонтальному положению.

Бурение наклонных скважин. В практике бурения с нижним и верхним вращателями, чаще всего при поисках и разведке нефти и газа, ствол (рассматривается одноствольное бурение) наклонных скважин проходится с поверхности вертикально вниз и управляемо отклоняется на заданных глубинах. Так производятся кустовое и многозабойное бурение, применяемые для увеличения притоков нефти и газа посредством расширения площади контакта забоя с продуктивным пластом при его проходке по простирацию.

Рассмотрим проектирование и бурение скважин методом направленного бурения. Искусственное отклонение скважин получило широкое распространение в геологии нефти и газа при решении следующих задач:

- 1) бурение наклонных скважин для увеличения поверхности дренажа пластов-коллекторов с целью повышения их дебита;
- 2) вскрытие продуктивных горизонтов месторождений, расположенных в недоступных для вертикального бурения площадках (соляные купола, антиклинали и др.);
- 3) бурение скважин (при необходимости) под участками, где вертикальное бурение нецелесообразно, расположенных под населёнными пунктами, на шельфе и др.;
- 4) обход зон поглощения промывочной жидкости;
- 5) кустовое бурение;
- 6) предотвращение чрезвычайных ситуаций, в том числе тампонаж скважин, тушение фонтанов, проходка нового ствола, позволяющего локализовать аварийный ствол, и др.

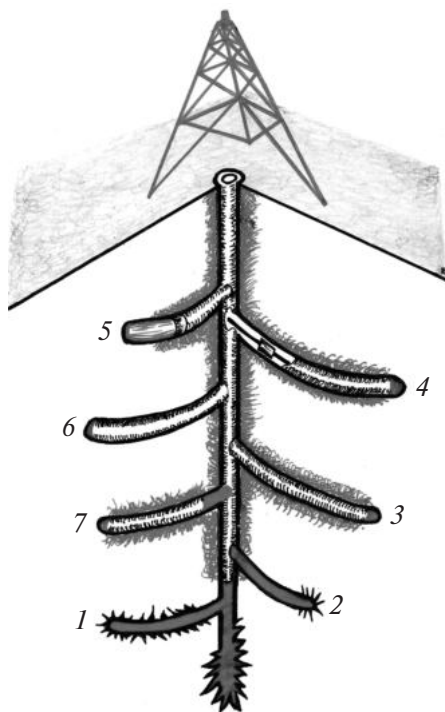


Рис. 7.6. Варианты исполнения дополнительных стволов при многозабойном бурении для эксплуатации месторождений:

- 1 – основной ствол и ответвления нецементированы и не имеют крепления обсадными трубами;
- 2 – основной ствол обсажен и цементирован, боковой ствол имеет открытый забой;
- 3 – основной и боковой стволы обсажены и цементированы, соединения герметичны;
- 4 – основной и боковой стволы обсажены и цементированы, соединения герметичны, оборудование для добычи крепится при помощи пакеров;
- 5 – основной и дополнительный стволы обсажены и цементированы, соединения герметичны и оснащены для отдельной добычи;
- 6 – основной ствол обсажен и цементирован, боковой ствол обсажен, соединения негерметичны;
- 7 – основной и боковой стволы обсажены и цементированы, соединения негерметичны

Скважины, отклонившиеся от своей оси по вертикали по спроектированной траектории, называют *наклонно направленными* или *наклонными*.

Искусственное отклонение скважин оптимально осуществлять при помощи следующих способов:

1) направленное бурение скважин с применением специальных отклоняющих устройств;

2) управление отклонением скважин при применении специальных компоновок основного бурового оборудования, которое в процессе бурения позволяет корректировать проходку ствола скважины без применения отклоняющих устройств и приспособлений;

3) использование закономерностей естественного искривления – *способ типовых трасс*, когда на примере изучения естественных особенностей искривления скважин, пробуренных на конкретном месторождении, появляется возможность проектирования новых скважин со схожим характером искривления (рис. 7.7).

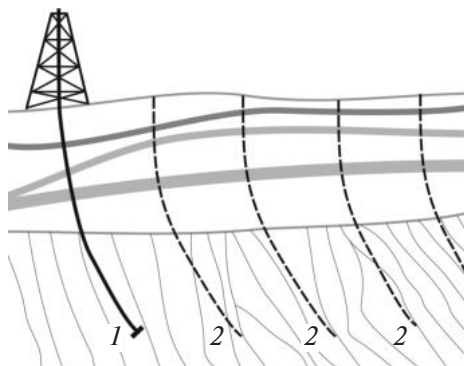


Рис. 7.7. Проектирование скважин методом типовых трасс:

1 – поисковая скважина; 2 – типовые трассы

Отклоняющие средства, применяемые для управления траекторией проходки ствола скважин при бурении роторным способом, представляют собой:

1) разнообразные клиновые отклонители съёмного и несъёмного исполнения открытого и закрытого типа, а также отклоняющие снаряды, позволяющие увести скважину в сторону;

2) бесклиновые отклонители, представленные отклонителями разового действия, отклонителями периодического и непрерывного действия.

При бурении с забойными двигателями применяются отклонители типа «кривая труба», «кривой переводник», отклоняющие ствол скважины в результате расположения породоразрушающего инструмента под небольшим углом (рис. 7.8). Есть и отклонитель типа «эксцентричный ниппель», представляющий собой накладку, крепящуюся на корпус турбобура, позволяющую его отклонить. Конструкции отклонителей постоянно совершенствуются.



Рис. 7.8. Отклонители скважинные
и процесс отклонения ствола скважин:
а – отклоняющий переходник; *б* – отклоняющий клин;
в – процесс отклонения ствола скважин клиновым отклонителем

Существуют предпосылки, которые определяют области проходки бурения искусственно искривляемых скважин (рис. 7.9):

1) геологические – позволяющие вскрыть пласты, удалённые от суши, расположенные под гидрологическими объектами и др.;

2) климатические – определяющие временные рамки процесса бурения в пределах конкретного сезона (весна, зима и др.);

3) технические – позволяющие разрабатывать месторождения, расположенные на территориях, где проведение буровых работ не представляется возможным по разным причинам (особо охраняемые территории, населённые пункты, промышленные площадки и др.);

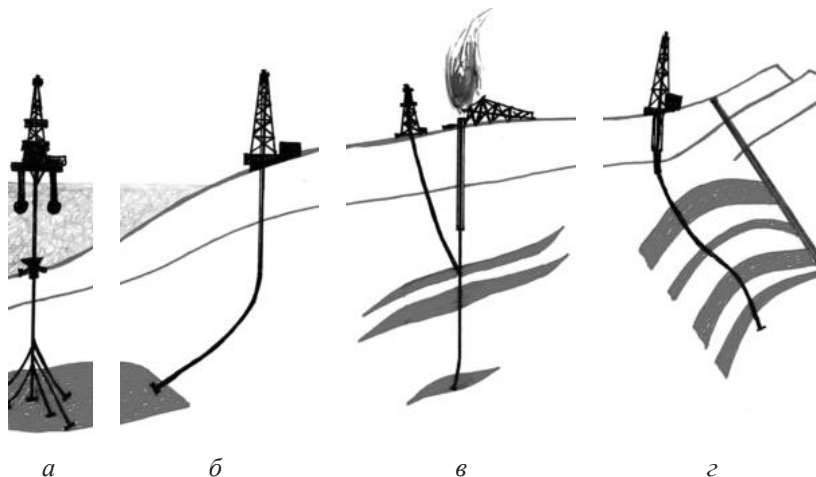


Рис. 7.9. Области применения искусственно искривляемых скважин, в том числе многозабойных:

- а* – морское бурение;
б – бурение на территориях со сложным доступом;
в – бурение в целях глушения аварийной скважины;
г – освоение многопластовых месторождений

4) технологические – оптимизирующие расположение скважин в рамках сети разведки месторождений, когда кустовое бурение позволяет группировать скважины оптимальным образом для снижения временных и материальных затрат (перемещение оборудования по точкам разведочной сети, снижение площадей, выделяемых для расположения буровых и последующего за ним объёма мероприятий по рекультивации техногенно трансформированных земель буровыми).

Вопросы для самоконтроля и саморазвития

1. Классификация причин искривления скважин.
2. Геологические причины искривления скважин.
3. Технологические причины искривления скважин.
4. Технические причины искривления скважин.
5. Борьба с искривлением скважин, изменение искривления.
6. Инклинометрия.

7. Оборудование для инклинометрии.
8. Математические модели инклинометров с неподвижными относительно корпуса первичными датчиками.
9. Причины искажения результатов инклинометрии.
10. Методы бурения, используемые для добычи нефти и газа.
11. Проектирование наклонных скважин, отклоняющие средства, наклонное бурение.
12. Оборудование для наклонного бурения.
13. Бурение наклонно направленных скважин.
14. Кустовое бурение.
15. Многозабойное бурение.
16. Форма дополнительных стволов при многозабойном бурении.
17. Основные характеристики многозабойных скважин.
18. Методика и техника направленного бурения на твёрдые ископаемые.
19. Закономерности искривления и направленного бурения геолого-разведочных скважин.
20. Технические средства для направленного бурения скважин малого диаметра.



РАЗОБЩЕНИЕ И ВСКРЫТИЕ ПЛАСТОВ. ОПРОВОБОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Разобшение пластов – распространённая операция при бурении скважин как для поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, так и для их эксплуатации. Суть заключается в создании физического барьера, непроницаемого для флюидов, находящихся во вскрываемых горизонтах, в предотвращении их смешивания путём надёжного крепления стенок скважин.

Стенки скважин укрепляются:

- 1) для разобщения пластов, содержащих газы и жидкости, находящиеся под давлением, и предотвращения их перетока;
- 2) обустройства скважины с целью её эффективной эксплуатации;
- 3) предупреждения обвалообразования, размывания промывочными жидкостями, искривления ствола скважин и др.

Крепление стенок скважины производится путём установки в её ствол колонны обсадных труб и последующего плотного заполнения затрубного пространства цементным раствором (цементирование скважины).

Следует отметить, что внешние границы затрубного пространства, образующие стенки скважины, чаще всего имеют неправильную форму и образованы в процессе разрушения забоя долотом, вращением бурильной колонны, а также в результате спуско-подъёмных операций; обуславливаются геологическим строением вскрываемых толщ, технологией бурения; поры и каверны стенок скважины заполняются промывочной жидкостью с образованием глинистой корки (о закономерном изменении стенок скважины см. в гл. 5, 6, 7).

Крепление скважины обсадными трубами – важная операция повышения прочностных характеристик стенок. Чаще всего

диаметр ствола скважины не является постоянным и ступенчато сужается от устья к забою. Выделяют факторы, обуславливающие особенности проектирования скважины и вопросы крепления её стенок:

1) учёт метода бурения, выбираемого исходя из минимальных временных и материальных затрат на проходку и освоение;

2) сохранение возможностей эксплуатации ранее пройденных бурением продуктивных пластов в случаях слабого притока флюидов из нижележащих;

3) учёт возможного пластового и затрубного давлений (предусматриваются возможности стабилизации скважины при падении уровня промывочной жидкости в эксплуатационной колонне);

4) исполнение призабойной части эксплуатационной колонны;

5) технические особенности вскрытия продуктивного горизонта.

Конструктивно большинство скважин состоит из нескольких рядов *обсадных труб*, размещаемых внутри друг друга на определённых проектом глубинах (рис. 8.1):

1) шахтовое направление – образует первый ряд труб в устье скважины, располагающейся на протяжении первых десятков метров ниже устья. Направление необходимо для защиты устья скважины от гидродинамического воздействия глинистого раствора;

2) кондуктор – второй ряд обсадных труб, служит для крепления ствола скважины от устья до глубин менее одного километра;

3) промежуточная колонна – образует третий ряд труб, в конструкции скважины может быть не одна, простирается до глубины продуктивного горизонта и служит для разобщения пластов, изоляции зон поглощения, крепления стенок скважины на интервалах, склонных к обвалообразованию, профилактики миграции флюидов в затрубном пространстве, а также для осложнений геологического характера;

4) эксплуатационная колонна – предназначена для извлечения полезного ископаемого на поверхность и опускается в последнюю очередь на этапе обустройства скважины. Она обязательно содержит фильтр или иное оборудование, применяемое для эксплуатации месторождения (рис. 8.2).

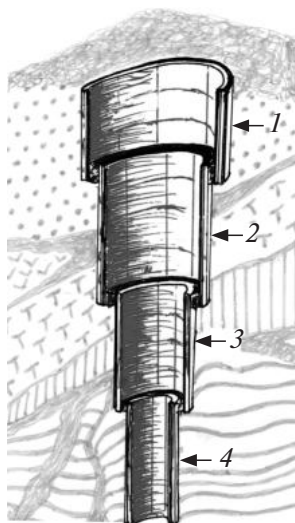


Рис. 8.1. Схема конструкции скважин:
1 – шахтное направление;
2 – кондуктор;
3, 4 – промежуточная колонна

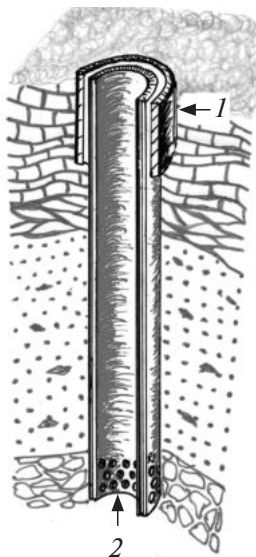


Рис. 8.2. Одноколонная скважина:
1 – кондуктор;
2 – эксплуатационная колонна

Количество рассматриваемых типов обсадных труб в конструкции скважины может изменяться в зависимости от проекта и обуславливаться глубиной, типом полезного ископаемого, дебитом и др. (рис. 8.3). Одноколонные скважины состоят из шахтного направления, кондуктора и эксплуатационной колонны, что можно наблюдать в гидрогеологии. Двухколонная скважина содержит в своём составе шахтное направление, кондуктор, промежуточную и эксплуатационную колонны. Также глубины опускания рассмотренных типов обсадных труб могут изменяться в зависимости от условий бурения, технологии, технологических приёмов и др.

Наибольший диаметр обсадной колонны труб в конструкции скважины имеет шахтное направление, а наименьший – эксплуатационная колонна. При проектировании скважин цели снижения материальных и временных затрат на строительство

скважины обуславливают выбор минимально возможного диаметра эксплуатационной колонны. Традиционно в нефтегазовой отрасли он составляет 146–168 мм. Конструкция скважины определяется диаметром эксплуатационной колонны. При диаметре 190,5 мм и менее скважина классифицируется как имеющая малый диаметр. К указанному типу относят одноколонные скважины (см. рис. 8.2).

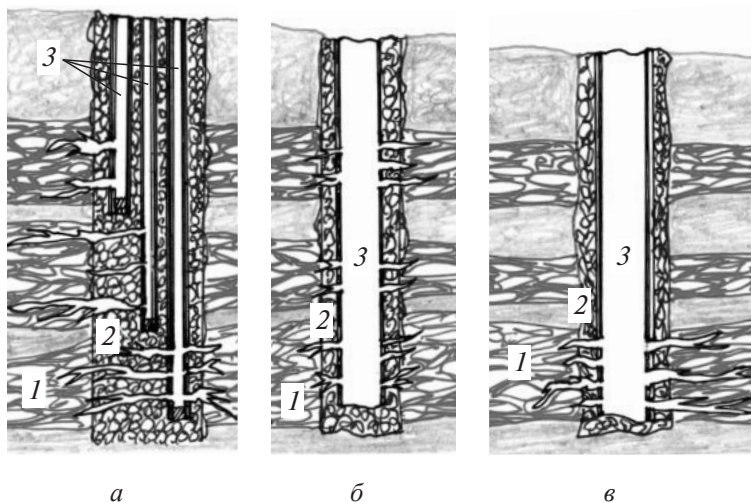


Рис. 8.3. Принципиальная схема заканчивания скважин, вскрывающих несколько пластов при раздельной отработке (а), отработке всех вскрытых горизонтов (б), селективной отработке одного горизонта (в):
1 – пласт-коллектор; 2 – цементный камень;
3 – бурильная колонна

Диаметр долота определяет диаметр муфты обсадной колонны и зазор между стенками скважины и муфтой, достаточный для цементирования скважины. Величина данного зазора связана с величиной выхода колонны за пределы башмака расположенной выше колонны (рис. 8.4).

Цементирование скважин связано с плотным заполнением затрубного пространства скважины между обсадной колонной и её стенками (рис. 8.5).

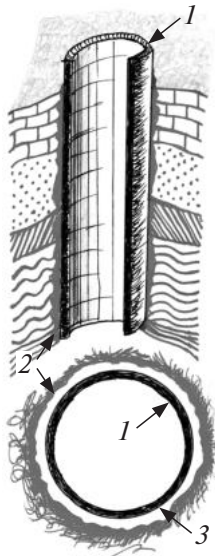


Рис. 8.4.

Незацементированная скважина:

- 1 – колонна обсадных труб;
- 2 – незацементированное затрубное пространство;
- 3 – разбуренная порода

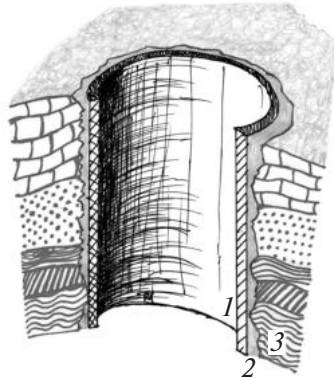


Рис. 8.5. Скважина

с зацементированным затрубным

пространством:

- 1 – колонна обсадных труб;
- 2 – цементный камень;
- 3 – вмещающие породы

Технология цементирования несколько напоминает работу с промывочной жидкостью, закачиваемой в скважину. Однако данная операция существенно отличается от глинизации стенок скважины:

- 1) раствор с момента его приготовления имеет ограниченное время до начала процесса схватывания;
- 2) физические параметры раствора можно изменять в зависимости от модифицирующих добавок, которые влияют на его консистенцию, плотность, способность противостоять температуре, воздействию агрессивных флюидов и др.;
- 3) максимальную прочность раствор набирает за 28 дней;
- 4) процесс цементирования только тогда будет результативным, если схватывание раствора началось после наибольшего за-

полнения затрубного пространства. В случае начала схватывания раствора до окончания заполнения проектного интервала есть вероятность сохранения пустот и протяжённых трещин в затрубном пространстве. Итогом такой цементации будет повышение риска межпластовых перетоков жидкости и потенциального грифонопроявления;

5) свойства растворов, цементирующих стенки скважины, меняются от устья к забою в зависимости от геологических условий пород, слагающих её разрез;

6) цементирование скважин может производиться не только одновременно от устья до забоя, но и по интервалам;

7) процесс цементирования требует привлечения цементосмесительных и цементируемых агрегатов, оснащённых высокопроизводительным нагнетательным оборудованием;

8) проведение цементирования вскрытого бурением продуктивного горизонта позволяет увеличить контроль над пластовым давлением.

Тампонаж скважин представляет собой комплекс мероприятий, направленных на контроль над притоками пластовых флюидов с возможным сохранением потенциала возобновления эксплуатации скважины путём закачки в её ствол бетона, полимеров, глинистых растворов и иных веществ, способных качественно изолировать затрубное пространство и бурильную колонну.

В практике бурения при развитии сложных экологических последствий применяется также *ликвидационный* тампонаж, заключающийся в нагнетании в ствол скважины растворов, близких по своим физико-химическим свойствам ко вскрытым в процессе бурения. Различают *простой* тампонаж, когда скважина не вскрыла пласты флюидов, её ствол заполняется глинистым раствором или засыпается песчано-глинистой смесью. В случае проходки скважины водоносных, нефтяных или газовых горизонтов производится сложное тампонирующее, заключающееся в разобщении разбуренных пластов путём цементирования, размещения глинисто-цементных пробок и восстановления фильтрующих свойств вскрытых коллекторов.

В геологической практике выделяют следующие *методы заканчивания скважин*:

1) отсечение газового или водяного пластов — проводится для минимизации их смешивания в процессе эксплуатации месторождений нефти и газа;

2) отсечение песчаных пород — осуществляется при применении технологий, позволяющих минимизировать проблему кальматации забоя путём его заполнения гравием и проведения щелевой перфорации;

3) освоение со стационарными устройствами — представляет собой однократную установку колонн и обустройство устья с дальнейшими операциями цементирования, перфорации, эксплуатацией и ремонтом скважины, осуществляется оборудованием малых диаметров;

4) многопластовое заканчивание — применяется, если одна скважина вскрывает несколько продуктивных пластов для более эффективной их добычи;

5) классическое заканчивание путём формирования перфорированной колонны — используется, когда в интервале от устья до уровня продуктивного горизонта располагают цементированную обсадную колонну;

6) многозабойное заканчивание — осуществляется при многозабойном бурении и затрагивает в большей степени дополнительные стволы радиальных, разветвлёно направленных и горизонтально разветвлённых скважин.

В практике бурения существуют первичное и вторичное вскрытие продуктивных пластов. К *первичному вскрытию* пластов относится их проходка в процессе углубления скважины, а ко *вторичному* — операции по заканчиванию скважины. В настоящее время распространены различные методы вскрытия продуктивных горизонтов, связанные с перфорацией обсадной колонны, которая осуществляется путём применения следующих методов: пулевого, кумулятивного, гидropескоструйного, фрезерного, торпедного. Эти методы позволяют управляемо создавать в цементном камне, заполняющем вскрытый пласт-коллектор во время его первичного вскрытия, проницаемые каналы для извлечения флюидов.

На перфорирование скважины влияют гидродинамика скважины, прочность и устойчивость ствола.

Требования ко вскрытию продуктивных пластов:

1) упреждение открытого фонтанирования скважины при вскрытии пластов с АВПД;

2) сохранение или улучшение фильтрационных характеристик призабойной зоны;

3) обеспечение изоляции флюидов, ухудшающих качество эксплуатации продуктивных пластов, способных к проникновению в пределы исследуемого горизонта.

Опробование продуктивных горизонтов и испытание пластов в процессе бурения представляет собой совокупность операций по вызову притока флюидов и оценке эксплуатационных характеристик (дебит) исследуемого горизонта.

Испытание пласта объединяет комплекс работ, связанных с обеспечением притока, отбором проб полезного ископаемого, определением нефтегазоносности горизонта, изучением его гидродинамических характеристик и исследованием целостности конструкции скважины на различных этапах её строительства. *Отбор проб флюидов* производится при помощи опробователей пластов на каротажном кабеле преимущественно до цементирования и торпедирования скважины.

Обработка призабойной зоны пласта для вызова (интенсификации) притока флюида в скважину завершает её строительство. Указанные работы основаны на уменьшении давления в стволе скважины, очистке забоя от промывочной жидкости посредством обеспечения условий для проявления пластового давления. Наиболее распространены следующие методы обработки:

1) промывка скважины путём замещения глинистого раствора нефтесодержащими жидкостями;

2) продувка скважины газами или воздухом межтрубного пространства для создания давления и выдавливания флюидов, глинистого раствора и остатков разбуренной породы из интервала размещения продуктивного горизонта;

3) поршневание в насосно-компрессорных трубах, находящихся на глубине расположения конструкции фильтра;

4) кислотная обработка;

- 5) термокислотная обработка;
- 6) гидравлический разрыв;
- 7) гидроструйная перфорация;
- 8) метод переменных давлений для устойчивых коллекторов.

Вопросы для самоконтроля и саморазвития

1. Крепление скважины обсадными трубами.
2. Разновидности оборудования, применяемого для крепления стенок скважин.
3. Испытание скважин.
4. Тампонаж скважин.
5. Ликвидационный тампонаж.
6. Методы заканчивания скважин.
7. Методы вскрытия продуктивных горизонтов.
8. Фильтрационно-ёмкостные свойства коллекторов продуктивных пластов.
9. Первичное вскрытие продуктивных пластов.
10. Вторичное вскрытие продуктивных пластов.
11. Формирование эксплуатационного забоя скважин.
12. Опробование продуктивных горизонтов в процессе бурения.
13. Освоение забоя скважины.
14. Методы обработки призабойной зоны пласта для вызова (интенсификации) притока флюида в скважину.
15. Способы разобщения пластов.
16. Контроль состояния скважины при вскрытии продуктивных пластов.
17. Оборудование скважины, применяемое при вскрытии продуктивных пластов.
18. Газопроявление в скважинах и борьба с его проявлениями.
19. Затрубные нефтегазопроявления в скважинах.
20. Промывка и разобщение пластов в глубоких скважинах.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ БУРЯЩИХСЯ СКВАЖИН



Целью бурения скважин (см. гл. 1) часто является получение фактического материала из ствола скважины, который даёт представление о геологическом строении территории. Таким материалом являются керн и шлам. В процессе проведения исследовательских работ широкого профиля в геологии сформировались определённые требования к качественным и количественным характеристикам отбираемого керна.

Все требования к керну основываются на проектной документации, ГТН и др. Для нужд геолого-разведочных работ необходимо извлечение из скважин достаточно большого количества керна с целью его комплексного изучения в камеральных условиях (изготовление шлифов, исследования геохимии, минералогии и др.).

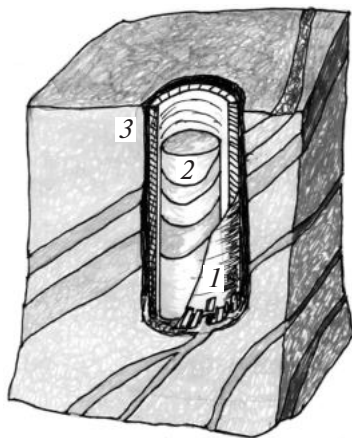


Рис. 9.1. Принципиальная схема образования керна:

- 1 – коронка; 2 – керн;
3 – разбуриваемая порода

Данное обстоятельство может требовать проходки скважин долотами больших диаметров, применения технологий и специализированного оборудования для обеспечения наибольшей сохранности образцов керна, в том числе минимизации их изменения промывочной жидкостью, сохранения газово-жидких включений, ориентировки по сторонам света и др.

Рассмотрим *технические средства* для отбора керна. Образование керна при колонковом бурении осуществляется в процессе разрушения породы кольцевым забоем. Внутри керноприёмной трубы формируется цилиндрический столбик (рис. 9.1).

Средства отделения керна от консолидированных пород забоя и его надёжной фиксации при подъёме имеют большое значение для полноты его извлечения. Отрыв керна от забоя и его удержание в керноприёмных трубах осуществляются при использовании разнообразных кернорвателей.

Фиксирование керна и его отрыв от забоя в процессе отбора проводятся следующими способами:

1) с кернорвателем открытого типа принудительного действия, применяемого для бурения в монолитных горных породах V категории и более высоких категорий по буримости;

2) с кернорвателем открытого типа свободного действия, применяемого для разбуривания пород V–XII категорий по буримости при проходке трещиноватых, сыпучих и монолитных пород;

3) без кернорвательных устройств при бурении в слаботрещиноватых монолитных породах.

Отбор и подъём керна производятся при использовании различных вариантов керноприёмных труб.

Одинарные колонковые трубы используются для отбора керна при разбуривании консолидированных монолитных, слаботрещиноватых горных пород. Конструкция и материалы труб должны быть повышенной точности и прочности из-за значительных нагрузок.

В процессе углубления скважины буровое оборудование вынуждено работать в различных режимах, что определяет сложность применения одного оборудования на всех интервалах бурения. Данное обстоятельство обуславливает многообразие *двойных колонковых наборов*: с вращающейся колонковой трубой, предохраняющей получаемый керн от повреждений; неподвижной колонковой трубой, вращающейся в одном направлении одновременно с бурильной колонной (или долотом).

Эжекторные колонковые снаряды используются для бурения в сложных геологических условиях по породам VI–XII категорий, отличающихся повышенной трещиноватостью, хрупкостью, размывом промывочной жидкости, различием по твёрдости. Применяются одинарные и двойные эжекторные снаряды.

В зависимости от материала исполнения существуют керноприёмные трубы из стали, цветных металлов (алюминий и его

сплавы) и пластика (фибергласс). Трубы, выполненные не из стали, имеют более низкий коэффициент трения об образуемый керн, что способствует увеличению его сохранности.

Выход керна – величина, характеризующая соотношение количества поднятого материала с протяжённостью пробуренного интервала. В оптимальной ситуации, например при разрушении массивных пород, рассматриваемая величина будет стремиться к 100 %, а при разбурировании рыхлых и трещиноватых пород – снижаться. Данный показатель зависит не только от геологической составляющей.

Рассмотрим *факторы*, влияющие на выход керна:

1) геологические – обуславливаются минералогией, петрографией, структурно-текстурными характеристиками пород, степенью их трансформированности геологическими процессами и др.;

2) технические – определяются особенностями конструкции оборудования, предназначенного для добычи, отрыва керна от забоя, фиксации и его извлечения;

3) технологические – зависят от времени бурения одним породообразующим инструментом (протяжённость рейса), режимов бурения, способов бурения, особенностей циркуляции промывочной жидкости, его состава и др.;

4) организационно-управленческие – связаны с наличием, корректностью работы или отсутствием измерительного оборудования, соблюдением технологии бурения, подготовкой персонала.

Способы повышения выхода керна при колонковом бурении основываются на соблюдении следующих *условий*:

1) снижение разрушающего керна побочного воздействия технологии бурения;

2) проведение мероприятий по повышению сохранности керна в кернаприёмной трубе.

Уменьшение протяжённости углубления скважины на протяжении рейса ведет к сокращению длины извлекаемого керна. При необходимости получения керна большей сохранности проводится *бурение с сокращением протяжённости рейсов*, влекущее уменьшение времени негативного воздействия процесса бурения,

которое сочетает два перечисленных выше условия, но вызывает рост материальных и временных затрат на частые спуско-подъёмные операции. Применение способа *обратной призабойной циркуляции промывочной жидкости (обратная промывка)* позволяет сохранить керн, одновременно сохраняя продолжительность рейсов.

Ориентированный керн — крайне ценный источник в геологическом строении пород, например геологическом строении месторождений, в частности особенностях структурной геологии и геодинамики разбуриваемого региона и др. Для решения поставленной задачи есть скважинные устройства — керноскопы, наносящие отметки о сторонах света на верхний торец ещё консолидированного с забоем керна перед его извлечением.

Отбор шлама из бурящихся скважин проводится как операция, способствующая повышению информативности бурения в случае проходки скважин без отбора керна, оперативному получению информации о геологическом строении изучаемого разреза. Также исследование шлама позволяет оценить особенности протекания процесса бурения, в частности изменения физических и химических параметров промывочной жидкости, предвестников выбросов. У отбора шлама есть определённые негативные аспекты — снижение информативности при прямой промывке скважин путём смешивания разрушенного материала из забоя и вышележащих пород. Бурение скважин при бескерновом бурении имеет более высокую производительность по причине сокращения количества спуско-подъёмных операций. Отбор шлама позволяет сохранить достаточный уровень информативности процесса бурения в описанном выше случае. Отбирается шлам как в процессе бурения основного ствола, так и при расширении уже пройденных скважин. Представительность проб шлама обеспечивается:

- 1) креплением боковых стенок скважины обсадными трубами или цементированием для снижения вероятности смешивания пород различных интервалов при подъёме шлама;
- 2) систематической очисткой ствола скважины от шлама предыдущих интервалов бурения;
- 3) снижением потерь промывочного раствора или его дегазацией до отбора их проб.

Шлам может отбираться на глубине при помощи шламоулавливающих труб или на поверхности при применении гидроциклонных шламоудалителей, шламоулавливающих желобов и пр.

Рассмотрим вопрос *хранения* керна и его *укладки в ящики*. КERN – это ценнейший источник геологической информации, добываемой при бурении, и важнейший ресурс для проведения геологических исследований. Мероприятия по сохранению керна начинаются с момента его получения в процессе бурения скважины, когда он попадает в керноприёмную трубу. Особое внимание обращают на операции извлечения и очистки керна от буровых агентов, а также его укладки. Извлечённый керн плотно выкладывают в ящики или отдельные трубы, расколотые фрагменты совмещаются друг с другом.

Укладка керна в ящики выполняется слева направо. В верхней и нижней части интервала бурения (или отобранного шлама) помещают бирки с указанием интервалов глубин, делая отметку на стенках ящика с точностью до 0,01 м, при наличии образцов шлама указывается вес отобранного образца (рис. 9.2).

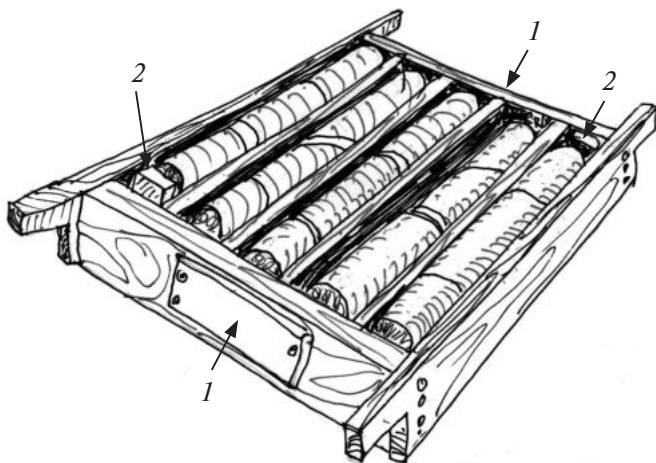


Рис. 9.2. Ящик с керном

и размещение информации на нём:

- 1 – таблички на внешних сторонах кернового ящика;
- 2 – этикетки, ограничивающие интервал бурения

Шлам, рыхлые или сыпучие составляющие керны отбирают в плотные отдельные пакеты, помещаемые в ящики с керном, и укладывают в соответствии с пройденным интервалом бурения.

В случае необходимости хранения образцов обеспечивают условия по наибольшей их сохранности (изоляция от атмосферного воздуха, влажности, герметизация, парафинирование, защита от перепадов температур и т. д.). Каждый ящик подписывается с указанием наименования объекта, интервала бурения и иной сопровождающей информации. На боковые стенки ящиков наносят стрелки, обозначающие направление укладки, начало и конец интервала бурения, сопровождаемые табличками с указанием глубин.

На буровой ящики с керном или шламом тщательно упаковываются, уже сложенные в штабеля укрываются плотным материалом, располагаются в помещениях, защищённых от негативных атмосферных воздействий. Крышки ящиков содержат информацию, которая дублирует размещённую на торце, – наименование организации, номер скважины, интервал бурения и год. По завершении бурения ящики с керном транспортируют в кернохранилище для дальнейших исследований и последующего длительного хранения.

Вопросы длительного хранения керны в настоящее время неоднозначны, в частности есть представление о необходимости хранения абсолютно всего керны всех скважин, несмотря на материальные затраты, его влекущие, также есть мнение об оптимизации затрат на хранение. Последняя точка зрения предусматривает частичную или полную ликвидацию детальным образом изученного керны, но это не всегда оправданно из-за безвозвратных потерь ценного научного материала для будущих учёных. В случае ликвидации керны запрещается уничтожение керны опорных, картировочных, параметрических, сверхглубоких скважин, а также керны скважин инженерно-геологического назначения, содержащих материалы по особо важным объектам.

Геофизические и другие исследования скважин позволяют получить больше информации о вскрытом бурением разрезе, в частности определить границы горизонтов, уточнить проницаемость

пластов, физические и химические свойства пород, температурный режим, особенности циркуляции флюидов даже без отбора керна. Совокупность геофизических методов исследований скважин называется каротажем. В процессе проведения каротажа геологи соотносят наблюдаемые геофизические параметры изучаемого разреза с известными им однотипными характеристиками эталонных геологических тел. Так, несколько опосредованно, формируется представление о строении вскрываемых горизонтов. В настоящее время используются следующие *виды каротажа*:

1) радиоактивные – основаны на измерении особенностей естественной и наведённой радиоактивности (нейтронный каротаж, гамма-каротаж, гамма-гамма-каротаж и др.);

2) электрические – основаны на изучении особенностей пропускания электрического тока горными породами;

3) термические – позволяют исследовать геотермальный режим скважины.

Существуют и другие виды каротажа, содействующие более детальному изучению геологических свойств горных пород.

Перечислим способы изучения скважин: операции в скважинах, в число которых входят кавернометрия – измерение диаметра скважин, инклинометрия – измерение искривления скважин, телеметрия – изучение особенностей цементирования, целостность колонны обсадных труб, а также контроль технического состояния скважины и др.

Геологическое обслуживание буровых проводится специалистами профильной организации путём систематического или разового исследования выбуренного материала – керна и шлама, а также изучения вскрытых горизонтов. Существуют разные подходы к геологическому обслуживанию скважины – систематический отбор материалов бурения бурильщиками или буровыми мастерами. Также упомянутые операции может осуществлять участковый геолог, который вносит соответствующие правки в геолого-технический наряд в соответствии с характером вскрываемых пород. Все операции с керном находят своё отражение в сопровождающей бурение документации.

Извлечение керна, очистку, укладку в ящики, этикетирование и хранение на буровой осуществляют или контролируют буровой

мастер и бурильщик. Ведение *первичной геологической документации*, включающей описание керна, отбор проб, составление геологического разреза и их увязку с геофизическими данными проводят геологи (старший геолог партии, участка и др.).

При проведении исследований керна изучается минералогия, петрография, литология и геохимия вскрытого бурением разреза, а также составляется эталонная коллекция горных пород исследуемого района. Данные материалы широко используются при дальнейших региональных поисково-разведочных работах.

Технический проект на бурение скважины представляет собой важнейший документ строительства скважины, при составлении которого используют:

- макет рабочего проекта строительства;
- инструкцию о порядке строительства, проектирования, согласования и утверждения;
- правила техники безопасности, санитарии и др.;
- нормы законодательства;
- смету;
- заключения контролирующих органов.

Проекты скважины могут быть индивидуальные – для устройства одной скважины – и групповые – для большого количества скважин в пределах одного района.

Геолого-технический наряд является основным документом для персонала буровой, составляемым на базе технического проекта буровой. Он состоит из геологической и технической частей, представляющих собой *оперативный план работы буровой бригады*.

Геологическую составляющую ГТН геологи формируют путём подготовительных работ, а также систематически пополняя его результатами проходки скважины. Особое внимание они уделяют параметрам залегания геологических тел и каротажа. В процессе составления ГТН в него вносят информацию о глубине скважины, об особенностях спуска обсадных колонн, их количестве, о профиле ствола, об испытаниях герметичности, о качестве цементирования, а также описание промывочной жидкости, параметры бурения и др.

Техническую составляющую ГТН разрабатывают профильные специалисты, которые учитывают опыт бурения на территории

региона для расчёта конструкции скважины с целью оптимизации материальных и временных затрат. Данная составляющая, как и геологическая, в процессе бурения требует корректировки.

На буровой геологи из числа управляющего состава выполняют следующие обязанности:

1) системный контроль за выходом керна, включающий мероприятия (совместно с профильными специалистами) по изменению техники и технологии бурения, направленные на снижение его потерь;

2) уточнение выхода керна по соотношению извлечённого объёма керна к пройденной глубине или по объёму шлама;

3) проверку корректности укладки керна в ящики и его этикетирование;

4) верификацию результатов работы техника-геолога, связанную с правильностью полевого определения пород, описание керна, проверку ведения полевого журнала и др.;

5) определение категорий буримости пород;

6) проведение контрольных измерений глубины пройденных интервалов, включая определение уровней флюидов в скважинах, определение инклинометрии, каротажа и др.;

7) отслеживание транспортировки керна с буровой для его дальнейшего изучения.

Вопросы для самоконтроля и саморазвития

1. Отбор керна.
2. Укладка керна.
3. Способы повышения выхода керна.
4. Геофизические и другие исследования в скважине.
5. Первичная документация в бурении.
6. Технический проект на бурение скважины. Геолого-технический наряд.
7. Место и роль геологической службы при производстве буровых работ.
8. Геологическая информация, полученная с помощью разведочного бурения.
9. Причины потери керна.
10. Ориентирование керна.

11. Операции в скважинах.
12. Виды каротажа и их взаимосвязь с геологическим строением вмещающих ствол скважины пород.
13. Влияние глинистого раствора и технологии бурения на информативность каротажа.
14. Опробование керна.
15. Сводная геологическая документация.
16. Литологическое описание керна.
17. Фотодокументация керна.
18. Сокращение керна.
19. Ликвидация керна.
20. Хранение керна.



ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ БУРЕНИИ

Цель *организации буровых работ* заключается в улучшении технико-экономических показателей проходки скважин, которые можно увеличить путём усовершенствования организации производства и развития технической базы. Рост экономических показателей бурения напрямую зависит от увеличения скорости проходки и сокращения времени заложения скважин.

Техника безопасности при проведении буровых и опытных работ строго регламентируется соответствующей документацией. Её соблюдение тесно связано с вопросами требований к персоналу и его обучением. Все буровые работы производятся в строгом соответствии с утверждённым проектом. Важно беспрекословно соблюдать должностные инструкции.

Соблюдение мер техники безопасности включает следующие направления:

1) обучение соблюдению мер техники безопасности персонала в соответствии с должностными инструкциями и периодический контроль их знаний;

2) оснащение персонала буровой средствами индивидуальной защиты и обучение их использованию;

3) снабжение бурового оборудования средствами защиты персонала (кожухи, щиты, системы аварийного отключения, их взрывобезопасное исполнение и др.);

4) проведение системной политики, направленной на разработку и широкое распространение передовых технологий, позволяющих повысить безопасность персонала и безаварийность бурения.

Обустройство места заложения скважин регламентируется соответствующими документами, а также обуславливается объёмом бурения, глубиной скважины, экологической опасностью

искомого полезного ископаемого и др. Обустройство скважины на суше обычно начинается с удаления почвенно-растительного слоя с последующей отсыпкой песчано-гравийной смеси или устройства иных экранов на производственной площадке, на которой осуществляется бурение. Для уменьшения потенциального вреда экологии и снижения материальных затрат может применяться кустовое или многозабойное бурение. Бурение вне суши производится со специальных платформ, содержащих на своём борту всё необходимое для проходки скважин оборудование. Все буровые, независимо от места базирования, нуждаются в коммуникации с внешним миром. На суше обычно это наземный транспорт, который требует прокладки путей сообщения, что создаёт дополнительные экологические риски в регионах проведения бурения.

Соблюдение *норм промышленной санитарии* имеет большое значение для обеспечения оптимальной жизнедеятельности буровой бригады и соблюдения планов проходки скважины.

Решение данной проблемы лежит в плоскости борьбы с минимизацией негативного воздействия экстремальных температур, высокой и низкой влажностью, электромагнитным излучением, свето-шумовым воздействием, влиянием повышенных вибраций, агрессивных жидкостей под высоким давлением, особенностями освещения буровой и др. Соблюдение норм промышленной санитарии тесно связано с вопросами техники безопасности и мероприятиями по охране недр и окружающей среды.

Источниками нефтяного и химического загрязнения при бурении скважин являются как вещества, используемые для бурения и функционирования буровой и сопутствующих целей: глинистые растворы, сточные воды, реагенты, шлам и др., так и флюиды, поступающие из ствола скважины. Следует отметить, что в процессе бурения образуется большое количество загрязнителей в жидкой фазе, способных диффундировать в нижележащие слои, поглощаться почвой, перемещаться в водоносные горизонты. Несмотря на соблюдение мероприятий по охране окружающей среды при бурении и следовании технологии бурения, в силу объективных причин всегда существует вероятность утечек упомянутых выше контаминантов в окружающую среду.

Районы нефтегазодобычи и активного проведения бурения традиционно стали областями серьёзной экологической напряжённости. Таким образом, рассматриваемый вопрос тесно связан с проблемами экологии.

Мероприятия по охране недр и окружающей среды при бурении включают в себя как собственно комплекс мер по упреждению нанесения ущерба экологической обстановке на протяжении всего цикла строительства скважины, так и действия, направленные на минимизацию ущерба и фактическое восстановление природных комплексов до исходного состояния. Охрана недр рассматривается с нескольких позиций:

1) порядок эксплуатации месторождений в контексте привлечения бурения для их поисков и разведки, при котором добыча полезных ископаемых производится способами, позволяющими их наиболее полное извлечение с нанесением наименьшего экологического ущерба;

2) уменьшение загрязнения окружающей среды как в приповерхностных горизонтах, так и в глубоко залегающих пластах;

3) неконтролируемые невосполнимые потери полезного ископаемого в процессе его добычи, приводящие к загрязнению недр при попадании в геологические формации.

Вопросы охраны недр и окружающей среды актуальны при сооружении гидрогеологических скважин. Наибольшую результативность показали мероприятия по установлению охранных санитарных зон, контроль за самоизливом скважин и загрязнением отходами бурения прилегающих территорий.

По степени вовлечения персонала можно выделить иерархические уровни нанесения ущерба в процессе бурения скважин, относящиеся к внутренним факторам (оборудование, имущество третьих лиц, окружающая среда и др.), а именно *уровни*:

1) рядового персонала — охватывает большинство сотрудников буровой, сознательность и законопослушность которых закладывает сохранность окружающей среды и потенциал её рекультивации на конкретной скважине и прилегающей площади в дальнейшем;

2) управленца (-ев) в пределах бурящейся скважины — обуславливает контроль над выполнением природоохранных мероприятий и соблюдение технологии бурения персоналом;

3) вышестоящего руководства — представлен руководителями профильных департаментов, директорами организаций, собственниками и др. Традиционно это наивысшая ступень карьерного роста инженера-геолога.

Субъекты, относящиеся к рассматриваемому элементу классификации, способны в полной мере определять объёмы финансирования и организации мероприятий по охране окружающей среды, в частности принимать решения по контролю за исполнением природоохранного законодательства, понуждать коллектив к его неукоснительному соблюдению. Указанные субъекты должны осознавать выраженные риски наступления правовых последствий за собственные решения.

В рамках данного вопроса можно выделить также и *внешние факторы*, влияющие на результативность мероприятий по охране окружающей среды и рекультивации повреждённых земель: стихийные бедствия (ураганы, цунами и др.), воздействие локальных конфликтов, специфика природоохранного законодательства и особенности отношения должностных лиц к его соблюдению, криминологическая политика стран проведения буровых работ.

Рассмотренные выше внутренние и внешние факторы определяют санкции (уровень ответственности), которые могут быть применены к персоналу буровых бригад и руководящему составу различных уровней управления.

Вопросы охраны недр и окружающей среды при бурении тесно связаны с осложнениями и авариями при бурении, разобщением, вскрытием, опробованием и испытанием продуктивных горизонтов (см. гл. 6, 8).

Ликвидация скважин является важным этапом процесса их сооружения. В частности, в стволе скважины располагаются цементные мосты с перекрытием до 30 м от кровли и подошвы интервалов флюидопроявления. Также в устье скважин отливают бетонные кубы со стороны стенки, равной одному метру. В центре верхней стороны куба располагается стальная табличка с номером скважины, названием организации, глубины и др.

Процесс *консервации скважин* принципиально отличается от их ликвидации, так как его цель — сохранение коллекторских свойств продуктивных пластов посредством заполнения ствола

скважины промывочной жидкостью с плотностью, превышающей пластовое давление. Устьева часть скважины оборудуется фонтанной арматурой, проводятся мероприятия по исключению несанкционированного доступа к стволу скважины.

Вопросы для самоконтроля и саморазвития

1. Организация буровых работ.
2. Техника безопасности при проведении буровых и опытных работ.
3. Требования к персоналу, обучение.
4. Обустройство места заложения скважины.
5. Нормы промышленной санитарии.
6. Мероприятия по охране недр и окружающей среды при бурении.
7. Охрана недр.
8. Самоизлив скважин.
9. Ликвидация скважин.
10. Консервация скважин.
11. Внутренние факторы, влияющие на результативность мероприятий по охране окружающей среды при бурении.
12. Внешние факторы, влияющие на результативность мероприятий по охране окружающей среды при бурении.
13. Правовые последствия нарушения природоохранного законодательства при бурении.
14. Рациональное недропользование.
15. Экспертиза рационального недропользования.
16. Общее и частное недропользование.
17. Геологическая среда и взаимодействие с техносферой в контексте строительства скважин.
18. Человек как фактор нарушения техники безопасности буровых работ.
19. Человек как фактор возникновения загрязнения недр и нарушения рационального недропользования.
20. Скважинная гидродобыча и её воздействие на окружающую среду.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Буровой забойный инструмент – долото.

Буровой станок – оборудование, при помощи которого производится бурение скважин.

Буровой флюид – буровой раствор.

Буровые штанги – буровые трубы.

Водонефтяной контакт – условная поверхность, разграничивающая нефть и воду в скважине. Выделяют газонефтяной и газовойодяной контакты.

Выход керна – количество керна, извлекаемого из скважины в процессе бурения.

Геологическая партия – геологический отряд, имеющий стационарное или мобильное базирование.

Глинизация забоя – процесс накопления глинистых частиц в призабойной части скважины, в породах-коллекторах в результате эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

Глинистый (шламовый) амбар – углубление, располагающееся на буровой, служащее для накопления отработанного глинистого раствора (отходов бурения).

Грифоны – внезапный выход флюида, перемещающегося на поверхность по затрубному пространству скважины.

Долото – элемент оборудования, служащий для разрушения горных пород механическим способом.

Забой (скважины) – самая удалённая от устья и, соответственно, самая глубокая часть скважины, которая может служить для извлечения полезного ископаемого.

Забойные двигатели – буровое оборудование, располагающееся в призабойной области и служащее для вращения долот.

Затрубное пространство – пространство, располагающееся между стенками скважины и обсадной колонной.

Инклинометрия скважин – измерение и регистрация пространственного положения ствола скважины.

Керн – цилиндрический фрагмент выбуренной горной породы, извлекаемый из ствола скважины.

Кальматация скважин — естественная цементация фильтров скважин, приводящая к снижению извлечения полезных ископаемых.

Каротаж — комплекс информации по геофизическим исследованиям.

Колонковое бурение — разновидность вращательного бурения, характеризующегося разрушением породы в забое по кольцевой траектории с образованием цилиндрического столбика горных пород — керна.

Нанофлюид — жидкость, используемая при бурении с добавками наноматериала (-ов).

Обсадная колонна — совокупность соединённых между собой труб, спускаемых в скважину в процессе бурения.

Опытно-промышленная разработка (эксплуатация) месторождения — исследование эксплуатационных характеристик рудника в процессе начала его разработки на полной мощности и при разных режимах разработки.

Ориентированный керн — керн, содержащий нанесённые метки его первичного расположения в скважине относительно оси вращения.

Пакер — вспомогательный инструмент, помещенный в скважину и служащий для временного разделения, изоляции пластов, цементирования скважины и иных операций.

Поверхностно-активные вещества — химические соединения, способные снижать поверхностное натяжение в плоскости раздела термодинамических фаз.

Превентор — составной элемент противовыбросового оборудования, располагающегося в устье скважины.

Приямок — колодец, обустроенный в устье скважины, в котором располагается оборудование, необходимое для её бурения или (и) эксплуатации.

Продуктивный пласт — протяжённый выдержанный пласт (пласты), содержащий миграционноспособные флюиды в количествах, имеющих промышленное значение при эксплуатации.

Промежуточная колонна — колонна, образованная соединёнными между собой трубами и служащая преимущественно для разобщения пластов.

Проницаемость коллекторов – свойства массива горных пород пропускать газы и жидкости при изменениях давления.

Расхаживание бурильной (обсадной) колонны (в скважине) – возвратно-поступательные движения вдоль вертикальной оси скважины, которые могут сопровождаться её вращением преимущественно для борьбы с прихватами бурильной колонны, осложнениями цементирования и другими осложнениями при бурении.

Рейс – совокупность мероприятий (от подготовки к спуску до извлечения бурового снаряда) в процессе бурения по однократному углублению скважины одним долотом.

Самоизлив скважины – выход флюида из скважины на поверхность под воздействием пластового давления.

Свеча – несколько свинченных между собой бурильных труб, применяется для ускорения спуско-подъёмных операций при бурении.

Скважина – горная выработка, проходима без доступа человека в самой нижней части скважины – забое, характеризующаяся значительным отношением длины к диаметру.

Ствол (скважины) – пространство, образованное устьем, стенками, забоем скважины.

Тампонаж – комплекс операций по ликвидации притока флюида (чаще всего воды) в скважине, включающий помещение в ствол скважины изолирующих агентов – бетона, глинистых растворов, полимеров и других субстанций.

Телеметрия скважин – способ обследования скважин посредством видеоаппаратуры, опускаемой в их внутреннюю часть.

Устье (скважины) – часть скважины (чаще всего верхняя), с которой начинается процесс её проходки.

Фильтр – участок скважины, проходящий в пределах продуктивного горизонта и отличающийся способностью к пропусканию флюидов из-за пределов затрубного пространства.

Флюид (пластовый флюид, «гипотетическая жидкость») – вещество, перемещение которого в горных породах описывается при помощи механики жидкостей. Примерами служат вода, нефть, эмульсии и др.

Цементное кольцо — образование, представленное затвердевшим бетоном в пределах затрубного пространства и служащее для герметизации скважины и вмещающих пород.

Цементный мост — непроницаемая для флюидов перемычка в стволе скважины.

Шлам — преимущественно тонкодисперсная субстанция, которая содержится в отработанном глинистом растворе и образуется в процессе бурения.

Эксплуатационная обсадная колонна — совокупность сочленённых между собой труб, спускаемых в призабойную область скважины и служащих для добычи полезного ископаемого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основной

Вадецкий, Ю. В. Бурение нефтяных и газовых скважин : учебник / Ю. В. Вадецкий. — М. : Академия, 2008.

Вадецкий, Ю. В. Бурение нефтяных и газовых скважин / Ю. В. Вадецкий. — М. : Недра, 1973.

Володин, Ю. И. Основы бурения / Ю. И. Володин. — М. : Недра, 1986.

Захария, И. Р. Основы разведочного бурения : курс лекций / И. Р. Захария, В. А. Бабец. — Минск : БГУ, 2003.

Нескромных, В. В. Бурение скважин : учеб. пособие / В. В. Нескромных. — М. : ИНФРА-М, 2020.

Породоразрушающий инструмент для геологоразведочных скважин : справочник / Корнилов Н. И. [и др.]. — М. : Недра, 1979.

Правила безопасности при геологоразведочных работах / редкол.: А. И. Осецкий (пред.) [и др.]. — СПб. : ФГУНПП «Геологоразведка», 2005.

Практическое руководство по технологии бурения скважин на жидкие и газообразные полезные ископаемые / А. Г. Калинин [и др.]. — М. : Недра, 2001.

Разведочное бурение / А. Г. Калинин [и др.]. — М. : Недра, 2000.

Соловьёв, Н. В. Бурение разведочных скважин : учеб. для вузов / Н. В. Соловьёв, В. В. Кривошеев, Д. Н. Башкатов. — М. : Высш. шк., 2007.

Дополнительный

Воздвиженский, Б. И. Разведочное бурение / Б. И. Воздвиженский, О. Н. Голубинцев, А. А. Новожилов. — М. : Недра, 1979.

Ганджумян, Р. А. Практические расчеты в разведочном бурении / Р. А. Ганджумян. — М. : Недра, 1986.

Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин : в 2 т. / под ред. Е. А. Козловского. — М. : Недра, 1984.

Спутник нефтегазопромыслового геолога : справочник / под ред. И. П. Чоловского. — М. : Недра, 1989.

Шамшев, Ф. А. Технология и техника разведочного бурения : учеб. для вузов / Ф. А. Шамшев, Б. Б. Кудряшов. — М. : Недра, 1983.

Электронные ресурсы

Государственное предприятие «Белгеоцентр» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.belgeocentr.by/normativnaya-baza> <http://elib.gubkin.ru>. Дата доступа: 17.12.2019.

Уфимский государственный нефтяной технический университет : сайт. Режим доступа: <http://bibl.rusoil.net/jirbis2/http://elib.gubkin.ru>.

Электронная нефтегазовая библиотека Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elib.gubkin.ru/#>. Дата доступа: 17.12.2019.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. Предмет и задачи методики буровых работ	5
Глава 2. Горные породы и их разрушение при бурении	15
Глава 3. Способы бурения. Буровое оборудование и инструмент....	20
Глава 4. Бурение скважин на воду	36
Глава 5. Промывка и продувка скважин	45
Глава 6. Осложнения и аварии при бурении	54
Глава 7. Искривление скважин и направленное бурение.....	64
Глава 8. Разобшение и вскрытие пластов. Опробование и испытание продуктивных горизонтов.....	77
Глава 9. Геологическое обслуживание бурящихся скважин	86
Глава 10. Охрана труда и окружающей среды при бурении.....	96
Словарь терминов	101
Список литературы	105

Учебное издание

Творонович-Севрук Даниил Леонидович

МЕТОДИКА БУРОВЫХ РАБОТ

Пособие

Ответственный за выпуск *Т. С. Петроченко*

Художник обложки *Т. Ю. Таран*

Технический редактор *В. П. Явуз*

Компьютерная верстка *О. Ю. Шантарович*

Корректор *Е. В. Демидова*

Подписано в печать 27.04.2022. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 6,28. Уч.-изд. л. 5,89.

Тираж 40 экз. Заказ 222.

Белорусский государственный университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.

Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Республиканское унитарное предприятие

«Издательский центр Белорусского государственного университета».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/63 от 19.03.2014.

Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.