

А.М. Бейсебаев
Н.Т. Туякбаев
Б.В. Федоров

БУРЕНИЕ СКВАЖИН И ГОРНО- РАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

*Допущено Государственным комитетом СССР
по народному образованию в качестве учебника
для студентов вузов, обучающихся по специаль-
ности "Гидрогеология и инженерная геология"*

Под общей редакцией проф. Н.Т. ТУЯКБАЕВА



МОСКВА "НЕДРА" 1990

ББК 33.13

Б 41

УДК (622.24+622.253) (075)

Рецензенты: кафедра бурения Московского геологоразведочного института; д-р техн. наук *М.И. Фазлуллин*

Организация-спонсор Казахский политехнический институт имени В.И. Ленина

Бейсебаев А.М., Туякбаев Н.Т., Федоров Б.В.

Б 41 Бурение скважин и горно-разведочные работы: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1990. 303 с.

ISBN 5-247-01277-1

Приведены общие сведения о бурении скважин. Рассмотрены очистка, крепление и тампонирувание скважин. Основное внимание уделено различным видам, техническим средствам и технологии бурения гидрогеологических и инженерно-геологических скважин. Изложены основы физики и механики горных пород. Даны рекомендации по выбору форм и размеров горных выработок. Описаны техника и технология проведения и крепления выработок, а также их энергоснабжение.

Для студентов геологоразведочных вузов и факультетов, обучающихся по специальности "Гидрогеология и инженерная геология".

Б 2502010300 – 170 230–90
043 (01) – 90

ББК 33.13

ISBN 5-247-01277-1

© А.М. Бейсебаев, Н.Т. Туякбаев, Б.В. Федоров, 1990

Буровые и горные работы в больших объемах проводятся при поисках и разведке всех видов полезных ископаемых, инженерно-геологических изысканиях и гидрогеологических исследованиях. Затраты на проведение этих работ составляют свыше 50 % общей суммы финансирования, выделяемой геологической службе страны. Ежегодно в стране сооружаются свыше 50 тыс. скважин для нужд водоснабжения, орошения и осушения. Значительные объемы буровых работ выполняются строительными организациями для замораживания плывунов и водоносных песков, создания свайных фундаментов и т.д.

Буровые и горные работы известны еще с глубокой древности. В Египте скважины бурили около 6000 лет назад при строительстве пирамид. В Китае 2000 лет назад скважины бурили для добычи рассолов поваренной соли. С этой же целью в России с XII–XIII вв. бурили в бассейнах рек Северной Двины и Камы.

Первая скважина для водоснабжения была пробурена в XII в. в провинции Артуа (Франция). В 1876 г. в Москве была пробурена скважина на воду глубиной 458 м начальным диаметром 812 мм. С развитием промышленности с помощью скважин начали поиски нефти, угля и других полезных ископаемых. В России первая скважина на нефть была пробурена в 1866 г. А.А. Новосельцовым. Развитие колонкового бурения в XIX в. связано с именами И.Н. Глушкова, С.Г. Войслава.

Роторное бурение впервые было применено в 1901 г. в США. В России этим способом была пробурена первая скважина на нефть в 1911 г. В СССР, начиная с 1920 г., роторное бурение нефтяных скважин распространяется все шире и к 1934 г. полностью вытесняет ударное.

Наша страна -- родина создания забойных двигателей. В 1923 г. инженер М.А. Капелюшников создал первый редукторный турбобур, а в 1933–1934 гг. инженеры П.П. Шумилов, Р.А. Иоаннесян, Э.И. Тагиев, М.Т. Гусман разработали новую конструкцию безредукторного турбобура, получившего широкое распространение при бурении на нефть и газ.

Колонковое бурение твердосплавными коронками в нашей стране началось с 1923 г. на базе импортных, а с 1929 г. -- на базе отечественных твердых сплавов. В 60-е годы бурно развивается колонковое бурение алмазными коронками, вызвавшее настоящий переворот в технике и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. Разработаны и внедрены в производство ударно-вращательный способ, многозабойное и направленное бурение, бурение со съемными керноприемниками, гидротранспортом керна и т.д. Созданы новые эффективные способы бурения неглубоких скважин (вибрационное, шнековое, комбинированное и др.), а также высокопроизводительное буровое оборудование и технология для сооружения скважин на воду.

В развитие буровой науки и техники большой вклад внесли советские ученые Б.И. Воздвиженский, Н.И. Куличихин, Ф.А. Шамшев, Е.А. Козловский, С.А. Волков, С.С. Сулакшин, Д.Н. Башкатов и многие другие.

Разведочное бурение дает возможность составить представление о месторождении, но для его детального изучения этого недостаточно. С целью получения надежных сведений о качестве и количестве полезных компонентов, а также для изучения обогатимости руд, структурных особенностей и нарушенности месторождения необходимо иногда выполнить значительный объем горно-разведочных работ. Многие выработки, пройденные вначале с целью разведки, используются впоследствии для эксплуатационных работ, поэтому размеры их и методы проходки мало чем отличаются от проходки выработок, предназначенных для эксплуатации.

Бурение скважин и проведение горных выработок — основные технические средства проведения инженерно-геологических изысканий и гидрогеологических исследований, поисков, разведки и эксплуатации подземных вод. Поэтому знание современной технологии и техники буровых и горных работ крайне необходимо горному инженеру по специальности "Гидрогеология и инженерная геология".

Часть I книги написана Н.Т. Туякбаевым и Б.В. Федоровым, часть II — А.М. Бейсебаевым. В написании отдельных глав части II принимали участие Ю.Н. Бабин, А.Д. Козлов, Ю.П. Коняев, А.Я. Пшеничный, Г.И. Тамбиев.

ЧАСТЬ I

БУРЕНИЕ СКВАЖИН

Глава 1

КЛАССИФИКАЦИЯ СКВАЖИН И СПОСОБЫ ИХ БУРЕНИЯ

§ 1. ЭЛЕМЕНТЫ СКВАЖИНЫ

Буровой скважиной называется искусственная цилиндрическая горная выработка в земной коре, имеющая малые поперечные размеры по сравнению с глубиной. Диаметры скважин изменяются от 25 до 1000 мм и более (при проходке шурфов и стволов шахт их диаметры достигают 8000 мм). Глубина скважин изменяется от 5 м до 10 км и более. В СССР бурится самая глубокая в мире Кольская скважина СГ-3, глубина которой превысила 12 000 м (проектная глубина 15 000 м).

Самые глубокие скважины бурят с целью поисков и разведки нефти и газа и изучения глубинного строения земной коры. При разведке месторождений твердых полезных ископаемых глубина скважин, пробуренных с отбором керна, превысила 4000 м.

Элементами буровой скважины являются (рис. 1.1):

забой — дно скважины, углубляющееся в процессе ее проходки; забой может разрушаться по всей площади 8 или по кольцу 6 с оставлением в центральной его части неразрушенного столбика породы — керна 7, являющегося наглядным геологическим образцом;

стенки 9 — боковая поверхность буровой скважины;

устье 1 — линия пересечения боковой поверхности скважины с земной поверхностью;

ствол — пространство, ограниченное стенками скважины (2 — обсаженный трубами 3; 5 — не обсаженный);

ось скважины 4 — траектория, описываемая в пространстве центром углубляющегося забоя.

Скважина, являющаяся инженерным сооружением, характеризуется конструкцией, т.е. ее устройством в земной коре. Конструктивные параметры скважины:

диаметры ствола D_1, D_2, D_3 принято диаметр скважины принимать равным диаметру породоразрушающего инструмента;

общая глубина L_3 ;

интервалы закрепления ствола L_1, L_2 , сложенного неустойчивыми породами; указанные интервалы перекрываются трубами, называемыми обсадными;

диаметры $d_{1н}, d_{2н}, d_{1в}, d_{2в}$ (наружный "н" и внутренний "в") обсадных труб;

интервалы заполнения затрубного пространства (кольцевой зазор

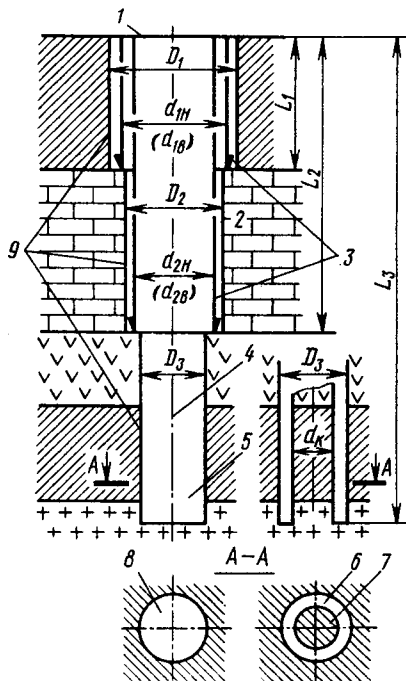


Рис. 1.1. Элементы буровой скважины

между скважиной и наружным диаметром обсадных труб) непроницаемым материалом для разобщения пересекаемых пластов;

при бурении скважин на жидкие полезные ископаемые (нефть, пресные и минеральные воды) в понятие "конструкция скважины" входит также ее устройство в пределах продуктивного пласта, подлежащего опробованию и эксплуатации.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ СКВАЖИНЫ

Положение оси скважины в пространстве называется траекторией скважины. По направлению скважины делятся на вертикальные, наклонные, горизонтальные и восстающие (направленные вверх). Последние два типа скважин в основном бурятся из подземных горных выработок или в гористой местности.

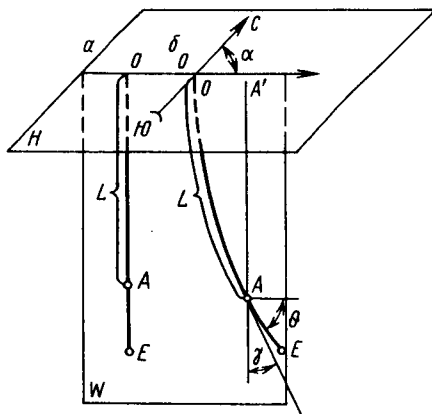
В процессе проходки скважины, как правило, искривляются, причем траектория их может быть плоско искривленной или пространственно искривленной. Положение любой точки, например A , определяется тремя координатами (рис. 1.2): глубиной L , зенитным γ и азимутальным α углами.

Глубина L — это расстояние, измеренное по траектории скважины от ее устья до рассматриваемой точки.

Зенитным углом γ называется угол, измеренный в вертикальной плоскости между вертикалью и касательной к траектории скважины, проведенной через точку A .

Азимутальным углом α в рассматриваемой точке является угол, измеренный в горизонтальной плоскости по направлению движения часовой стрелки между определенным направлением (чаще всего меридиональным) и горизонтальной проекцией траектории OA' .

Рис. 1.2. К определению пространственного положения траектории скважин;
 a – вертикальная; b – плоскоискривленная



Положение любой точки вертикальной трассы измеряется лишь одной координатой – глубиной L , так как в этом случае $\alpha = 0$, $\gamma = 0$. Для определения пространственного положения траектории скважины замеряют величины α и γ через определенные интервалы: 25–100 м. Зенитный и азимутальный углы замеряют с помощью специальных приборов – инклинометров.

§ 3. КЛАССИФИКАЦИЯ СКВАЖИН ПО ЦЕЛЕВОМУ НАЗНАЧЕНИЮ

По целевому назначению скважины делятся на геологоразведочные, эксплуатационные и технические.

Геологоразведочные скважины разделяются на поисковые, разведочные, картировочные, структурные, параметрические, опорные.

Поисковые скважины предназначены для поиска территорий, благоприятных для залегания месторождений полезных ископаемых.

Разведочные скважины бурят для установления морфологии рудных тел; оконтуривания и подсчета запасов полезных ископаемых, выявления закономерности их распределения. Разведочные скважины на воду бурят с целью вскрытия водоносных горизонтов и их опробования.

Картировочные скважины бурят с целью вскрытия наносов и современных отложений и отбора проб коренных пород, залегающих под ними.

Структурные скважины предназначены для выявления и изучения геологических структур, благоприятных для залегания месторождений полезных ископаемых.

Параметрические скважины бурят с целью изучения глубинного геологического строения и выявления перспективных районов для детальных геологопоисковых работ, а также измерения геофизических свойств и температуры пород.

Опорные скважины предназначены для изучения геологического строения крупных геоструктурных элементов с целью установления общих закономерностей распространения отложений, благоприятных для образования полезных ископаемых.

Эксплуатационные скважины бурят с целью добычи полезных ископаемых и использования глубинного тепла Земли. Жидкие и газообразные полезные ископаемые в большинстве случаев добывают с помощью скважин. Технология добычи некоторых твердых полезных ископаемых (сера, медь, карналлиты и др.) связана с бурением геотехнологических скважин.

Технические скважины бурят для различных инженерных целей: размещение взрывчатых веществ при сейсморазведочных работах или добыче полезных ископаемых открытым способом; установка свайных фундаментов; захоронение промышленных отходов и сточных вод; подвод коммуникаций при проведении подземных горных работ; понижение уровня грунтовых вод при мелиоративных работах; дегазация угольных месторождений и т.д.

§ 4. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦИКЛ СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИН И ОСНОВНЫЕ РАБОЧИЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ БУРЕНИИ

Сооружение скважин осуществляется с помощью буровой установки, представляющей собой комплекс наземных сооружений, бурового и энергетического оборудования. Производственный цикл сооружения скважины включает следующую совокупность идущих в определенном порядке рабочих процессов: перемещение буровой установки на точку бурения; ее монтаж; собственно бурение (проходка ствола скважины); тампонирование (разобщение и изоляция водоносных или нефтегазовых пластов при их опробовании или эксплуатации); геофизические и гидрогеологические исследования; монтаж водоприемной части и водоподъемного оборудования (при сооружении гидрогеологических скважин); ликвидация (комплекс работ, целью которых является охрана природы); демонтаж и транспортирование буровой установки на следующую точку бурения.

Основной процесс при сооружении скважины — собственно бурение, которое ведется при условии выполнения следующих основных рабочих операций:

- разрушение горной породы на забое;
- удаление разрушенной породы с забоя на поверхность;
- закрепление интервалов ствола при пересечении неустойчивых (обрушающихся) пород.

Ряд специфических особенностей буровой техники и технологии связан с необходимостью отбора керна. Совокупность методов выполнения указанных основных рабочих операций, рассмотренных ниже, форма образуемого забоя и методы извлечения керна на поверхность характеризуют способ бурения.

§ 5. СПОСОБЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Для углубления скважины на ее забой необходимо передавать определенное количество энергии. В зависимости от вида передаваемой энергии различают следующие способы разрушения горных пород: механические, электромагнитные, термические, термомеханические и химические. В свою очередь каждый из указанных способов разрушения дифференцируется на методы передачи энергии породе.

При механических способах горная порода разрушается резанием, истиранием, скалыванием, дроблением и уплотнением. Забой разрушается путем действия на его поверхность внешних механических нагрузок, которые могут передаваться следующими методами: посредством контакта твердого тела (породоразрушающего инструмента), обладающего большой энергией; посредством контакта жидкости или газа, имеющих большую энергию; посредством комбинированного воздействия породоразрушающего инструмента, жидкости или газа на породу забоя.

В настоящее время разрушение забоя воздействием породоразрушающего инструмента является основным методом передачи энергии. На практике применяются следующие его разновидности (рис. 1.3).

З а д а в л и в а н и е заключается в воздействии на забой породоразрушающего инструмента 1, к которому через промежуточное звено 2 приложена осевая статическая нагрузка G большой величины (рис. 1.3, а). Под действием указанной силы мягкие породы уплотняются в стенки скважины, в результате происходит углубление забоя.

У д а р н ы й м е т о д (рис. 1.3, б) заключается в том, что снаряд большой массы m с породоразрушающим инструментом 1, имеющим форму клина, периодически поднимается над забоем на высоту H и сбрасывается. При встрече с забоем породоразрушающий инструмент, приобретая предударную скорость v , имеет энергию $E = mv^2/2$ и передает часть

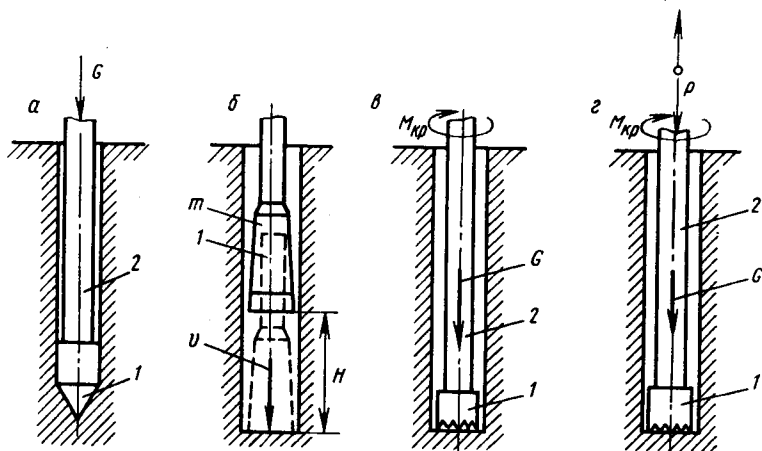


Рис. 1.3. Методы передачи внешних нагрузок забою скважины при механических способах разрушения

ее породе, вызывая разрушение. Последующие удары инструмента наносятся по неразрушенным участкам забоя, формируя его круглую форму.

Вращательный метод (рис. 1.3,в) реализуется при воздействии на породу породоразрушающего инструмента 1, к которому через промежуточное звено 2, представляющее колонну стальных труб, приложены осевая статическая нагрузка G и крутящий момент $M_{кр}$. Под действием указанных нагрузок происходят резание, скалывание и истирание породы забоя. Вращательный способ в настоящее время самый универсальный и применяется при бурении пород любой твердости.

Ударно-вращательный метод (рис. 1.3,г) заключается в передаче через промежуточное звено 2 породоразрушающему инструменту 1, помимо осевой статической нагрузки и крутящего момента, ударных импульсов с силой P определенной энергии и частоты (900—5000 уд/мин). Генераторами ударных импульсов служат специальные машины (гидро- или пневмоударники, забойные вибраторы), устанавливаемые непосредственно над породоразрушающим инструментом или промежуточным звеном. Ударно-вращательный метод усиливает эффект разрушения твердых пород.

При гидромониторном методе на забой постоянно действует высоконапорная струя, под действием которой в породе возникают разрушающие сдвиговые напряжения. Создан инструмент для гидравлического бурения гидрогеологических скважин в мягких породах, использующий для разрушения струю воды под давлением 1—3 МПа. При давлении 70—100 МПа струя жидкости разрушает и твердые породы.

Гидроэрозионно-вращательный метод заключается в воздействии на забой вращающегося породоразрушающего инструмента и двухфазного потока: струи жидкости, вытекающей из гидромониторной насадки при перепаде давления до 35 МПа со скоростью свыше 200 м/с, и абразивных частиц (кварцевый песок, стальная дробь).

Гидромониторно-вращательный метод заключается в комбинированном воздействии на забой породоразрушающего инструмента и высоконапорной струи жидкости.

Электромагнитные способы основаны на передаче энергии породе электрическим пробоем, воздействием электрического или магнитного поля.

Термические способы основаны на прямом или косвенном нагреве породы, проводящем к ее разрушению. К этой группе относятся: огнеструйный, плазменный, плазменно-огнеструйный, электродуговой, электронагревательный, лазерный, электронно-лучевой и др. Разрушение породы происходит от действия возникающих термических напряжений или в результате плавления.

Термомеханические способы разрушения основаны на передаче определенному объему горной породы тепловой и механической энергии. Чаще всего тепловая энергия используется для предварительного снижения прочности породы, а окончательное разрушение осуществляется механическим воздействием породоразрушающего инструмента.

Химические способы основаны на растворении и выщелачивании горных пород и самостоятельно не применяются.

В настоящее время при бурении в подавляющем большинстве применяются разновидности механического способа разрушения, основанные на воздействии породоразрушающего инструмента на горную породу. Механическая энергия передается забоем за счет приложения внешних нагрузок непосредственно породоразрушающему инструменту либо через промежуточное звено (например, через колонну бурильных труб). Другие разновидности механических способов (гидромониторный, гидромониторно-вращательный, гидроэрозионно-вращательный) применяются значительно реже.

В дальнейшем будут рассматриваться лишь способы бурения, основанные на механическом разрушении забоя скважин с помощью породоразрушающих инструментов.

§ 6. УДАЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

Разрушенная на забое порода должна удаляться из скважины на поверхность, так как не удаленный разрушенный слой (буровой шлам) полностью или частично поглощает энергию, необходимую для непрерывного углубления скважины.

В соответствии с классификацией проф. С.С. Сулакшина способы удаления продуктов разрушения по виду применяемой для этой цели энергии делятся на механические, гидравлические, пневматические и комбинированные.

Механические способы удаления продуктов разрушения имеют следующие разновидности: порционный, уплотнением в стенки скважины и непрерывный (поточный).

Порционный способ очистки характерен для ударного и вращательного способов разрушения породы на забое скважины. В первом случае для удаления шлама используется специальный инструмент — желонка (рис. 1.4,а), которая представляет собой трубчатый корпус 3 с острым башмаком 6, опускаемый в скважину на канате 1, закрепленном на дужке 2. Нижний торец корпуса оснащен обратным клапаном 5. При сбрасывании желонки на забой клапан открывается под давлением разжиженных продуктов разрушения (шлама) 4, которые проходят внутрь трубы 3. При подъеме желонки клапан под действием веса шлама закрывается. Желонка извлекается на поверхность, освобождается от бурового шлама и вновь сбрасывается в скважину.

При вращательном бурении мелких скважин в мягких породах порционная очистка осуществляется с помощью ложек (рис. 1.4,б) и змеевиков (рис. 1.4,в), которые опускаются в скважину на бурильных трубах 7 и 9. При подъеме инструментов из скважины продукты разрушения удерживаются либо на лопастях 10 змеевика, либо внутри

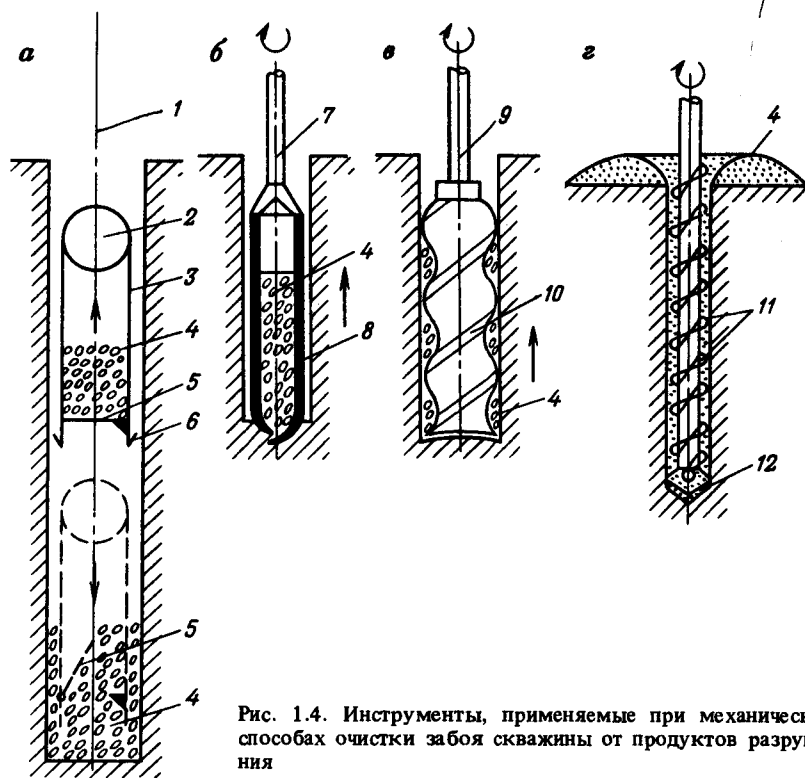


Рис. 1.4. Инструменты, применяемые при механических способах очистки забоя скважины от продуктов разрушения

ложки 8. При использовании порционного способа операции разрушения забоя и чистки скважины осуществляются последовательно во времени, что снижает производительность бурения.

Удаление продуктов разрушения уплотнением пород в стенки скважины реализуется при углублении забоя скважины задавливанием или забиванием породоразрушающего инструмента (см. рис. 1.3,а).

Непрерывный (поточный) способ удаления — наиболее производительный из механических способов очистки, так как в этом случае вынос продуктов разрушения, осуществляемый винтовым транспортером, совмещен во времени с разрушением забоя. Способ применяется при вращательном шнековом бурении.

Шнек (рис. 1.4,г) представляет собой стальной цилиндр кольцевого или сплошного сечения, на боковой поверхности которого приварена с определенным шагом винтовая лента —реборда 11. Разбуренная долотом 12 порода — буровой шлам поднимается по винтовой поверхности за счет действия возникающей на ней силы при вращении шнеков.

Гидравлический способ удаления продуктов разрушения — наиболее распространенный и применяется главным образом при вращатель-

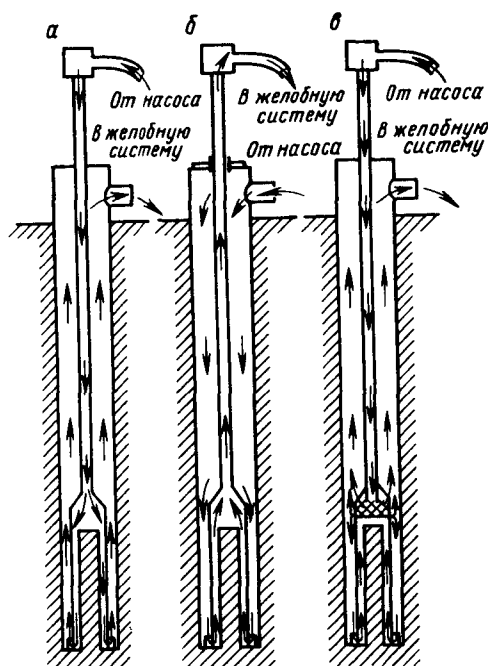


Рис. 1.5. Схемы промывки скважин

ном и ударно-вращательном способах бурения. Продукты разрушения удаляются под действием кинетической энергии потока промывочной жидкости, закачиваемой в скважину. Существуют три основные схемы промывки скважин: прямая, обратная и комбинированная.

Прямая промывка (рис. 1.5,а) — наиболее распространенная. Промывочная жидкость всасывается буровым насосом из приемного сосуда (зумпфа), подается в бурильные трубы и далее к породоразрушающему инструменту. Охлаждая последний, жидкость подхватывает продукты разрушения и по кольцевому зазору между стволом скважины и бурильными трубами выносит их на поверхность. Пройдя систему очистки, жидкость вновь попадает в зумпф, откуда снова закачивается насосом в бурильные трубы. Таким образом, возникает замкнутая циркуляция промывочной жидкости.

Обратная промывка (рис. 1.5,б) включает то же наземное оборудование, которое используется при прямой промывке, но жидкость нагнетается в кольцевой зазор между стволом скважины и бурильными трубами. Разбуренные частицы выносятся обратным потоком жидкости по бурильным трубам. Используются также другие разновидности обратной промывки: обратновсасывающая и с использованием двойной колонны бурильных труб.

Комбинированная схема промывки (рис. 1.5,в)

закljučается в создании прямого потока жидкости по всей колонне бурильных труб и лишь в призабойной ее части — обратного потока. Наиболее широко применяется прямая промывка вследствие простоты организации, однако она имеет ряд существенных недостатков: размывание керна и стенок скважины при проходке мягких и рыхлых пород вследствие большого скоростного напора потока; значительный расход жидкости, требуемый для полного удаления шлама при бурении скважины большого диаметра.

Обратная промывка обеспечивает высокую скорость восходящего потока, лучшую очистку забоя и сохранность керна, позволяет бурить скважины большого диаметра, уменьшает вероятность возникновения аварий вследствие размыва стенок скважины или заклинивания (зашламования) бурового снаряда невынесенными продуктами разрушения. Однако организация обратной схемы промывки связана с дополнительными трудностями: необходимостью герметизации устья скважины при одновременном вращении бурильной колонны; применением более сложного инструмента и оборудования.

Комбинированная схема промывки получила наибольшее распространение при использовании специальных технических средств для повышения выхода керна.

Пневматический способ удаления продуктов разрушения основан на удалении продуктов разрушения сжатым воздухом или газом, нагнетаемым в скважину компрессором. Продувка скважин может осуществляться по прямой или обратной схеме, причем наиболее распространена первая. При бурении с продувкой по сравнению с промывкой повышается эффективность разрушения забоя вследствие его разгрузки от гидростатического давления столба жидкости; улучшаются охлаждение породоразрушающего инструмента и очистка забоя; обеспечивается безаварийная проходка скважин в породах, частично или полностью поглощающих промывочную жидкость; улучшается качество отбираемого керна; упрощается и удешевляется организация буровых работ. Однако пневматический способ менее распространен, так как его нельзя применять при бурении неустойчивых пород и при значительных водопритоках.

Комбинированные методы удаления продуктов разрушения основаны главным образом на использовании сочетания гидравлического и механического или гидравлического и пневматического способов очистки.

Гидромеханический способ заключается в использовании для очистки забоя энергии промывочной жидкости, а окончательное удаление всех продуктов разрушения осуществляется механическим способом путем применения специальных уловителей. Один из вариантов указанного способа заключается в очистке скважины по прямой схеме промывки забоя. В призабойной части буровой снаряд имеет увеличенные габариты, что обеспечивает полную очистку забоя вследствие большой скорости восходящего потока в узком кольцевом зазоре. Скорость восходящего потока уменьшается при его движении в увеличивающемся зазоре между скважиной и бурильными трубами. Крупный

шам вследствие падения скорости оседает в кольцевое пространство между включаемым в состав снаряда уловителем, представляющим собой открытую сверху трубу, и бурильными трубами и извлекается на поверхность при подъеме всего бурового снаряда.

Гидропневматический способ заключается в удалении продуктов разрушения азрированной (насыщенной пузырьками воздуха) промывочной жидкостью или пеной. В этом случае существенно улучшаются условия бурения интервалов ствола, в которых наблюдается частичное поглощение промывочной жидкости.

§ 7. СПОСОБЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВЫХ СТЕНОК СКВАЖИН

Горные породы, вскрываемые скважиной, обладают различной степенью устойчивости. Это свойство характеризует способность пород не обрушаться при пересечении их стволом. Устойчивость зависит от характера связи между частицами, слагающими породу, степени трещиноватости и выветрелости последней, а также от величины геостатического давления вышележащих слоев. Со временем устойчивость пород снижается, что нередко приводит к их обрушению и зауживанию ствола и вызывает тем самым осложнения или аварии (заклинивание, обрывы снаряда и др.).

По степени устойчивости в стенках скважины все горные породы делятся на четыре группы.

I — весьма неустойчивые породы. Эта группа включает рыхлые породы (валунно-галечные отложения, гравий, песок, дресва), представленные не связанными между собой частицами. При насыщении этих пород водой их устойчивость еще более снижается, например пески-плывуны.

II — породы с изменяющейся устойчивостью. Сюда относятся растворимые полезные ископаемые (карналлиты), связные (глины, лесс, суглинки) и мерзлые породы. Связь между частицами указанных пород нарушается при их растворении или нагревании.

III — слабоустойчивые породы, к которым относятся трещиноватые, раздробленные, истираемые в процессе бурения или размывания промывочной жидкостью (сланцы, конгломераты, брекчи). Происходящее при бурении указанных пород поглощение промывочной жидкости служит дополнительным фактором снижения устойчивости ствола скважины.

IV — устойчивые породы — это монолитные или слаботрещиноватые магматические, метаморфические и крепкие осадочные горные породы. Бурение в таких породах с точки зрения устойчивости ствола наиболее благоприятно.

Существуют следующие способы закрепления ствола скважины в неустойчивых породах.

Крепление скважины стальными (реже неметаллическими) колоннами обсадных труб осуществляется, как правило, на весь срок эксплуатации скважины и вслед за проходкой определенного интервала

ствола. Нижняя часть колонны должна находиться в устойчивых породах или цементироваться (см. рис. 1.1). Имеются две разновидности способа крепления ствола обсадными трубами: свободный и принудительный.

С в о б о д н ы й спуск применяется при вращательном способе разрушения с промывкой или при ударном разрушении крепких пород, относящихся по устойчивости к IV группе. Диаметр скважины при этом способе больше диаметра обсадной колонны. Устойчивость ствола при спуске обеспечивается либо наличием в скважине столба промывочной жидкости, либо устойчивостью обсаживаемого интервала ствола.

П р и н у д и т е л ь н ы й спуск широко используется при ударном разрушении мягких пород. Сущность его заключается в том, что колонна обсадных труб забивается специальным снарядом. Предварительно забой скважины углубляется на определенный интервал ниже торца колонны, причем диаметр скважины меньше внутреннего диаметра обсадных труб. При забивании колонны ее нижний торец срезает и уплотняет находящийся ниже кольцевой слой пород.

Создание гидростатического противодействия на неустойчивые породы при промывке скважин, величина которого p_T определяется по формуле (в Па)

$$p_T = \rho g H, \quad (1.1)$$

где ρ — плотность промывочной жидкости, кг/м^3 ; g — ускорение свободного падения, м/с^2 ; H — высота столба жидкости над неустойчивыми породами, м.

Гидростатическое давление направлено против радиальных сил, действующих со стороны неустойчивых пород ствола, что повышает устойчивость последнего.

Глинизация стенок скважины происходит, как правило, одновременно с действием гидростатического противодействия при использовании в качестве промывочной жидкости глинистого раствора. На стенках скважины образуется плотная глинистая корка толщиной 1–3 мм. Происходит "оштукатуривание" ствола, что придает ему большую устойчивость.

Уплотнение буримых пород в стенки скважины, повышающее их устойчивость, осуществляется при некоторых способах разрушения забоя: задавливании, вибрационном (разновидность ударного способа), а также при удалении продуктов разрушения шнековым транспортером.

Крепление скважины быстросхватывающимися смесями (БСС) и синтетическими смолами имеет целью ликвидацию зон поглощения промывочной жидкости, при этом попутно решается задача повышения устойчивости ствола.

Методы, основанные на изменении агрегатного состояния пород при стволовой зоны скважины (замораживание, электрохимическое закрепление, керамизация и др.), в настоящее время исследуются и применяются в ограниченном объеме.

Крепление стенок скважины созданием гидростатического давления, глинизацией и уплотнением пород осуществляется в процессе бурения,

т.е. операции по удалению продуктов разрушения и укреплению ствола совмещены во времени. Это является их несомненным преимуществом, так как ведет в конечном счете к повышению производительности и снижению стоимости буровых работ.

§ 8. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИН

Инструмент, предназначенный для проходки скважин, называется буровым. Последний разделяется на технологический, вспомогательный и аварийный.

Технологический инструмент применяется при выполнении основных рабочих операций в процессе бурения. Набор технологического инструмента, соединенного в определенной последовательности и дающего возможность выполнять указанные операции, называется буровым снарядом. Состав снаряда зависит от способа бурения, однако независимо от этого он содержит породоразрушающий инструмент, передающий забой внешние механические нагрузки.

Основная часть породоразрушающего инструмента — его рабочие элементы, непосредственно контактирующие с забоем и вызывающие разрушение породы. В качестве рабочих элементов используются материалы, имеющие высокую твердость: алмазные зерна, пластинки твердого сплава, синтетические сверхтвердые материалы и др. Другие элементы бурового снаряда в совокупности представляют собой промежуточное звено, через которое от соответствующих узлов буровой установки передаются внешние нагрузки на породоразрушающий инструмент.

Вспомогательный инструмент предназначен для создания долговременной конструкции скважины и обслуживания технологического инструмента при спуско-подъемных операциях.

Аварийный инструмент — группа бурового инструмента, используемая для ликвидации аварий в скважинах.

Режим бурения скважины — это совокупность факторов, влияющих на показатели бурения, задаваемые, поддерживаемые и регулируемые в процессе углубления забоя.

Параметрами технологического режима бурения называются указанные факторы. Их значения зависят от применяемого способа бурения.

Технологический режим бурения поддерживается и регулируется с учетом свойств разбуриваемых пород, типа породоразрушающего инструмента и технических возможностей бурового оборудования. Различают оптимальный, рациональный и специальный технологические режимы бурения.

Оптимальный режим — это режим, обеспечивающий наилучшие технико-экономические и качественные показатели бурения при использовании выбранного способа проходки (высокая производительность, низкая стоимость бурения, достоверность получаемой геологической информации и т.д.).

Рациональный режим устанавливается с учетом технических возможностей бурового оборудования и инструмента. Например, при вращательном бурении увеличение осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент ограничивается прочностью буровой колонны и мощностью привода установки.

Специальный режим предназначен для решения определенных задач или достижения заданных качественных показателей бурения. Например, получение керна заданного количества и качества часто требует пониженных параметров режима по сравнению с оптимальными.

Параметры технологического режима в процессе проходки скважины реализуются с помощью буровой установки, основное назначение которой — передача и регулирование внешних нагрузок через буровой снаряд на забой скважины, закрепление неустойчивых интервалов ствола, проведение вспомогательных и специальных работ (спуск и подъем бурового снаряда, расширение ствола скважины, ликвидация аварий и т.д.).

Качество выполнения технологических процессов, связанных с проходкой скважины, может быть охарактеризовано скоростью бурения — механической, рейсовой, технической, коммерческой и цикловой.

Механическая скорость бурения v_m (в м/ч) определяется по формуле:

$$v_m = l / t_6, \quad (1.2)$$

где l — величина углубления скважины за время чистого бурения, м; t_6 — время чистого бурения (время, в течение которого происходит разрушение породы забоя), ч.

Механическая скорость — основной показатель, характеризующий эффективность применяемого способа бурения и породоразрушающего инструмента, совершенство буровой установки, технологический режим бурения.

Рейсовая скорость бурения v_p (в м/ч) равна:

$$v_p = l_p / (t_6 + t_{сп}), \quad (1.3)$$

где l_p — длина рейса (углубление скважины за время, необходимое на спуск бурового снаряда, чистое бурение, подъем бурового снаряда, извлечение керна и замену породоразрушающего инструмента), м; $t_{сп}$ — время на выполнение спуско-подъемных и вспомогательных работ, ч.

Рейсовая скорость дополнительно характеризует износостойкость породоразрушающих инструментов и степень механизации и автоматизации спуско-подъемных операций и вспомогательных работ. Рост рейсовой скорости достигается уменьшением времени t_6 , $t_{сп}$ путем механизации и автоматизации спуско-подъемных операций.

Техническая скорость бурения определяется отношением глубины пробуренной скважины к общим затратам времени на бурение, спуско-подъемные операции и выполнение дополнительных

производительных работ (крепление ствола обсадными трубами, геофизические и гидрогеологические исследования и т.д.).

Коммерческая скорость бурения в отличие от технической скорости дополнительно учитывает время на выполнение непроизводительных работ при проходке скважины (простой, аварии и др.).

Цикловая скорость отличается от коммерческой тем, что дополнительно учитывает время на проведение монтажно-демонтажных и ликвидационных работ в общем балансе времени сооружения скважины.

Таким образом, для увеличения механической скорости следует уменьшать время t_6 , приходящееся на единицу углубления скважины. Это достигается применением эффективных породоразрушающих инструментов, соблюдением оптимальных режимов бурения, применением высокопроизводительной буровой техники.

Увеличение технической, коммерческой и цикловой скоростей бурения достигается, помимо снижения времени t_6 и $t_{сп}$, применением эффективной аппаратуры для проведения исследований, использованием нового оборудования для крепления скважин, повышением квалификации бурового персонала, внедрением прогрессивных форм организации труда, созданием высокотранспортабельных буровых установок и механизацией монтажно-демонтажных работ.

Контрольные вопросы к гл. 1.

1. Параметры, характеризующие конструкцию скважины.
2. Координаты, определяющие положение любой точки траектории скважины.
3. На какие группы делятся скважины по целевому назначению?
4. Методы разрушения забоя скважины. Какой метод разрушения забоя является основным в настоящее время?
5. Методы удаления продуктов разрушения при бурении скважин. В чем заключается сущность гидравлического метода очистки скважины от шлама?
6. Методы укрепления неустойчивых стенок скважин.
7. Что такое режим бурения скважины? Режимы бурения, применяемые при сооружении скважин.
8. Рейсовая скорость бурения и способы ее повышения.

Глава 2

СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИН И ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

§ 1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Свойства пород влияют на такие важные параметры процесса бурения и сооружения горных выработок, как скорость разрушения пород, устойчивость ствола скважины, стенок и кровли горных выработок, степень поглощения промывочной жидкости и т.д. Наиболее важными физико-механическими свойствами горных пород являются геологиче-

ские механические и водно-коллоидные. К основным геологическим свойствам относятся минеральный состав, раздробленность (дисперсность), трещиноватость, пористость, кавернозность, закарстованность, плотность и анизотропность.

Минеральный состав пород влияет на интенсивность разрушения забоя скважины. С повышением процентного содержания твердых минералов в породе и прочности цемента, с уменьшением размеров минеральных зерен скорость бурения снижается.

Раздробленность (дисперсность) — это степень разрушенности пород, характеризующаяся гранулометрическим составом и размером частиц.

Гранулометрический состав — процентное содержание (по массе) частиц различного состава, составляющих рыхлую породу. Указанное свойство характерно для обломочных осадочных пород, образовавшихся из обломков других пород. С такими породами часто связаны месторождения подземных вод. Рыхлые и цементированные обломочные породы классифицируются по величине и форме обломков. Например, пылеватый песок имеет размер обломков 0,05–0,1 мм, мелкозернистый песок — 0,1–0,25 мм, среднезернистый песок — 0,25–0,5 мм, крупнозернистый песок — 0,5–1 мм, гравелистый песок — 1–3 мм, гравий — 3–10 мм, галечник — 11–100 мм, валуны — более 100 мм. При добыче подземных вод знание гранулометрического состава пород водоносного горизонта необходимо для правильного выбора типа водоприемной части скважины и расчета ее основных параметров.

Трещиноватость горных пород — совокупность в массиве трещин различного происхождения и разных размеров. При вращательном бурении за количественный показатель трещиноватости принимается удельная кусковатость K_y поднятого из скважины керна. Эта величина определяется количеством кусочков и отдельных столбиков в 1 м керна. По этому показателю породы делятся на монолитные ($K_y = 1–5$ шт/м), слаботрещиноватые ($K_y = 6–10$ шт/м), трещиноватые ($K_y = 11–30$ шт/м), сильнотрещиноватые ($K_y = 31–50$ шт/м) и раздробленные ($K_y > 50$ шт/м).

Трещиноватость значительно ухудшает процесс бурения, вызывая повышение динамических нагрузок на породоразрушающий инструмент, поглощение промывочной жидкости, самозаклинивание и снижение выхода керна, уменьшение устойчивости выработок.

Пористость характеризует объем пустот в объеме горной породы. Она выражается коэффициентом пористости m и коэффициентом приведенной пористости n_0 . Первый коэффициент равен отношению объема пустот V_n к объему всей породы V , т.е. $m = V_n/V$. Коэффициент приведенной пористости определяется отношением объема пустот V_n к объему скелета горной породы V_0 , т.е. $n_0 = V_n/V_0$. Коэффициент пористости m осадочных пород изменяется от 0 до 0,6. Например, пористость песка составляет 0,02–0,55.

Пористость может быть закрытой или открытой. В первом случае поры изолированы друг от друга, во втором — сообщаются между со-

бой. Наличие пористости, с одной стороны, облегчает процесс разрушения породы вследствие уменьшения ее прочности, с другой — осложняет технологию проходки вследствие поглощения промывочной жидкости и набухания глинистых пород.

Кавернозность и закарстованность, характеризующие наличие в породе пустот значительных размеров, являются причиной катастрофического поглощения промывочной жидкости при вращательном бурении с промывкой. Это осложняет процесс бурения и может явиться причиной аварий.

Плотностью горной породы называется отношение ее абсолютно сухой массы к общему объему твердой части породы. В частности, плотность песчаных пород составляет 2650 кг/м^3 , суглинистых и глинистых — 2700 кг/м^3 . От величины плотности зависят условия удаления разрушенных пород с забоя скважины.

Объемная масса, определяемая наряду с плотностью, — масса единицы объема породы при естественной его пористости и влажности. Эта величина используется для расчета горного давления, устойчивости стенок выработок и измерения пористости.

Анизотропия горной породы характеризует различие ее свойств в зависимости от направления воздействия внешних нагрузок. Анизотропия пород связана главным образом с их текстурой. При пересечении стволом скважины анизотропных пород траектория скважины может отклониться от проектной вследствие неравномерного разрушения забоя.

К механическим свойствам горных пород относятся прочность, твердость, упругость и абразивность.

Прочностью называется способность породы сопротивляться разрушению при различных видах деформаций, обусловленных приложением внешних нагрузок. Основными деформациями, вызывающими внутреннее напряжение в породе, являются сжатие, растяжение, скалывание (сдвиг) или их комбинация. На прочность горных пород влияют минералогический состав, размеры кристаллов, пористость, трещиноватость и другие свойства. Наибольшей прочностью обладают интрузивные и метаморфические породы.

Различают прочность породы при одноосном, двухосном (плоском) и трехосном (объемном) напряженном состоянии. Наименьшая прочность наблюдается при одноосном сжатии, наибольшая — при объемном. В состоянии, близком к объемному, находится забой глубоких скважин при вращательном бурении с промывкой. Наличие столба промывочной жидкости, действующей на забой, а также уплотнение и упрочнение пород на больших глубинах обуславливают снижение скорости бурения и стойкости породоразрушающего инструмента.

Наиболее часто прочность породы оценивают при одноосном сжатии. Образец горной породы определенной формы и размеров помещают под гидропресс. При испытании фиксируется сжимающее усилие в момент разрушения образца. Временное сопротивление $\sigma_{сж}$ (в Па) — прочность

породы на сжатие:

$$\sigma_{сж} = P/S, \quad (2.1)$$

где P — разрушающее усилие, действующее на образец; H ; S — площадь поперечного сечения образца, m^2 .

Для различных горных пород предел прочности на одноосное сжатие колеблется в пределах от 0,1 до 500 МПа. Прочность пород при сжатии достаточно велика и неудобна для расчетов различных процессов горного производства, поэтому проф. М.М. Протодяконов предложил этот показатель оценивать коэффициентом крепости пород, характеризующим относительную сопротивляемость пород разрушению. Численное значение коэффициента крепости пород f определяют делением величины $\sigma_{сж}$ на 10 МПа. Все породы по крепости разделены на десять категорий. Первую категорию составляют в высшей степени крепкие породы с $f \geq 20$, десятую — пльвуны с $f \leq 0,3$.

Испытания на растяжение и скалывание проводят на гидропрессе, имеющем специальные приспособления. Соответствующие пределы прочности подсчитывают по формуле, аналогичной зависимости (2.1).

Прочность пород при различных видах деформации неодинакова. Так, прочность на растяжение крепких пород в 10–20 раз и на скалывание в 6–10 раз меньше, чем прочность этих пород на сжатие. Следовательно, наивыгоднейшим видом деформированного состояния породы с точки зрения ее разрушения является растяжение. Это необходимо учитывать при создании породоразрушающих инструментов и исследовании новых методов разрушения горных пород.

На прочность пород существенно влияет характер приложения нагрузки (статический или ударный). Для определения динамической прочности горных пород наиболее часто применяют метод толчения с использованием прибора ПОК. Образец испытуемой пробы дробят на куски размером 1,5–2 см, из которых набирают пять проб объемом 15–20 cm^3 каждая. Пробу помещают в ступку и толкут путем десятикратного сбрасывания гири массой 2,4 кг с высоты 0,6 м. Все пять проб просеивают через сито, имеющее отверстия размерами 0,5 мм. Просеянный материал сыпают в объемометр и уплотняют. Измерив высоту l столбика разрушенной породы в объемометре, вычисляют коэффициент динамической прочности F_d породы по формуле:

$$F_d = 20nl, \quad (2.2)$$

где n — число сбрасываний гири при толчении ($n=10$).

В зависимости от величины коэффициента F_d горные породы разделены на шесть групп. К первой группе относятся породы, обладающие небольшой динамической прочностью, у которых $F_d \leq 8$, к шестой группе относятся породы, динамическая прочность которых имеет наивысший показатель $F_d \geq 40$. К первой группе пород относятся: мрамор, песчаник, гранит, кварцевый порфир, диорит; к шестой группе — ороговикоманный диабаз.

Твердость — способность горной породы сопротивляться внедрению в нее другого более твердого тела. Современные механические способы бурения основаны на вдавливании рабочих элементов породоразрушающего инструмента в горные породы. Поэтому твердость является важнейшей характеристикой пород.

Наиболее известный способ определения твердости — метод Л.А. Шрейнера, основанный на вдавливании в шлифованную поверхность образца стального (твердосплавного) штампа с гладким торцом малых размеров: 1х2 мм — для твердых пород, 5х2 мм — для пород небольшой твердости. Вдавливание штампа в образец с одновременной фиксацией его продольной деформации ϵ_x и соответствующей нагрузки P осуществляется на приборах УМГП-3 или УМГП-4. Деформация ϵ_x определяется отношением $\Delta l / l$, где Δl и l — соответственно абсолютное изменение длины и первоначальная длина образца.

Твердость $R_{ш}$ (в ПА) горной породы рассчитывается по формуле:

$$R_{ш} = P_p / S_{ш}, \quad (2.3)$$

где P_p — нагрузка, при которой происходит разрушение породы под штампом, Н; $S_{ш}$ — площадь штампа, m^2 .

Таким образом, твердость породы можно определить как прочность ее на сжатие в месте контакта со штампом.

Упругость — свойство породы восстанавливать свою форму и объем после снятия нагрузок. Увеличение внешней нагрузки выше определенного значения вызывает в породе необратимые деформации без нарушения ее сплошности. Такие деформации называют пластическими.

Большинство горных пород обладает упругопластическими свойствами, т.е. до определенных нагрузок породы являются упругими, а при их превышении в породах возникают остаточные деформации. Ниже приведены некоторые сведения из теории упругости по тем показателям, которые используются при расчетах горно-разведочных работ.

Модуль упругости (модуль Юнга) E — коэффициент пропорциональности между продольным напряжением σ_x и соответствующей ему относительной деформацией ϵ_x при одноосном сжатии образца.

$$E = \sigma_x / \epsilon_x.$$

Коэффициент Пуассона μ — отношение поперечной деформации к продольной деформации образца при одноосном сжатии

$$\mu = \epsilon_y / \epsilon_x.$$

Угол внутреннего трения пород показывает взаимосвязь сопротивляемости массива с прилагаемыми внешними нагрузками; тангенс этого угла равен коэффициенту внутреннего трения пород. Следует различать понятия угла внутреннего трения сыпучих, связных и твердых пород. Для сыпучих пород он статически определяет трение

между контактирующими частицами внутри рыхлой массы и для большинства пород типа песков примерно соответствует углу естественного откоса данного материала. Его величина равна $25-45^\circ$ для сухих пород, $20-30^\circ$ для мокрых и зависит от зернистости материала.

Для связных пород, например глины, угол внутреннего трения характеризует сцепление частиц породы и определяется по сопротивлению сдвига. Его величина равна $13-25^\circ$ и зависит от влажности и состава пород. Для твердых пород угол внутреннего трения определяет зависимость между касательными и нормальными напряжениями в каждой точке массива, находящегося в сложноподвижном состоянии, и определяется графически с использованием теории прочности Мора. Его величина равна $45-87^\circ$ и возрастает с повышением крепости пород.

Углы внутреннего трения пород необходимы для расчета горного давления на подземные горные выработки.

Абразивность горных пород — это их способность изнашивать породоразрушающий инструмент в процессе бурения. Абразивность зависит от твердости породообразующих минералов, характера их сцепления друг с другом, размеров и формы зерен, степени трещиноватости породы. Чем тверже и крупнее зерна минералов, острее их ребра, тем выше абразивность породы. Процесс абразивного износа можно представить как сумму отдельных царапаний, приводящих к срезанию тонких стружек с резцов породоразрушающего инструмента.

В соответствии с ОСТ 41-89-74 абразивность пород принято определять по методу износа свинцовых шариков раздробленной породой. Для анализа используется мелкая фракция горной породы с размерами частиц менее 0,5 мм, получаемая при определении коэффициента динамической прочности F_d . Эта фракция объемом 1 см^3 помещается вместе с восемью свинцовыми шариками диаметром 4,2–4,3 мм в пробирку. Шарик предварительно взвешивают. Пробирку в течение 20 мин встряхивают на приборе ПОАП-2М. После опыта свинцовые шарики вновь взвешивают. Коэффициент абразивности

$$K_{абр} = Q/100, \quad (2.4)$$

где $Q = m_1 - m_2$ — потери массы шариков, мг; m_1 и m_2 — масса шариков до и после опыта.

По величине этого показателя породы разделены на шесть групп. К первой группе относятся малоабразивные породы, имеющие $K_{абр} < 0,5$ (мрамор, известняк, мел, глинистый сланец и др.); к шестой группе относятся весьма абразивные породы, имеющие $K_{абр} = 2,5 \div 3$ (кварцит, мелкозернистый гранит, яшмовидные породы и др.).

Для уменьшения влияния абразивных свойств пород на технико-экономические показатели буровых работ необходимы износостойкие инструменты с вооружением сверхтвердыми материалами.

Водно-коллоидные свойства горных пород проявляются при взаимодействии горных пород с водой. Наиболее важными из этой группы свойств с точки зрения сооружения гидрогеологических скважин являются водопроницаемость и набухание.

Водопроницаемость породы — это ее способность пропускать сквозь себя воду. Водопроницаемость характеризуется коэффициентом фильтрации K_f , который определяется по формуле

$$K_f = \frac{Q \Delta L}{S \Delta p} \mu_v, \quad (2.5)$$

где $Q/S = v_f$ — скорость фильтрации (скорость движения воды с расходом Q через сечение S), м/с; Δp — перепад давления на пути фильтрации воды ΔL , Па; μ_v — вязкость воды, Па·с.

В зависимости от величины K_f горные породы делятся на: водоупорные ($K_f < 0,1$ м/сут), слабопроницаемые ($0,1 < K_f < 10$ м/сут), среднепроницаемые ($10 < K_f < 500$ м/сут) и легкопроницаемые ($K_f > 500$ м/сут). Водопроницаемость пород — одна из основных характеристик, от которой зависит степень поглощения промывочной жидкости при вращательном бурении. При сооружении водозаборной скважины от коэффициента фильтрации пород водоносного горизонта зависят выбор метода его вскрытия и конструкция водоприемной части.

Коэффициенты фильтрации водоносных пород

Горные породы	Песок			Гравий	Валунно-галечные отложения
	мелкий	средний	крупный		
K_f , м/сут	2–5	6–15	16–30	31–70	71–500 и выше

Фильтрация подземных вод зависит от характера пористости пород. Необходимо, чтобы поры имели значительный размер ($> 0,5$ мм) и соприкасались между собой.

Набухание — способность породы увеличиваться в объеме при взаимодействии с водой. Набухшие породы осложняют технологию бурения, так как при этом сужается ствол скважины, особенно при бурении глинистых пород, что может вызвать заклинивание или затяжки инструмента при его подъеме из скважины.

§ 2. ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ БУРЕНИИ

Разрушение забоя скважины породоразрушающим инструментом может быть объемным, усталостным и поверхностным.

Объемное разрушение происходит в том случае, когда при внедрении резцов инструмента под действием силы P создаются напряжения, превышающие твердость породы:

$$P/S_{\text{сум}} > P_p, \quad (2.6)$$

где $S_{\text{сум}}$ — суммарная площадь контактов резцов с породой, м²; P_p — твердость породы при вдавливании резца, Н/м.

В этом случае происходит отделение от забоя определенного объема породы. Такой вид разрушения наиболее эффективен.

Поверхностное разрушение происходит при условии

$$P/S_{\text{сум}} \leq P_p.$$

Перемещение резцов инструмента по забою вызывает истирание породы, которое в свою очередь вызывает интенсивный абразивный износ резцов. При этом эффективность бурения резко снижается.

Усталостное разрушение занимает по эффективности промежуточное положение между поверхностным и объемным. Первоначально при недостаточной осевой нагрузке при затуплении породоразрушающего инструмента углубление забоя происходит в режиме поверхностного разрушения, но при многократном взаимодействии резцов с забоем в последнем развивается система микротрещин. В результате твердость породы снижается, что периодически приводит к возникновению объемного разрушения.

Из формулы (2.6) следует, что для поддержания процесса углубления скважины в режиме объемного разрушения забоя по мере затупления резцов инструмента необходимо пропорционально увеличивать силу P (осевую нагрузку). Сказанное относится к вращательному и ударно-вращательному бурению скважин. При ударно-канатном бурении объемный характер разрушения по мере затупления лезвия инструмента можно поддержать, увеличивая высоту сбрасывания снаряда.

§ 3. БУРИМОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

Рассмотренные свойства, в первую очередь прочность, твердость и абразивность, влияют на буримость горных пород.

Буримость — это величина углубления забоя скважины за единицу времени, в течение которой к породоразрушающему инструменту приложены внешние нагрузки. По смысловому значению буримость является механической скоростью бурения.

Буримость зависит от применяемого способа разрушения и свойств разбуриваемых пород, износостойкости породоразрушающего инструмента, техники и технологии буровых работ, их организации, а также от квалификации обслуживающего персонала. Даже при бурении одних и тех же пород буримость изменяется во времени, что связано с абразивным износом породоразрушающего инструмента. Чем тверже и прочнее породы, тем меньше их буримость. В свою очередь эти свойства пород зависят от их минерального состава, пористости, структуры, текстуры и т.д.

В зависимости от применяемого способа бурения разработаны различные классификации горных пород по буримости. Их основой является неизменность физико-механических свойств горных пород и изменимость шкалы буримости (скорости бурения) по мере совершенствования техники и технологии проходки скважин. В соответствии с этим

принципом горные породы, имеющие одинаковую буримость, объединяются в одну группу (категорию). Число категорий зависит от способа проходки скважины. Например, при ударно-канатном способе бурения все горные породы разделены на семь категорий (табл. 2.1), при вращательном — на 12, при разведке россыпей — на шесть категорий и т.д.

Наиболее широко известная и применяемая на практике классификация для вращательного бурения по ЕНВ 1984 г. приведена в табл. 2.2 с указанием средней механической скорости бурения.

При пользовании приведенной классификацией возможно необъективное определение категорий по буримости (завышение или занижение ее), так как она устанавливается геологами путем визуального обследования керна с учетом фактической скорости бурения. Это не способствует техническому прогрессу в бурении, потому что ведет к занижению категории хорошо работающим буровым бригадам и завышению — плохо работающим.

Для объективной оценки разработан метод контрольного определения пород по буримости для вращательного бурения (ОСТ 41-89-74), в основу которого положены объективные сведения о физико-механиче-

Таблица 2.1

Классификация горных пород по буримости для ударно-канатного бурения (исключая разработку россыпных месторождений)

Категория пород по буримости	Типичные для каждой категории горные породы
I	Торф, растительный слой, рыхлые песчано-глинистые грунты без гальки и щебня, трепел
II	Торф и растительный слой с корнями деревьев, рыхлые песчано-глинистые грунты с примесью до 20 % мелкой гальки и гравия, ленточные песчаные глины, диатомит, слабый мел
III	Песчано-глинистые грунты с примесью свыше 20 % гравия и мелкой гальки. Рыхлые мергели, плотные глины и суглинки. Сухие пески, лед,
IV	Песчано-глинистые грунты с большим (свыше 30 %) содержанием гравия и гальки. Плотные вязкие глины. Углистые сланцы, мергель,
V	гипс, твердый мел, бокситы, фосфорит, опока, галит Известняки, доломиты, мрамор, аргиллиты, выветрелые граниты, сиениты, диориты, конгломераты осадочных пород, мерзлые грунты, галечники, габбро
VI	Крупный галечник с небольшим количеством мелких валунов. Окварцованные сланцы, известняки и песчаники. Крупнозернистые граниты, сиениты, гнейсы, габбро, пегматиты. Конгломераты осадочных пород на кремнистом цементе
VII	Галечник с большим количеством крупных валунов. Валунные кристаллических пород. Мелкозернистые граниты, сиениты, диориты, габбро. Сильно окварцованные пегматиты. Конгломераты кристаллических пород на кремнистом цементе

Таблица 2.2

*Классификация горных пород по буримости
для вращательного механического бурения*

Категория по род по буримости	Типичные для каждой категории горные породы	Объединенный показатель ρ_m	Примерная скорость бурения v_m , м/ч
I	Торф, лесс, слабый мел и супеси без глины и щебня	—	23–30
II	Растительный слой, плотный песок, глина средней твердости, плотный суглинок, мергель, безнапорный плавун	—	11–15
III	Слабосцементированные песчаники, плотная глина, плотный мергель, песчано-глинистые грунты с содержанием более 20 % гальки, напорный плавун	2–3	5,7–10
IV	Глинистые сланцы, слабые песчаники, неплотные известняки и доломиты	3–4,5	3,5–5
V	Галечно-щебенистые грунты, аргиллиты хлоритовые сланцы, известняки, мрамор, мергелистые доломиты	4,5–6,8	2,5–3,5
VI	Глинистые кварцево-хлоритовые сланцы, полевошпатовые песчаники, конгломераты осадочных пород на известняковом цементе, апатиты	6,8–10	1,5–2,5
VII	Роговообманковые сланцы, окварцованные известняки, конгломераты с галькой (до 50 %) изверженных пород, крупнозернистый диорит	10–15	1,9–2
VIII	Кварцевые песчаники, окремненные сланцы гранатые скарны	15–21	1,3–1,9
IX	Сиениты, крупнозернистые граниты, конгломераты изверженных пород, сильно окремненные известняки	23–25	0,75–1,2
X	Граниты, гранодиориты, окремненные скарны, жильный кварц, валунно-галечные отложения изверженных пород	34–51	0,5–0,75
XI	Кварциты, железистые роговики	51–77	0,3–0,5
XII	Сливные кварциты, роговики, корундовые породы	77–120	0,15–0,25

ских свойствах разбуриваемых пород. Категория породы по буримости устанавливается на приборе ПОАП-2М измерением коэффициентов динамической прочности F_d и абразивности $K_{абр}$. Определяется объединенный показатель

$$\rho_m = 3F_d^{0,8} K_{абр}. \quad (2.7)$$

Значение ρ_m устанавливают как среднюю величину по результатам двух испытаний образцов породы. Категория пород по буримости опре-

деляется сравнением ρ_m , полученного по формуле (2.7), со стандартным, величина которого приведена в табл. 2.2.

При наличии коллекции эталонных образцов, отбираемых из каждой разновидности пород, объединенный показатель ρ_m определяют лишь в порядке контроля и объективного установления категории породы при решении спорных вопросов.

Классификации пород по буримости необходимы в качестве критериев при планировании, финансировании и проектировании буровых работ, при нормировании труда работников геологоразведочных организаций.

Контрольные вопросы к гл. 2

1. Гранулометрический состав горных пород. Как делятся горные породы по гранулометрическому составу?

2. Прочность и твердость горных пород. В чем сходство и отличие этих понятий?

3. Влияние абразивности горной породы на эффективность ее разрушения при бурении.

4. Коэффициент фильтрации. Какое свойство горных пород характеризует эта величина?

5. Буримость горных пород. Какие существуют классификации пород по буримости и какие принципы положены в основу при их создании?

Глава 3

ПРОМЫВКА СКВАЖИН

§ 1. ВИДЫ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

При вращательном бурении промывка является основным способом очистки забоя, охлаждения породоразрушающего инструмента и предотвращения обрушения стенок скважин. Промывочные жидкости должны также предотвращать выбросы нефти, газа и воды из скважины, поглощение в проницаемые и трещиноватые горизонты, обеспечивать стабильность свойств при химическом взаимодействии с подземными водами и при действии высоких забойных температур. При бурении гидрогеологических скважин промывочные жидкости должны обеспечить быстрое восстановление естественной проницаемости вскрываемых водоносных пластов. Кроме того, они не должны размывать выбуриваемый керн, при прекращении циркуляции обеспечивать удержание разбуренных частиц во взвешенном состоянии и облегчать разрушение забоя.

Перечисленные требования во многом противоречивы, поэтому для конкретных геолого-технических условий подбирают определенный вид промывочной жидкости. Для промывки скважин применяют техническую воду, глинистые растворы и специальные виды промывочных жидкостей для бурения в сложных условиях.

При использовании воды улучшается очистка забоя скважины, а меньшее гидростатическое давление на забой способствует повышению

эффективности его разрушения. Вместе с тем вода нарушает связность большинства пород, содержащих глинистые материалы, вызывая обвалы стенок скважины, а при бурении трещиноватых и пористых пород поглощается в больших количествах. Поэтому техническая вода применяется при бурении устойчивых, неразмываемых и нерастворяемых пород.

§ 2. ГЛИНИСТЫЕ РАСТВОРЫ И ИХ СВОЙСТВА

Глинистые растворы широко применяются при бурении рыхлых, сыпучих и других неустойчивых пород, склонных к обвалам и поглощению. Глинистый раствор представляет собой коллоидно-суспензионную систему, состоящую из частиц глины размером 0,0001–0,1 мм и воды. Основное свойство его — способность при отсутствии внешних сил превращаться в малоподвижную студнеобразную массу, называемую гелем. Это позволяет удерживать частицы разбуренных пород во взвешенном состоянии. Приложение внешней силы к раствору вызывает его переход в подвижную жидкость. Способностью застудневать обладает раствор, глинистые частицы которого хорошо смачиваются водой, т.е. обладают гидрофильностью.

Уменьшение или отсутствие водных оболочек вызывает слипание частиц и последующее выпадение их из раствора. Это же явление наблюдается при добавлении в раствор минерализованной воды, некоторых химических реагентов (известь, цемент) или при действии высокой температуры. Процесс слипания глинистых частиц в более крупные агрегаты называется коагуляцией, а выпадение их в осадок — седиментацией.

Коллоидальные свойства ярко выражены у растворов, глинистые частицы которых обладают высокой дисперсностью (преобладающий размер частиц 0,0001 мм и менее), гидрофильностью и содержат небольшое количество солей.

Процесс образования качественного глинистого раствора заключается в следующем. Глинистые частицы имеют плоскую, чешуйчатую форму и, распускаясь в воде, перемещаются по закону броуновского движения. Каждая частица защищена гидратной оболочкой воды и ионным облаком, обуславливающим проявление электростатических сил отталкивания. По краям частиц указанные оболочки отсутствуют, а электростатические силы ослаблены. Если контакт частиц осуществляется по торцовым поверхностям, произойдет их слипание, а через некоторое время — образование сплошной скелетной структуры из глинистых частиц по всему объему раствора. При этом основная масса воды связана с глинистыми частицами в виде гидратационных оболочек и заключена в ячейках образовавшейся структуры раствора. Описанный процесс называется структурообразованием.

Продукты разрушения пород, находящиеся в таком растворе, оказываются заключенными в ячейках его структуры и удерживаются во

взвешенном состоянии. Таким образом, прочность структуры раствора при прекращении его циркуляции обеспечивает чистоту забоя и защищает буровой снаряд от прихвата буровым шламом.

Качество глинистого раствора определяется следующими параметрами: плотностью, вязкостью, водоотдачей, толщиной глинистой корки, стабильностью, содержанием песка, статическим напряжением сдвига, суточным отстоем и водородным показателем.

Плотность раствора определяет величину гидростатического давления на забой и стенки скважины, а также его несущую способность. Повышение плотности позволяет предотвратить обрушение стенок скважины, самоизливы и выбросы. Вместе с тем повышение плотности раствора способствует увеличению его поглощения (фильтрации) по трещинам и порам разбуриваемых пород. Таким образом, для удовлетворительного решения указанных задач плотность раствора должна находиться на минимально допустимом уровне.

Этот параметр раствора определяют ареометром АГ-2 (рис. 3.1,а). Раствор наливают в стакан 3, на который навинчивается поплавок 2, со шкалой 1. Собранный прибор помещают в сосуд с пресной водой. Уровень погружения ареометра, отмечаемый по шкале 1, укажет плотность раствора. Ареометром измеряют плотность раствора в пределах от 0,9 до 2,4 г/см³. Для этого имеется две шкалы: первой пользуются при плотности 0,9–1,7 г/см³, второй — при плотности 1,6–2,4 г/см³. В последнем случае предварительно удаляют груз 4.

Вязкость характеризует силу сопротивления, возникающую между слоями раствора, движущимися с различными скоростями. От этого параметра зависит способность раствора выносить буровой шлам и закупоривать трещины и поры в стенках скважины.

На практике определяется условная вязкость с помощью вискозиметра СПВ-5 (рис. 3.1,б). Он состоит из воронки 1, оканчивающейся трубкой внутренним диаметром 3 мм. Сверху воронка закрывается сеткой 3. Второй частью прибора является кружка 2 с внутренней перегородкой, делящей объем сосуда соответственно на 500 и 200 мл. Вязкость измеряют следующим образом. Зажав пальцем отверстие трубки, в воронку кружкой наливается 200, а затем 500 мл раствора. Открыв отверстие трубки, засекают секундомером время истечения в кружку 500 мл раствора. Время заполнения раствором указанного объема характеризует условную вязкость раствора. Для нормальных растворов этот параметр составляет 18–22 с.

Водоотдача и толщина глинистой корки характеризуют способность глинистого раствора отфильтровывать воду под действием избыточного давления. При низкой водоотдаче глинистый раствор на стенках скважины образует плотную корку толщиной 1–2 мм. В результате закрепляются стенки скважины в неустойчивых породах и уменьшается поглощение промывочной жидкости. При большой водоотдаче на стенках откладывается рыхлая толстая корка. Это может привести к прилипаниям, прихватам и затяжкам бурового снаряда.

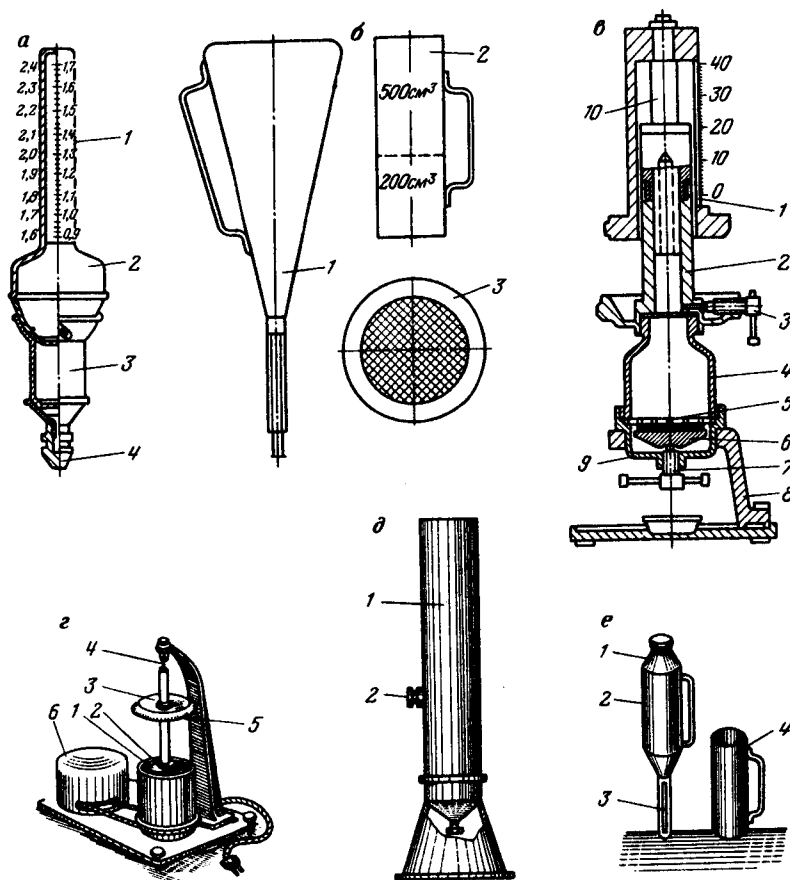


Рис. 3.1. Приборы для определения параметров промывочных жидкостей

Водоотдача и толщина глинистой корки измеряются прибором ВМ-6 (рис. 3.1. в). Прибор состоит из фильтрационного стакана 4, имеющего разборное дно, представляющее собой решетку 3 с клапаном 6 и резиновой прокладкой; поддона 9 с винтом 7; напорного цилиндра 2 со спускной иглой 3; плунжера 10 с втулкой и шкалой. Для измерения водоотдачи решетку со смоченной фильтровальной бумагой вставляют в нижнюю часть фильтрационного стакана бумагой внутрь. На решетку накладывают резиновую прокладку и клапан и навинчивают поддон с винтом. Фильтрационный стакан вставляют в кронштейн 8 и заполняют глинистым раствором. На стакан навинчивается напорный цилиндр с закрытой спускной иглой.

В цилиндр наливают машинное масло и вставляют плунжер. Приоткрыв спускную иглу и выпустив избыток масла, подводят нулевое

деление на шкале 1 к отсчетной риске на втулке цилиндра. Закрыв спускную иглу и открыв клапан с резиновой прокладкой, одновременно включают секундомер. Через 30 мин делают отсчет по шкале. Водоотдача измеряется объемом (в см^3) отфильтрованной за это время воды. Разобрав прибор, линейкой измеряют толщину глинистой корки, образовавшейся на фильтровальной бумаге. Водоотдача нормальных глинистых растворов составляет 8–10 см^3 за 30 мин.

Статическое напряжение сдвига характеризуется наименьшим усилием, которое надо приложить к телу, находящемуся в буровом растворе и имеющему площадь поверхности 1 см^2 , чтобы вывести его из состояния покоя. Этот параметр зависит от времени нахождения раствора в спокойном состоянии и характеризует прочность его структуры.

Статическое напряжение сдвига определяют на приборе СНС-2 (рис. 3.1,з). Он состоит из столика, на котором установлен электродвигатель 6 с редуктором. Последний приводит во вращение стакан 2, в который вставлен цилиндр 1 с круговой шкалой 3, подвешенный на упругой нити 4 к штативу с указателем 5.

Принцип измерения заключается в определении усилия на поверхности цилиндра, погруженного в медленно вращающийся стакан с испытуемым раствором. Зная максимальный угол закручивания нити 4, зависящий от прочности структуры раствора, и коэффициент, равный напряжению сдвига при повороте нити на 1° , можно определить величину статического сдвига глинистого раствора. Этот параметр определяется через 1 и 10 мин покоя раствора, а по их соотношению устанавливают скорость структурообразования. Статическое напряжение сдвига глинистых растворов составляет 2–3 Па.

Стабильность определяется на приборе ЦС-2 по разнице плотностей бурового раствора в верхней и нижней частях цилиндра 1 (рис. 3.1,д), в середине боковой поверхности которого имеется отверстие с пробкой 2. Цилиндр оставляют в покое на 24 ч, после чего определяют плотности верхнего и нижнего слоев и их разность. Стабильность характеризует загрязненность раствора и не должна превышать 0,02–0,06 г/см^3 .

Содержание песка (недиспергированных частиц твердой фазы) определяют с помощью отстойника ОМ-1 (рис. 3.1,е). В отстойник 2 с крышкой 1 мерной кружкой 4 заливают 50 см^3 раствора и 450 см^3 воды. После взбалтывания смеси отстойник устанавливают в вертикальное положение и по шкале 3 на мензурке определяют количество осадка, которое характеризует этот параметр раствора. Содержание песка в растворах составляет в среднем 2–4 %.

Суточный отстой определяется объемом чистой воды, отделившейся из налитого в сосуд (мензурку) 100 см^3 раствора, находившегося в спокойном состоянии в течение 24 ч. Этот параметр характеризует коллоидальность раствора. Последняя у качественных растворов составляет 96–98 % (суточный отстой соответственно 4–2 %).

Водородный показатель pH характеризует концентрацию ионов водорода в растворе. При $pH=7$ раствор нейтрален, при $pH<7$ — кислый, при $pH>7$ — щелочной. Раствор с хорошими тиксотропными свойствами имеет $pH=8\pm 0$.

§ 3. РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Геолого-технические условия проходки скважин вызывают необходимость регулировать свойства растворов с целью обеспечения высокой производительности и быстрой ликвидации осложнений. Для этого растворы обрабатывают химическими реагентами. По характеру действия последние делятся на электролиты, защитные коллоиды и поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Электролиты, действуя на раствор, изменяют в нем концентрацию ионов, от которой зависит электрический заряд глинистых частиц и толщина окружающих их ионных оболочек. Это приводит к изменению структурных свойств раствора. Ниже приведены некоторые наиболее распространенные электролиты.

Кальцинированная сода (Na_2CO_3) применяется для уменьшения водоотдачи, толщины глинистой корки, повышения вязкости и статического напряжения сдвига глинистого раствора. Количество реагента, добавляемого в раствор, обычно составляет 5–10 кг на 1 м^3 . Кальцинированная сода снижает жесткость воды и защищает раствор от вредного влияния ионов кальция. При концентрации реагента свыше 3,5 % уменьшаются вязкость и статическое напряжение сдвига, увеличиваются водоотдача раствора и толщина глинистой корки. Глинистый раствор, обработанный кальцинированной содой, применяется для борьбы с поглощениями и обвалами.

Каустическая сода ($NaOH$) по действию аналогична кальцинированной соде и применяется также для приготовления углещелочного и торфощелочного реагентов.

Жидкое стекло ($Na_2Q \cdot n\text{ SiO}_2$) повышает плотность раствора, его вязкость и статическое напряжение сдвига. Количество добавляемого реагента составляет 20–50 кг на 1 м^3 раствора. Применяется для борьбы с поглощениями.

Поваренная соль ($NaCl$) повышает статическое напряжение сдвига и снижает температуру замерзания раствора. При увеличении количества добавляемой соли с 30 до 270 кг на 1 м^3 раствора температура его замерзания снижается от -2 до -18°C .

Тринатрийфосфат (Na_3PO_4) снижает вязкость и повышает стабильность раствора, загустевшего при разбуhrивании глин. Реагент добавляют в количестве 0,5 кг на 1 м^3 раствора.

Известь (CaO) повышает вязкость, но увеличивает водоотдачу и толщину глинистой корки. Раствор, обработанный известью, применяется для борьбы с поглощениями. Реагент в количестве 30–50 кг на 1 м^3

раствора добавляют в виде известкового молока (при соотношении извести и воды, равном 1:3).

Защитные коллоиды. при добавлении в промывочную жидкость создают на поверхности глинистых частиц защитный слой, предотвращающий их слипание и коагуляцию. При обработке раствора реагентами этой группы уменьшается водоотдача, регулируется вязкость, повышается плотность. Ниже приведены наиболее распространенные защитные коллоиды.

Угleshелочной (УЩР) и торфощелочной (ТЩР) реагенты являются натриевыми солями гуминовых кислот. Реагенты получают путем воздействия каустической соды на дробленые бурый уголь и торф. Для этого их берут в определенном соотношении. Обычно 120–200 кг угля или торфа и 10–30 кг NaOH добавляют в воду и перемешивают. Через сутки основная масса растворимых гуминовых кислот переходит в раствор, прореагировав с каустической содой. Оптимальная концентрация УЩР и ТЩР в глинистом растворе составляет 15–20 %.

Растворы, обработанные этими реагентами, имеют повышенную стабильность и пониженную водоотдачу, что объясняется появлением на глинистых частицах защитного слоя, состоящего из гуминовых кислот. Глинистый раствор, обработанный ТЩР, имеет повышенную вязкость и небольшую плотность, что позволяет успешно применять его для борьбы с поглощениями.

Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) применяется для снижения водоотдачи и статического напряжения сдвига промывочной жидкости с повышенной минерализацией. Этот реагент защищает глинистый раствор от коагулирующего действия солей натрия, кальция и др. Реагент добавляют в промывочную жидкость в виде 8–10 %-ного водного раствора.

Сульфит-спиртовая барда (ССБ) — побочный продукт бумажной промышленности — применяется для снижения водоотдачи и регулирования вязкости раствора. Раствор, обработанный ССБ, обладает хорошими стабилизирующими свойствами. При проходке соледержащих пород и притоке пластовых минерализованных вод предотвращается коагуляция раствора. Реагент применяется в виде водного раствора, содержащего 20–40 % ССБ и 3–6 % каустической соды. ССБ является исходным продуктом для получения конденсированной сульфит-спиртовой барды (КССБ), хорошо снижающей водоотдачу растворов, содержащих хлористые натрий и кальций. Оптимальная концентрация КССБ — 2–5 % в пересчете на сухое вещество.

Полифенол лесохимический (ПФЛХ) — отход сухой перегонки древесины — предназначен для разжижения пресных растворов. Он применяется в виде водного раствора, содержащего 5–10 % ПФЛХ и 1,5–3 % каустической соды.

Гидролизированный полиакрилонитрит (гипан) повышает термостойкость раствора и защищает его от воздействия мине-

рализованных вод. Реагент вызывает загустевание пресных растворов и в этих условиях применяется с разжижителями. Его добавляют в количестве 0,5–2 кг на 1 м³ раствора.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) обладают способностью адсорбироваться в промывочных жидкостях на поверхностях раздела фаз в виде тонких слоев, снижая поверхностное натяжение. При этом повышается смачивающая способность, активно изменяется взаимодействие между твердой и жидкой фазами раствора. Свойства промывочной жидкости изменяются при введении ПАВ в небольших количествах (доли процента).

Для обработки промывочных жидкостей применяются неионогенные (УФЭ-8, ОП-10), анионоактивные (ОП-45, азолят), реже катионоактивные (амины и другие азотные группы) ПАВ. Для повышения смазочных свойств и термостойкости раствора используются все виды ПАВ, для понижения твердости пород — ОП-10, УФЭ-8, для азирования растворов — анионоактивные ПАВ.

Добавки ПАВ уменьшают абразивное действие промывочной жидкости на буровой снаряд. Некоторые виды ПАВ обладают пеногасящим эффектом, улучшающим работу насосов.

§ 4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОМЫВОЧНЫЕ ЖИДКОСТИ

Специальные промывочные жидкости применяются в условиях, вызывающих различные осложнения нормального процесса бурения. Появление многочисленных видов этих жидкостей обусловлено тем, что наряду с положительными качествами глинистые растворы имеют существенные недостатки: уменьшается механическая скорость бурения; возрастают затраты мощности на промывку и вращение бурового снаряда, снижается проницаемость вскрываемых водоносных пластов; в некоторых случаях невозможно обеспечить устойчивость ствола скважины и предотвратить выбросы и самоизливы из скважины. Наиболее широко применяются следующие виды специальных промывочных жидкостей.

Солевые промывочные жидкости, являющиеся водными растворами солей NaCl, KCl или CaCl₂, применяются при бурении солевых отложений, а также многолетнемерзлых пород, так как имеют пониженную температуру замерзания. В последнем случае в воду добавляют 4–15 % KCl или NaCl. При этом температура замерзания раствора снижается до –20 °С.

Известковые и меловые растворы обладают высокой стойкостью к пластовым водам, уменьшают диспергирование глинистых частиц, содержащихся в пласте, образуют тонкую корку, удаляемую при соляно-кислотной обработке. Состав растворов этой группы разнообразен. В качестве примера можно привести раствор, состоящий из молотого мела (5–30 %), УЩР (8–10 %), КМЦ (0,6–1 %) и воды. Плотность его до 1,2 г/см³, вязкость 45–80 с, водоотдача 1,5–3 см³ за 30 мин, толщина корки 0,3 мм.

Промывочные жидкости на основе выбуренных пород представляют собой естественные растворы, образующиеся при бурении и используемые при отсутствии глинистого сырья. Для стабилизации свойств таких растворов в них вводят поверхностно-активные вещества, УЩР, ССБ, КМЦ и др. Применение естественных растворов позволяет в ряде случаев снизить стоимость промывки скважин.

Утяжеленные глинистые растворы имеют повышенную плотность (до $2,2 \text{ г/см}^3$) и применяются при бурении неустойчивых пород, а также для создания необходимого противодавления при вскрытии высоконапорных пластов. Повышение плотности раствора достигается добавлением в него материалов-утяжелителей, которые характеризуются плотностью, абразивностью, тонкостью помола, содержанием химически активных веществ.

В качестве утяжелителей используют барит (BaSO_4), гематит (Fe_2O_3), магнетит ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$). Наиболее часто употребляется барит, имеющий невысокую твердость, малую абразивность и достаточно высокую плотность ($4,2\text{--}4,6 \text{ г/см}^3$). При небольшом утяжелении раствора (до $1,6 \text{ г/см}^3$) в него добавляют мергель, мел, известняк. Утяжелитель обычно добавляют в раствор, предварительно обработанный химическими реагентами.

Расход утяжелителя q (в т) на 1 м^3 исходного раствора определяется по формуле:

$$q = \rho_y (\rho_{yp} - \rho_{гр}) / (\rho_y - \rho_{yp}), \quad (3.1)$$

где ρ_y , ρ_{yp} , $\rho_{гр}$ — плотность соответственно утяжелителя, утяжеленного и исходного растворов, т/м^3 .

Возникающее при утяжелении повышение вязкости и статического напряжения сдвига раствора можно понизить добавлением химических реагентов, например ПФЛХ или хромлигносульфонатов.

Водогипановые и глиноводогипановые растворы — промывочные жидкости на полимерной основе. В качестве полимера чаще всего используется гипан, добавляемый в воду в количестве 2–5 % и перемешиваемый в течение 8–10 мин. Водогипановые растворы обладают большой вязкостью, высокой несущей способностью и пониженными фильтрационными свойствами. Эти растворы образуют на стенках скважины эластичную пленку, снижающую фильтрацию жидкости в пласт и сохраняющую его проницаемость. Поэтому водогипановые растворы применяются при вскрытии водоносных горизонтов. Корка удаляется при промывке скважины водой или при прокачке.

Расход водогипановых растворов при вскрытии пласта в 2–3 раза меньше по сравнению с расходом воды в аналогичных условиях, а выносная способность в 3–10 раз выше. Концентрация гипана в растворе и вязкость последнего зависят от коэффициента фильтрации и напора вскрываемого водоносного горизонта и составляет 2–6 %.

При вскрытии водоносных горизонтов, имеющих коэффициент фильтрации до 35–40 м/сут, большой эффект дают глиноводогипановые растворы. Их готовят путем добавления 10 %-ного раствора гипана в глинистый раствор, имеющий плотность 1,05–1,08 кг/см³, вязкость 25–40 с, водоотдачу 15–18 см³. При этом водоотдача снижается до 5 см³ за 30 мин и резко повышается вязкость раствора. Глинистая корка, образуемая на стенках скважины при применении такого раствора, размывается при промывке чистой водой в течение нескольких минут.

Малоглинистые растворы, широко распространенные, имеют следующий состав: 4–8 % глины, 1–2 % КМЦ для стабилизации и 1 м³ воды. При вскрытии слабонапорных пластов, имеющих большую поглощающую способность, эти растворы аэрируются путем введения 0,1–0,2 % ПАВ. Применение аэрированных растворов позволяет резко сократить их расход при вскрытии поглощающих горизонтов.

Полимерные и самораспадающиеся растворы готовят на основе модифицированного крахмала и карбоксиметилцеллюлозы с добавками бентонита и без него. Образующаяся на стенках скважины корка распадается самопроизвольно (через 3–4 сут) или при введении в исходную жидкость добавок (амилосубтилин, ГЭФ-1, полифосфаты и т.д.). Применение самораспадающихся растворов дает большой эффект при вскрытии водоносных пластов, характеризующихся катастрофическим поглощением промывочной жидкости. Недостаток самораспадающихся растворов – их высокая стоимость.

Эмульсионные промывочные жидкости представляют собой дисперсные системы, состоящие из двух или нескольких жидких фаз, причем одна находится в другой в виде изолированных капель – глобул. Для получения стойких эмульсий в них добавляют вещество, называемое эмульгатором. Последний образуется добавлением в воду различных эмульсолов, например, лесохимического, омыленных смесей гудронов и др. Концентрация эмульсолов составляет 1–2 %. Эмульсионные промывочные жидкости обычно состоят из воды, смазывающего вещества и эмульгатора, являющегося поверхностно-активным веществом. Эмульсионные жидкости применяют для уменьшения затрат мощности на вращение бурового снаряда, снижения его вибраций и повышения стойкости породоразрушающего инструмента.

Аэрированные (насыщенные воздухом) растворы и пены применяют для борьбы с поглощениями и вскрытия слабонапорных водоносных пластов. Это связано с тем, что благодаря небольшой плотности (0,7–0,8 т/м³) они имеют пониженную водоотдачу. В то же время аэрированные жидкости имеют повышенную несущую и очистную способность. Аэрация жидкостей осуществляется механическим способом (с помощью компрессоров или специальных аэраторов) и химическим (при использовании ПАВ). Достаточно широко применяется малоглинистый раствор, содержащий 4–8 % глины, 1–2 % КМЦ, 0,1–0,2 % ПАВ и 1 м³ воды.

Ингибированные промывочные жидкости обра-

зуются при добавлении в них веществ, содержащих ионы кальция (например, CaCl_2). Для стабилизации раствора применяются специальные химические реагенты. Ингибированные жидкости обладают большой устойчивостью, применяются для предотвращения обрушения стенок и зауживания ствола скважин при бурении в диспергирующихся сланцах, аргиллитах и набухающих глинах.

Растворы на нефтяной основе, жидкая фаза которых представлена нефтью или дизельным топливом, применяются для вскрытия нефтяных пластов, а также для ликвидации осложнений и аварий в скважинах.

§ 5. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Промывочные жидкости готовят непосредственно на буровой или на специальных глиностанциях. В последнем случае раствор доставляют на буровые по трубопроводам или автоцистернами. Глинистый раствор наиболее часто готовят механическим способом с помощью специальных глиномешалок.

Механическая лопастная глиномешалка (рис. 3.2) представляет собой цилиндрический или овальной формы корпус 5, внутри которого с помощью шкивов 1 и редуктора 2 вращаются один или два вала 3, снабженные лопастями 7 для перемешивания глины и воды. Корпус в верхней части имеет люк 4, закрытый решеткой, для загрузки глины и воды. В нижней части корпуса имеется патрубок 6 для слива готового раствора. Вместимость глиномешалок марок ГМЭ-0,75, ГКЛ-2М, МТ-24Х и других составляет 0,7—4 м³.

Механические лопастные глиномешалки относятся к машинам периодического действия. Они отличаются простотой конструкции, но тем не менее имеют недостатки: небольшая производительность, частое заклинивание и поломка лопастей при попадании с глиной твердых включений большого размера. Указанные недостатки в значительной мере уст-

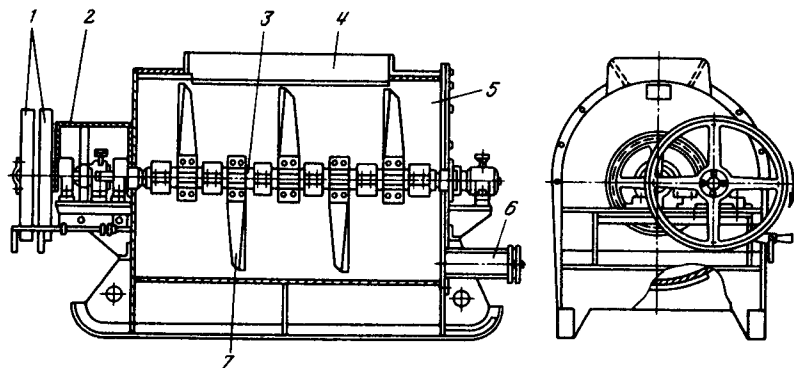


Рис. 3.2. Механическая глиномешалка

ранены в другой разновидности механических глиномешалок — фрезерно-струйных мельницах (ФСМ).

Фрезерно-струйные мельницы используются для непрерывного приготовления глинистых растворов из комовых глин и глинопорошков. Основным узлом их является лопастный ротор, вращающийся в корпусе, имеющем приемный бункер для загрузки глины и перфорированную трубу для подачи воды. Внутри корпуса размещено устройство для удаления попавших с глиной твердых включений. Лопасти быстровращающегося ротора захватывают глину и воду. Первичное переизмельчение глины происходит при ее перемещении в узком зазоре между рифленой диспергирующей плитой и ротором. Более тонкое измельчение осуществляется за счет отбрасываемых лопастями ротора струй, их ударов о выходную решетку, а также при прохождении раствора сквозь отверстия последней. Готовый раствор стекает по внешней поверхности решетки и по лотку отводится в сторону. Частицы, не успевшие измельчиться в мельнице, вследствие циркуляции раствора вновь попадают под лопасти раствора.

Производительность фрезерно-струйных мельниц — 10–12 м³/ч раствора по комовой глине и 25–30 м³/ч при использовании глинопорошков.

Гидромешалки применяют для приготовления больших объемов раствора гидравлическим способом. Они разделяются на два типа: гидромониторные и эжекторные. В гидромешалках первого типа раствор готовится путем размыва глины струей воды, вытекающей из монитора под давлением 4–10 МПа. Производительность гидромониторных мешалок — 40–120 м³/ч готового раствора.

При работе гидромешалок второго типа используется принцип эжекции, заключающийся в эффекте понижения давления вокруг струи жидкости, истекающей с большой скоростью из насадки. В результате в зону разрежения засасывается глинопорошок. Образующаяся пульпа поступает в бак и ударяется о специальный башмак, что способствует интенсивному перемешиванию глины с водой. Эжекторные гидромешалки обеспечивают высокую производительность (до 90–100 м³/ч). Недостатки гидромешалок этого типа — необходимость использования в качестве исходного материала только глинопорошка и довольно низкое качество раствора.

Технология приготовления глинистых растворов в лопастных глиномешалках заключается в следующем. Первоначально рассчитывают количество глины P_{Γ} (в т), которое необходимо загрузить в глиномешалку для получения раствора заданной плотности:

$$P_{\Gamma} = \frac{\rho_{\Gamma}(\rho_{\Gamma\rho} - \rho_{\text{в}})}{\rho_{\Gamma} - \rho_{\text{в}}} V_0, \quad (3.2)$$

где ρ_{Γ} , $\rho_{\Gamma\rho}$ и $\rho_{\text{в}}$ — плотность соответственно глины, глинистого раствора и воды, т/м³ ($\rho_{\Gamma} = 2,5 \div 2,6$); V_0 — рабочий объем глиномешалки, м³.

Глиномешалка на 1/3 рабочего объема заполняется водой и загружается необходимым количеством глины. Вал глиномешалки поворачи-

вается при периодическом включении привода. Затем заполняют водой весь оставшийся объем, люк закрывают крышкой и включают привод.

Время приготовления раствора зависит от качества глины и колеблется от 40 мин до 2 ч. Для определения оптимального времени приготовления раствора рекомендуется отбирать пробы раствора и определять его основные свойства. Первая проба отбирается через 30 мин, последующие — с интервалом 15 мин. Если раствор необходимо обработать химическими реагентами, то их вводят в глиномешалку перед загрузкой глины.

Азрированные промывочные жидкости готовят следующими способами: компрессорным, бескомпрессорным с использованием ПАВ и устройств эжекторного типа, комбинированным. Компрессорный способ азриции заключается в вводе через специальные устройства в нагнетательную линию насоса сжатого воздуха. Недостаток этого способа заключается в том, что его применение ограничивается глубиной скважины, на которой потери напора при циркуляции раствора не превышают давления нагнетаемого воздуха.

При использовании бескомпрессорного способа раствор азрируется за счет захвата воздуха вращающимися лопастями глиномешалки или струи раствора, сбрасываемой через отводной шланг. При этом в раствор предварительно вводят пенообразователь (ПАВ). Комбинированный способ азриции раствора является разновидностью компрессорного и заключается в использовании смесителей эжекторного типа.

Основная особенность приготовления полимерных растворов заключается в предварительном растворении полимеров в горячей воде и последующем добавлении полученного раствора в промывочную жидкость, выходящую из скважины.

Для приготовления эмульсионных растворов предварительно приготовленная смесь (исходная промывочная жидкость и эмульгатор) дополнительно перемешивается в ультразвуковом генераторе за счет ударов о мембраны. В результате возникающих завихрений жидкости получается качественный однородный эмульсионный раствор.

Промывочные жидкости следует готовить в соответствии с правилами техники безопасности. Механизмы и баки для приготовления и хранения промывочных жидкостей должны быть ограждены. Запрещается проталкивать глину через решетку люка ломом, брать пробу раствора через люк глиномешалки. С химическими реагентами, в особенности со щелочами и кислотами, следует работать только в спецодежде, включающей резиновые фартук, сапоги, перчатки, респиратор, очки. При попадании щелочи на кожу или одежду следует промыть это место 10 %-ным раствором уксусной кислоты, а при попадании кислоты — 10 %-ным раствором двууглекислой (чайной) соды.

Рабочие, занятые приготовлением промывочной жидкости, должны пройти вводный инструктаж по технике безопасности, инструктаж на рабочем месте, а также в установленные сроки повторные инструктажи.

§ 6. ОЧИСТКА ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ОТ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ

Выходящая из скважины промывочная жидкость обогащена частицами выбуренных пород. Использование загрязненных растворов вызывает сальникообразование и прихваты (заклинивание) снаряда, приводит к образованию толстой рыхлой корки на стенках скважины (что создает опасность их обвала), преждевременному изнашиванию буровых труб и промывочного насоса. Поэтому необходимо очищать промывочные жидкости от бурового шлама. Существуют следующие методы очистки: физико-химические, механические, естественные, гидравлические и комбинированные.

Физико-химические методы основаны на введении в раствор флоккулянтов (вещества, вызывающие слипание частиц разбуренных пород в хлопья), коагуляторов (галогенные соединения Al, Fe, Na, Ca) и разбавителей. В результате добавок этих веществ происходит флокуляция и коагуляция частиц из раствора. Раствор разбавляют водой или очищенным раствором, имеющим низкие параметры.

Механический способ очистки с помощью вибрации заключается в направлении раствора на сито, которое приводит в высокочастотные колебания с помощью вибратора. В результате структура раствора разрушается, резко понижается его удерживающая способность и крупные частицы выпадают из раствора.

Естественные методы очистки основаны на разрушении структуры раствора при его движении в циркуляционной системе и осаждении частиц выбуренных пород под действием силы тяжести. Циркуляционная система состоит из желобов, отстойника и приемного зумпфа. Размеры циркуляционной системы зависят от глубины и диаметра скважины, а также от типа буровой установки (стационарная или самоходная). Желоба изготовляют из деревянных досок или листовой стали площадью сечения $300 \times 250 \text{ мм}^2$, общей длиной 5–35 м.

Желоба оборудуют через 1–2 м перегородками, чередующимися по расположению: предыдущая перегородка несколько не доходит до дна желоба, а последующая расположена несколько ниже верхнего его края. Такая конструкция желобов позволяет изменять направление потока раствора и способствует разрушению его структуры. Наиболее крупные частицы выпадают из раствора в желобах, а окончательная очистка происходит при попадании раствора в отстойник. Последний соединен в верхней части желобом с приемным зумпфом, куда поступает верхний, наиболее чистый слой раствора.

Очистка желобов от выпавшего шлама наиболее эффективна при прекращении циркуляции промывочной жидкости. Периодически очищают и отстойники. С целью охраны труда отстойники и приемные зумпфы должны быть ограждены, а желоба закрыты щитами или досками.

Однако применение циркуляционной системы не дает должного эффекта при очистке промывочной жидкости высоких тиксотропных свойств от шлама мелкой фракции.

Гидравлические методы очистки основаны на использовании центробежных сил, возникающих в гидроциклонах и центрифугах при прокачке через них загрязненной жидкости. Гидроциклон представляет собой корпус, состоящий из цилиндрической части, переходящей в конусную. К цилиндрической части тангенциально приварен патрубок, через который вводится загрязненный раствор. Внутри гидроциклона жидкость приобретает вихревое движение. Крупные частицы породы под действием возникающих центробежных сил отбрасываются к стенкам гидроциклона и сползают в коническую часть корпуса, оканчивающуюся выпускным каналом с песковой насадкой. Через последнюю сбрасываются поступающие частицы пород с частью жидкости. Очищенный раствор по внутреннему спиральному потоку поднимается вверх и покидает гидроциклон через выводной патрубок. Потери раствора при очистке составляют 1–2 %, загрязнение раствора уменьшается в 10–15 раз.

В практике разведочного бурения применяются гидроциклонные установки ОГХ-8А и ОГХ-8Б, состоящие из электродвигателя, винтового насоса, системы трубопроводов и гидроциклона. Загрязненный раствор из отстойника засасывается насосом и подается по трубопроводу в гидроциклон. Очищенный раствор сбрасывается в другой отстойник, а буровой шлам – в специальный зумпф.

Преимущество гидроциклонной очистки – простота устройств, недостатки – узкий диапазон оптимальных режимов работы и невозможность тонкой очистки раствора (частицы размером менее 40 мкм не удаляются из раствора).

Контрольные вопросы к гл.3

1. Основные свойства глинистых растворов.
2. Приборы для измерения плотности, вязкости и водоотдачи промывочной жидкости.
3. Как изменяются свойства растворов при обработке каустической содой, УЩР, гипаном, ПАВ?
4. Виды промывочных жидкостей, применяемых при вскрытии водоносных пластов. Состав этих растворов.
5. Оборудование для приготовления и очистки промывочных жидкостей.

Глава 4

РОТОРНОЕ БУРЕНИЕ

§ 1. СУЩНОСТЬ РОТОРНОГО БУРЕНИЯ

Роторное бурение – разновидность вращательного бурения. Оно широко применяется для проходки скважин при поисках, разведке и эксплуатации жидких и газообразных полезных ископаемых. Начальные диа-

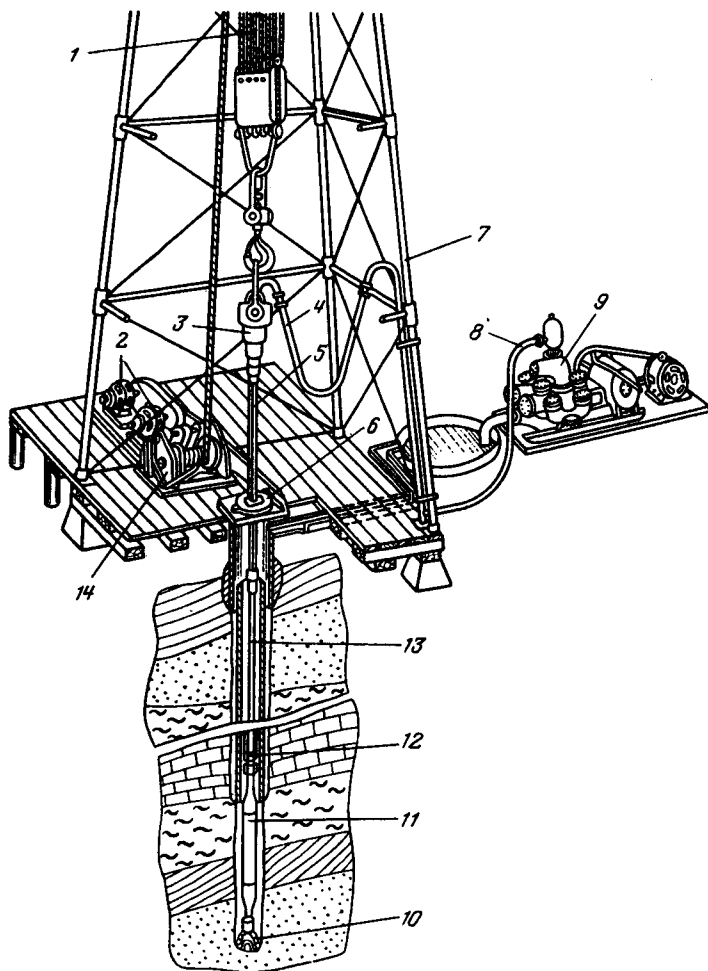


Рис. 4.1. Схема установки глубокого вращательного бурения

метры скважин при роторном бурении достигают 700 мм и более, а глубины превышают 10 000 м.

Схема установки глубокого вращательного бурения показана на рис. 4.1. Породоразрушающий инструмент (долото) 10 соединяется с утяжеленными бурильными трубами (УБТ) 12, которые в процессе бурения передают осевую нагрузку на забой. УБТ соединяются с колонной бурильных труб 13, которая в верхней части присоединяется к ведущей трубе 5, имеющей квадратное или шестигранное сечение. Ведущая труба свободно (с зазором) проходит сквозь ротор 6, передающий вращение от двигателя 2 через колонну бурильных и утяжеленных труб долоту.

В процессе бурения на забой скважины нагнетается промывочная жидкость, подаваемая насосом 9 в нагнетательную линию 8, 4 и далее через вертлюг-сальник 3 и бурильную колонну. Подъем и спуск долота осуществляется с помощью лебедки 14, буровой вышки 7 и талевой системы 1. Лебедка, барабан которой вращается от двигателя 2, служит также для регулирования осевой нагрузки на забой.

При бурении с помощью забойных двигателей (турбобуров, электробуров) используется то же буровое оборудование и инструмент со следующими изменениями. При турбинном бурении в состав бурового снаряда включается забойный двигатель — турбобур 11, вал которого соединен с долотом 10 и приводится во вращение при прокачивании через турбобур промывочной жидкости. Колонна бурильных труб и корпус турбобура в процессе бурения остаются неподвижными за счет того, что ведущая бурильная труба стопорится в роторе специальным устройством. При электробурении в состав бурового снаряда вместо турбобура включается забойный электрический двигатель специальной конструкции — электробур, к валу которого присоединяется долото.

§ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ РОТОРНОГО БУРЕНИЯ

Долото — основной вид породоразрушающего инструмента при роторном бурении. По характеру разрушения горной породы долота делятся на лопастные, шарошечные, алмазные и долота типа ИСМ. Лопастные долота разрушают породу резанием и скалыванием, шарошечные — дроблением и скалыванием, алмазные и долота типа ИСМ — истиранием и резанием. По назначению долота делятся на три класса: для бескернового бурения, колонкового бурения и для специальных целей.

Долота для бескернового бурения

Лопастные долота предназначены для бурения мягких и средней твердости пород I — IV категорий по буримости. Выпускаются долота следующих типов: двухлопастные 2Л диаметрами от 76 до 161 мм с обычной промывкой; трехлопастные 3Л и 3ЛГ диаметрами от 118 до 445 мм с обычной и гидромониторной промывкой; многолопастные типа ИР и ИРГ диаметрами от 76 до 269 мм.

Лопастное долото (рис. 4.2) состоит из корпуса 1 с внутренней резьбой и лопастей 2, отштампованных за одно целое с корпусом или приваренных к нему. В корпусе выполнены каналы для прохода промывочной жидкости. В трехлопастных долотах диаметром более 190 мм для повышения механической скорости бурения в каналы вставляются сменные минерало-керамические насадки 4, служащие для увеличения скорости истекающей струи до 80–120 м/с. Лопастные долота армируются пластинками твердого сплава 3, в некоторых конструкциях последний наплавляется на лопасти.

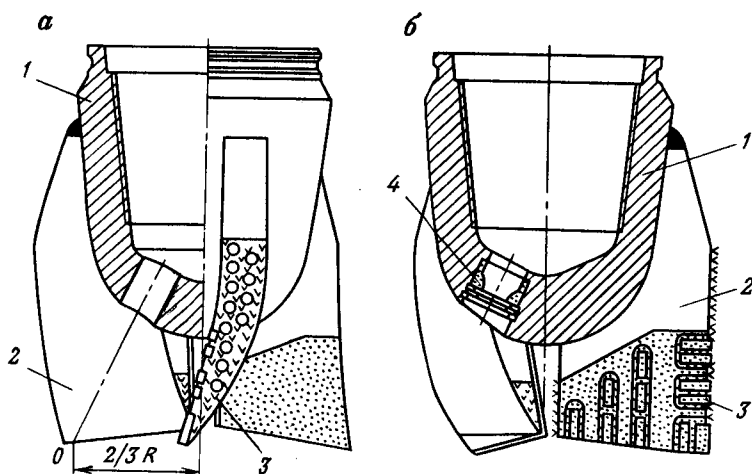


Рис. 4.2. Трехлопастное долото:

а — с обычной промывкой типа ЗЛ; *б* — с гидромониторной промывкой типа ЗЛГ

Твердые сплавы — это особая группа карбидов металлов, отличающихся высокой твердостью, химической и механической стойкостью. По технологии изготовления твердые сплавы делятся на наплавочные и спеченные. Первые применяют для повышения износостойкости породоразрушающих инструментов при шнековом и ударно-канатном бурении, а также в конструкции некоторых долот. Для вооружения породоразрушающих инструментов вращательного бурения в основном используют спеченные твердые сплавы, состоящие из карбида вольфрама WC и кобальта Co. Порошкообразная смесь этих компонентов прессуется в формы и спекается.

В бурении используют твердые сплавы следующих марок: ВК6, ВК6В, ВК8В, ВК11В, ВК15, ВК20. Маркировка означает: В — карбид вольфрама, К — кобальт, цифра — содержание в сплаве кобальта в процентах, буква за цифрой — зернистость сплава, В — крупнозернистые с размерами зерен 3–5 мм (среднезернистые с размерами зерен 1–2 мм не имеют индекса). В соответствии с ГОСТ 2209–82 и ГОСТ 830–75 выпускают резцы призматической, пластинчатой, штыревой и других форм.

На корпус долота наносится его шифр. Например, ЗЛГ-295 расшифровывается следующим образом: ЗЛ — трехлопастное, Г — с гидромониторной насадкой, 295 — диаметр долота в мм.

Многолопастные долота типа ИР и ИРГ имеют шесть чередующихся по высоте лопастей: три лопасти имеют нормальную длину, а три — укороченную.

Рабочие элементы (кромки) лопастных долот под действием осевой нагрузки и крутящего момента участвуют в двух движениях: в вер-

тикальном и вращательном в горизонтальной плоскости и осуществляют резание и скалывание породы. Преимущество лопастных долот — простота конструкции, недостаток — большие величины момента и мощности, необходимые для разрушения забоя.

Шарошечные долота применяют в породах любой крепости, но наиболее успешно — в породах V–X категорий по буримости. При роторном бурении в основном используют долота с коническими шарошками. По числу последних изготавливают одно-, двух-, трех- и четырехшарошечные долота.

Основной породоразрушающий инструмент — секционное трехшарошечное долото (рис. 4.3). Корпус его сваривается из трех секций (лап) 6, которые вместе с подшипниками образуют опоры долота. При сборке в опоры закладываются графитовая смазка или технический вазелин. Шарошки 1 и цапфы долота выполняются из высоколегированных сталей с последующей термообработкой и цементацией. Корпус долота имеет присоединительную резьбу 8 и каналы для прохода промывочной жидкости.

Шарошки вооружаются стальными фрезерованными зубьями, наплавленными твердым сплавом. Высота зубьев шарошек, угол их приострения и шаг зависят от твердости разбуриваемых пород. В мягких породах используются долота с крупными зубьями, имеющими малые углы приострения и большой шаг. С повышением твердости пород зубья выполняются более мелкими, с меньшим шагом и большими углами приострения. Для бурения крепких пород применяют долота, шарошки которых имеют вставные твердосплавные штыри.

При вращении долота шарошки участвуют в двух движениях: относительном (вокруг оси цапфы) и переносом (вокруг оси долота). Частота ударов $n_{ш}$ зубьев всех шарошек долота по забою определяется

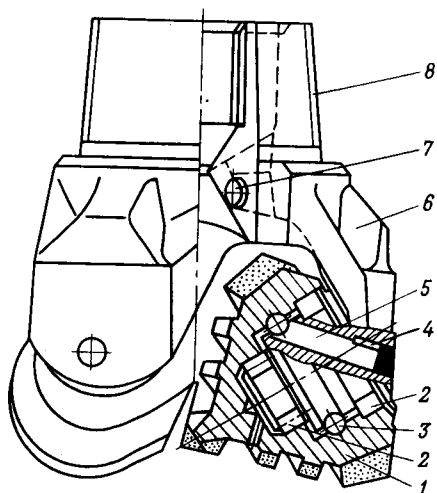


Рис. 4.3. Секционное трехшарошечное долото:

1 — шарошка; 2 — ролики; 3 — шарик; 4, 7 — штифты; 5 — палец; 6 — лапа; 8 — присоединительная резьба

зависимостью:

$$n_{ш} = m z n_{д} \frac{D_{д}}{d_{ш}}, \quad (4.1)$$

где m — число шарошек; z — число зубьев одной шарошки; $n_{д}$ — частота вращения долота, об/мин; $D_{д}$, $d_{ш}$ — соответственно диаметр долота и средний диаметр шарошки, см.

Как следует из формулы (4.1), частота поражения забоя зубьями весьма высока, а малая суммарная площадь контакта зубьев шарошек с забоем обеспечивает высокие удельные нагрузки на породу. Кроме того, при перекачивании шарошки попеременно опираются о забой одним или двумя зубьями, обеспечивая возвратно-поступательное перемещение долота в вертикальном направлении. Это вызывает динамические нагрузки на забой, облегчающие его разрушение.

При бурении твердых и крепких пород (VII–XII категорий по буримости) применяют долота, ось которых пересекается с осями шарошек. При перекачивании последних по забою обеспечивается дробление породы. В долотах для бурения мягких пород (I–V категорий) оси шарошек смещены относительно оси долота, а сами шарошки выполнены многоконусными. Такая конструкция обеспечивает не только дробление, но и скалывание породы забоя за счет проскальзывания шарошек.

Преимущество шарошечных долот — небольшие величины момента и мощности, необходимые для вращения на забое. Существенный недостаток их — преждевременный выход из строя опор шарошек в результате проникновения в опору долота промывочной жидкости, вызывающей абразивный износ. Применение шарошечных долот с герметизированными маслonaполненными опорами, как свидетельствует практика, позволяет увеличить их работоспособность на 30 % по сравнению с обычными.

В зависимости от твердости пород применяются трехшарошечные долота 13 типов. Из них основными являются долота типов М, С, Т и К, промежуточными долота типов МС, СТ, ТК и ОК. Буквы М, С, Т и К означают, что долота предназначены для бурения соответственно мягких, средней твердости, твердых и крепких пород. Буквы МС, СТ, ТК и ОК присваиваются долотам, предназначенным для бурения перемежающихся по твердости пород (мягких с пропластками пород средней твердости: средней твердости с пропластками твердых; твердых с пропластками крепких и очень крепких).

В шифр долота входят диаметр, тип и завод-изготовитель. Например, 1В-295С расшифровывается следующим образом: 1 — первая конструкция, В — Верхнесергинский долотный завод, 295 — диаметр долота в мм, С — тип долота (для пород средней твердости).

Диаметры выпускаемых шарошечных долот стандартизованы и соответствуют следующему нормальному ряду (в мм): 93, 98, 112, 132, 140, 151, 165, 190, 214, 243, 269, 295, 320, 349, 445, 490.

Алмазные долота предназначены для бурения пород V–XII категорий по буримости на больших глубинах (свыше 2500–3000 м). В таких условиях применение алмазных долот, обладающих высокой износостойкостью (до 200–250 ч работы), обеспечивает высокую рейсовую скорость проходки. Алмазное долото состоит из корпуса с присоединительной резьбой и припаянной к нему алмазосодержащей матрицы. В корпусе имеются каналы для прохода промывочной жидкости.

Украинским институтом сверхтвердых материалов (ИСМ) создан материал славутич, по твердости не уступающий природным алмазам и обладающий высокой износостойкостью. Разработаны долота типа ИСМ со вставками из славутича, показавшие высокую эффективность.

Долота и снаряды колонкового бурения

Снаряды колонкового бурения состоят из следующих основных частей: бурильной головки для разрушения породы вокруг выбуриваемого керна, внутренней колонковой трубы для приема керна и кернодержателя (кернорвателя). Бурильные головки изготавливают шарошечными, алмазными и лопастными.

По принципу работы снаряды колонкового бурения делятся на две группы: с несъемной и съемной колонковой трубой. В снарядах первого типа керн извлекается на поверхность после подъема всего технологического инструмента. При работе снарядами второго типа колонковая труба (грунтоноска) с керном извлекается специальным ловителем на канате внутри бурильной колонны, а бурильная головка поднимается после ее отработки. Наибольшее распространение получили снаряды второго типа, так как их применение позволяет значительно уменьшить время на спуско-подъемные операции.

Долота для специальных целей

В эту группу входят пикообразные и фрезерные долота, а также долота-расширители.

Пикообразные долота применяют для плавного перехода ствола скважины с большего диаметра на меньший, для разбуривания цементных пробок и при аварийных работах. Пикообразное долото напоминает по конструкции двухлопастное, лопасти которого заточены под острым углом к оси инструмента.

Фрезерные долота предназначены для разбуривания цементных мостов и оставленного в скважине металла. Долото представляет собой корпус, к которому приварены спиральные лопасти с пластинами твердого сплава.

Расширители

Долота-расширители используют для калибрования и расширения ствола скважины с целью исключения затяжек бурового снаряда при его подъеме. При бурении водозаборных скважин расширяют участок ствола в пределах водоносного пласта для создания водоприемной части скважины с гравийной обсыпкой. Шарошечные расширители применяются в породах средней твердости, твердых и крепких.

Расширитель треста "Союзшахтоосушение" позволяет расширять скважины до диаметра 588–1200 мм. Он состоит из направляющего пилот-долота и расположенных по периферии четырех шарошек. В качестве пилот-долота используется серийное шарошечное долото, формирующее опережающую скважину малого диаметра, которая затем расширяется периферийными шарошками до требуемого размера. Такой расширитель нельзя использовать для расширения любого интервала ствола, имеющего неизменный диаметр.

Для расширения скважины (например, для создания каверны под гравийную засыпку фильтра) в мягких породах применяют лопастные и гидротурбинные расширители.

Лопастной расширитель конструкции "Промбурвод" состоит из корпуса, внутри которого смонтирован поршень со штоком. В продольных плазмах корпуса расположены складные лопасти, шарнирно связанные со штоком. Под напором подаваемой промывочной жидкости система поршень–шток перемещается вниз. В результате лопасти выходят из пазов, раскрываются и расширяют ствол. Лопастной расширитель позволяет увеличить диаметр скважины до 900 мм.

Гидравлический турбинный расширитель конструкции треста "Востокбурвод" 2 (рис. 4.4) имеет корпус 5 с противоположно направленными по касательной соплами 6, образующими гидротурбинку. Корпус с тормозными пластинками 4 свободно посажен на вал муфты 3,

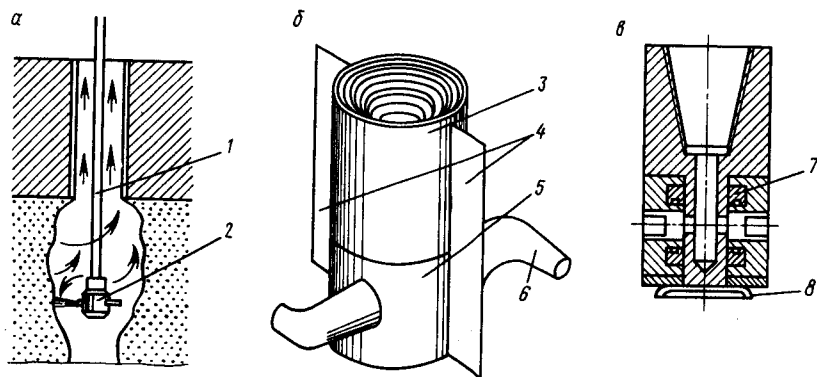


Рис. 4.4. Гидравлический турбинный расширитель:

а — схема установки расширителя; б — схема расширителя; в — конструкция расширителя

которая навинчивается на бурильную колонну 1. При подаче промывочной жидкости за счет реактивных сил, возникающих при истечении струй из сопел, корпус гидротурбинки начинает вращаться относительно неподвижной бурильной колонны 1. Герметизация жидкости в сопле 6 обеспечивается самоуплотняющейся манжетой 7, а устойчивое положение сопла 6 сохраняется фиксирующей шайбой 8.

Струи, выбрасываемые из сопел с большой скоростью, при вращении разрушают мягкие породы (песок, глина и т.д.), расширяя ствол скважины. Расширение любого интервала ствола скважины в крепких породах — более трудная задача. Отечественные расширители для такой цели серийно не выпускаются, хотя зарубежный опыт свидетельствует о положительных результатах некоторых разработанных конструкций.

Расширитель фирмы "Локоматик" представляет собой корпус с шарошечным пилот-долотом на конце. Ствол в любом интервале расширяется шарошками, выдвигаемыми из корпуса под действием напора промывочной жидкости. После расширения заданного интервала ствола шарошки складываются внутрь корпуса.

Утяжеленные бурильные трубы

УБТ являются частью технологического инструмента, расположенного над долотом, и предназначены для повышения жесткости и уменьшения изгибающих напряжений, вызванных реакцией забоя при действии осевой нагрузки на долото. УБТ представляют полый толстостенный цилиндр, имеющий с обоих концов внутреннюю резьбу (наддолотная труба) или внутреннюю на одном конце и наружную — на другом (промежуточные трубы). Длины поставляемых труб — 6,5; 8—12 м, диаметр принимается на 40—50 мм меньше диаметра долота. УБТ выпускают диаметрами 73, 89, 105, 120, 133, 146, 178, 197, 203, 229, 254, 273 и 290 мм при массе 1 м от 25,6 до 489 кг.

Бурильные трубы и их соединения

Бурильные трубы, соединяясь между собой, образуют бурильную колонну, предназначенную для передачи крутящего момента и осевой нагрузки на долото, подачи промывочной жидкости, подъема и спуска породоразрушающего инструмента.

Применяются бурильные трубы двух основных типов: с концами, высаженными внутрь и наружу (рис. 4.5, а). Внутренняя часть бурильных труб 1 второго типа не имеет сужений в месте посадки 2, поэтому гидравлические сопротивления прокачиваемой жидкости у этих труб меньше, чем у труб с высаженными внутрь концами.

Бурильные трубы изготавливают наружным диаметром 60, 73, 89, 102, 114, 140 мм при толщине стенки 7—12 мм. Масса 1 м бурильных труб в зависимости от диаметра и толщины стенки составляет 9—35 кг.

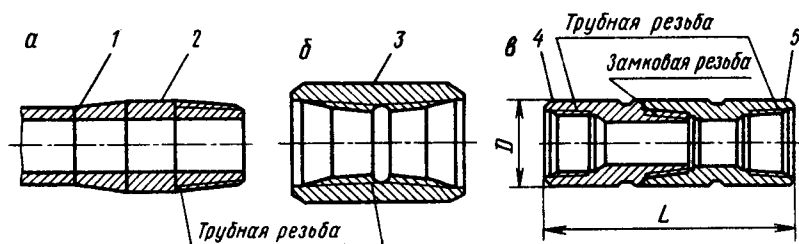


Рис. 4.5. Бурильные трубы и их соединения:

а – труба с высаженными наружу концами; *б* – муфта для соединения труб в бурильные свечи; *в* – замок для соединения бурильных свечей

Для труб используют стали групп прочности Д, К, Е, Л, М, Р, Т, имеющие предел текучести 3,8–10 Па. Длина поставляемых бурильных труб – 6, 8 и 11,5 м.

В практике роторного бурения применяются также легкосплавные бурильные трубы (ЛБТ), изготавливаемые из алюминиевого сплава Д16Т, который имеет достаточную прочность. ЛБТ вдвое легче стальных труб, поэтому затраты мощности на вращение и подъем бурильной колонны, составленной из ЛБТ, существенно снижаются, рейсовая скорость бурения повышается в 1,2–1,3 раза.

Для удобства спуска и подъема бурильная колонна составляется из отдельных секций, которые не развинчиваются при спуско-подъемных операциях. Секция, составленная из нескольких бурильных труб и соединяемая муфтами 3 (рис. 4.5, б), называется бурильной свечой. Длина свечи определяется высотой буровой вышки и обычно принимается на 25–30 % меньше ее.

Бурильные свечи соединяются между собой замками, которые развинчиваются при спуско-подъемных операциях. Замки для бурильных труб (рис. 4.5, в) состоят из двух деталей: ниппеля 4 и муфты 5, соединяемых между собой крупной конической резьбой. С противоположных концов ниппеля и муфты имеется внутренняя резьба для навинчивания на концы смежных свечей.

Ведущие бурильные трубы

Ведущая труба – элемент технологического инструмента – располагается в верхней части бурильной колонны и непосредственно воспринимает крутящий момент от ротора буровой установки.

Ведущие трубы выпускают квадратного, шестигранного или крестообразного сечения и только в сборе. Они состоят из собственно трубы, верхнего переводника с левой резьбой для соединения с вертлюгом и нижнего переводника с правой резьбой для соединения с бурильной колонной. Ведущие трубы квадратного сечения выпускают с размерами

стороны квадрата 65х65, 80х80, 115х115, 140х140, 155х155 мм. Общая длина труб в сборе составляет 10—14,5 м.

Переводники

Переводники предназначены для соединения элементов бурового снаряда, имеющих разные резьбы или диаметры. Существуют переводники для присоединения ведущей трубы к вертлюгу и бурильным трубам, для соединения различных элементов, располагающихся навстречу друг другу ниппелями или муфтами.

Вертлюги

Вертлюги применяют для подачи промывочной жидкости от нагнетательной линии насоса во вращающуюся бурильную колонну, а также для соединения бурового снаряда с талевой системой установки. Вертлюгосальник состоит из корпуса, внутри которого на подшипниках размещен полный шпиндель. Последний при бурении соединяется с верхним левым переводником ведущей трубы. Корпус имеет патрубок для присоединения нагнетательной линии и серьгу для соединения с талевой системой.

§ 3. ЗАБОЙНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВРАЩЕНИЯ ДОЛОТА

Забойные механизмы вращения долота по роду применяемой для привода энергии делятся на гидравлические (турбобуры, винтовые двигатели) и электрические (электробурь).

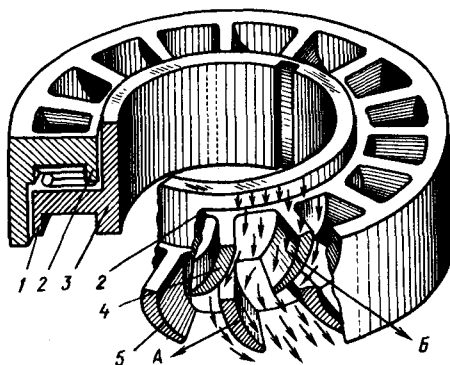
Турбобуры

Приоритет в создании забойного турбинного двигателя принадлежит отечественной науке. Еще в 1923—1924 гг. М.А. Капелюшников разработал одноступенчатый турбобур с многоступенчатым понижающим редуктором. Однако вследствие ряда конструктивных недостатков эта машина не нашла применения.

В 1934—1935 гг. Т.П. Шумилов, Р.А. Иоанесян, Э.И. Тагиев и М.Т. Гусман разработали многоступенчатый турбобур, который после ряда усовершенствований был широко внедрен в практику глубокого бурения и обеспечил высокие темпы сооружения скважин.

Турбобур — это забойный двигатель, преобразующий гидравлическую энергию промывочной жидкости в механическую энергию вращающегося вала, соединенного с долотом. Основным узел турбобура — турбина, состоящая из большого числа одинаковых ступеней. Каждая ступень (рис. 4.6) состоит из двух деталей: неподвижного статора, закреп-

Рис. 4.6. Схема турбины



ленного в корпусе турбобура, и вращающегося ротора, соединенного с валом турбобура. Статор представляет собой стальное кольцо, на внутренней поверхности которого имеются изогнутые лопатки 4. Концы лопаток статора соединены с внутренним ободом 2. Ротор представляет собой кольцевой наружный обод 1 с лопатками 5, профиль которых является зеркальным отображением лопаток статора. Внутренние концы лопаток ротора соединены ободом 3.

Промывочная жидкость, нагнетаемая мощным насосом в бурильные трубы, попадает сначала в статор первой ступени и создает усилие Б. Обтекая лопатки статора, жидкость изменяет направление движения и с большой скоростью поступает на вогнутые лопатки ротора (усилие А), создавая на валу турбобура крутящий момент. Вытекающая из ротора первой ступени жидкость поступает в статор второй ступени, и весь процесс повторяется. Крутящий момент на роторах всех ступеней суммируется, обеспечивая большую мощность на валу турбобура.

Многоступенчатый турбобур имеет корпус, в котором размещены статоры, зажатые специальным ниппелем. Статоры удерживаются от проворачивания силами трения на торцах. Роторы посажены на вал и затянуты роторной гайкой. Вал имеет четыре опоры, воспринимающие осевые усилия и уменьшающие деформации изгиба. Нижняя часть вала турбобура, называемая шпинделем, имеет резьбу для присоединения долота.

На базе описанного турбобура созданы многосекционные турбобуры, состоящие из нескольких одинаковых секций. При свинчивании корпусов секций их валы соединяются с помощью конусно-шлицевых муфт. Секционные турбобуры обладают повышенной мощностью. Разработаны секционные турбобуры ТС4А-104,5 и ТС4А-127, имеющие диаметры соответственно 104,5 и 127 мм и развивающие мощность на валу соответственно 14,7 и 25,7 кВт. Они используются для бурения геологоразведочных скважин.

Для бурения направленно-искривленных скважин применяют укороченные турбобуры, турбина которых имеет 40–60 ступеней. Небольшая длина корпуса этих турбобуров, которые устанавливают на кривых

переводниках, обеспечивает темп изменения угла наклона скважины до $1,5-2^\circ$ на 10 м проходки.

Для бурения скважин большого диаметра от 400 мм до 2–2,5 м применяют реактивно-турбинные агрегаты, у которых два или несколько турбобуров размещены параллельно и жестко соединены между собой. Жесткое соединение обеспечивается с помощью специального узла — траверсы, которая в свою очередь соединяется с бурильной колонной и имеет каналы для подачи промывочной жидкости каждому турбобуру. Шарошечные долота, присоединенные к валам турбобуров, вращаются вокруг их осей, а турбобуры в результате реактивного момента, возникающего на долотах, вращаются вокруг оси скважины. В результате такого сложного движения долота разрушают забой по всей площади.

Винтовые двигатели

Другой тип гидравлической забойной машины, широко внедряющейся в практику глубокого бурения, — винтовой двигатель, который представляет собой обращенный винтовой насос. При подаче промывочной жидкости ротор двигателя приходит во вращение относительно неподвижного статора. Винтовой двигатель выполняет роль редуктора, поэтому выходная частота вращения ротора, с которым соединено долото, низкая. Винтовые двигатели обеспечивают передачу большой мощности долоту.

Электробуры

Впервые электробуры были разработаны в 1937–1940 гг. советскими учеными А.П. Островским и Л.В. Александровым. Электробур представляет собой герметизированный маслonaполненный электродвигатель, к валу которого присоединяется долото. Питание двигателя электрическим током осуществляется по двухжильному кабелю, проложенному внутри бурильной колонны. Отрезки кабеля, концы которых заделаны в замковые соединения, при свинчивании бурильных труб автоматически соединяются, образуя электрическую цепь. Ток подается по кабелю от токоприемника, расположенного на поверхности между ведущей бурильной трубой и вертлюгом.

Электробуры выпускают диаметрами от 164 до 290 мм, они имеют мощность от 45 до 240 кВт. При номинальном напряжении 1000–1750 В и силе тока 60–165 А электробуры обеспечивают частоту вращения долота в пределах 150–700 об/мин.

При бурении электробуром нужен значительно меньший расход жидкости, легко осуществляется автоматизация контроля технологических параметров процесса непосредственно на забое. Особенно эффективно применение электробура при проходке скважин с продув-

кой. Недостатками этого забойного двигателя являются повышенные требования к технике безопасности при его обслуживании и сложность конструкции бурильной колонны с токопроводом.

§ 4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РОТОРНОГО БУРЕНИЯ

Для выполнения операций по спуску и подъему бурильных и обсадных труб буровая установка оснащается инструментами для захвата и подвешивания колонн труб, а также их свинчивания и развинчивания. Для захватывания и подвешивания колонны труб применяют корпусные элеваторы, клиновые захваты и спайдеры.

Корпусной элеватор (рис. 4.7) состоит из корпуса 1, дверцы 2 с рукояткой и защелки 3 с пружиной 4. Элеватор захватывает бурильную трубу, а замковое соединение опирается о его корпус, на котором имеются приливы для штропов.

Спайдер (плащечный элеватор) применяется для захвата и подвешивания тяжелых обсадных колонн. Он состоит из корпуса, в который вставлены сменные плашки. Элеватор надевается на трубу через муфту при раздвинутых плашках.

Клиновые захваты служат для подвешивания колонн в роторе и удержания их на весу.

Для свинчивания и развинчивания обсадных и бурильных колонн применяются круговые и шарнирные ключи.

Круговой ключ (рис. 4.8,а) состоит из двух створок 1, соединенных шарниром 2. Створки при закрывании смыкаются затвором 4. Для закрепления ключа на трубах имеется эксцентричный сектор 3 с насечкой и рукояткой. При спуске колонны ключ надевают на подвешенную трубу. Предварительно на створки ключа наматывают пять-шесть витков каната, один конец которого соединяется с крючком ключа, а второй — с канатом, намотанным на катушку лебедки. Очередная труба вставляется в муфту, ключ закрепляется эксцентричным сектором на трубе. При наматывании каната на катушку лебедки труба свинчивается с муфтой.

Одношарнирные ручные ключи (рис. 4.8,б) применяют для раскрепления и закрепления резьбовых соединений бурильных труб диаметрами

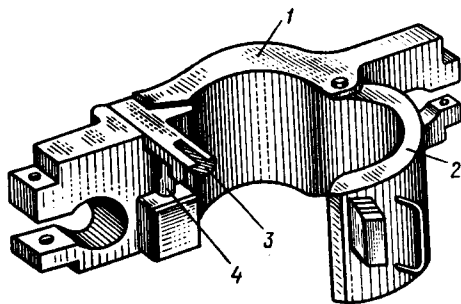


Рис. 4.7. Корпусной элеватор

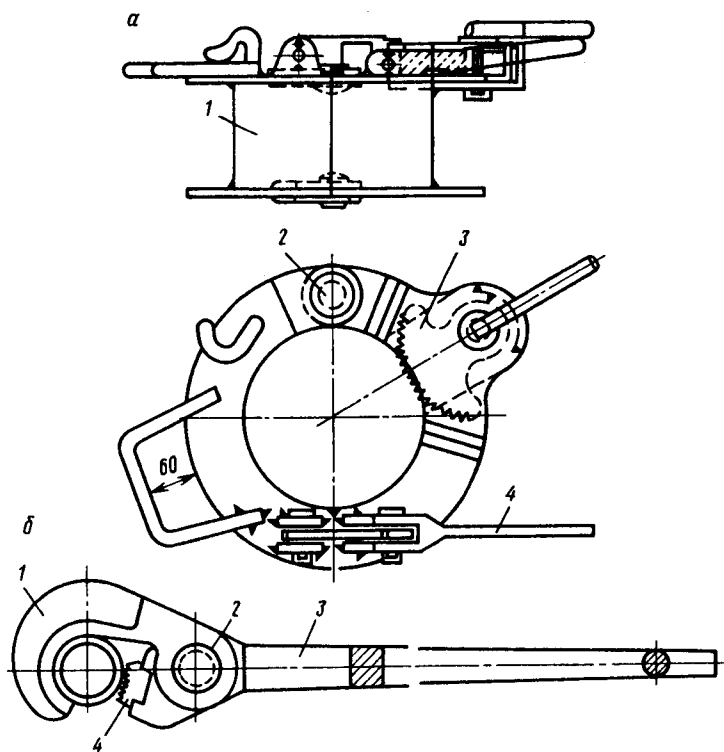


Рис. 4.8. Ключи для свинчивания и развинчивания обсадных и буровых труб

73 и 89 мм. Эти ключи состоят из откидной щеки 1, пальца 2, рукояти 3 и сухаря 4. Соединения буровых и обсадных труб докрепляют и раскрепляют шарнирными машинными ключами типа УМК1. Для механизации и автоматизации свинчивания и развинчивания резьбовых соединений при глубоком бурении применяют ключи ПБК, АКБ и комплекс механизмов МСП-2.

§ 5. УСТАНОВКИ РОТОРНОГО БУРЕНИЯ

Технологические операции, осуществляемые при роторном бурении, определяют конструкцию буровой установки, которая включает следующие узлы: ротор, подъемный механизм, насосы и компрессоры, систему приготовления и очистки промывочной жидкости, силовой привод перечисленных выше узлов и основание. Кроме того, установка оснащается приборами и оборудованием для контроля и управления процессом бурения.

Основным параметром, определяющим пригодность установки для

бурения скважин, принято считать ее номинальную грузоподъемность, которая определяет максимальную глубину бурения скважины. В зависимости от величины этого параметра буровые установки делятся на две основные группы: установки грузоподъемностью 50–500 т для глубокого разведочного и эксплуатационного бурения; установки грузоподъемностью 1–50 т, предназначенные для бурения структурно-поисковых и водозаборных скважин. Существуют также специализированные установки для освоения и ремонта нефтяных и газовых скважин.

Установки роторного бурения грузоподъемностью 50–500 т

Буровые установки этой группы отличаются большой массой, мощным приводом, они в наибольшей степени оснащены приборами и приспособлениями, позволяющими контролировать и регулировать параметры режима бурения, механизировать и автоматизировать вспомогательные работы.

ОСТ 26-02-807–73 утвердил параметрический ряд установок этого класса. В основу классификации положена условная глубина бурения при использовании бурильной колонны, масса 1 м которой составляет 30 кг. По этому принципу выделено восемь классов установок, обеспечивающих бурение скважин глубиной от 2000 до 10 000 м. Для каждого класса установлены требования к величинам основных параметров установок: допустимая нагрузка на крюке и наибольшая скорость его подъема, мощность на приводном валу лебедки, подача и давление насосов и т.д.

Ниже рассмотрены устройство и назначение основных узлов, входящих в состав установок этой группы.

Ротор — это угловой редуктор, передающий вращение вертикально подвешенной бурильной колонне от горизонтального вала трансмиссии установки. Ротор (рис. 4.9) имеет неподвижный корпус 1, в котором на подшипниках 2 установлен стол 6, вращаемый горизонтальным валом 10 через пару конических шестерен 3 и 9. Ведомое зубчатое колесо 3 жестко связано со столом ротора, который имеет вспомогательную опору 4 и ограждение 5. Уплотнения предохраняют от загрязнения внутреннюю полость ротора, заполненную маслом; полость имеет указатель уровня масла 11. Вращение от стола ротора ведущей бурильной трубе передается через вкладыши 8. При отвинчивании долота и для предупреждения вращения бурильной колонны от действия реактивного момента при использовании забойных двигателей стол ротора застопоривают защелкой 7 или стопорным механизмом.

Ведущий вал 10 ротора получает вращение от двигателя через лебедку и может изменять частоту вращения с помощью ее передаточных механизмов. В некоторых случаях, чтобы не связывать работу ротора с работой лебедки, применяется индивидуальный привод ротора.

Подъемный механизм установки предназначен для спуска и подъема бурового снаряда, поддержания его на весу с целью регулирования

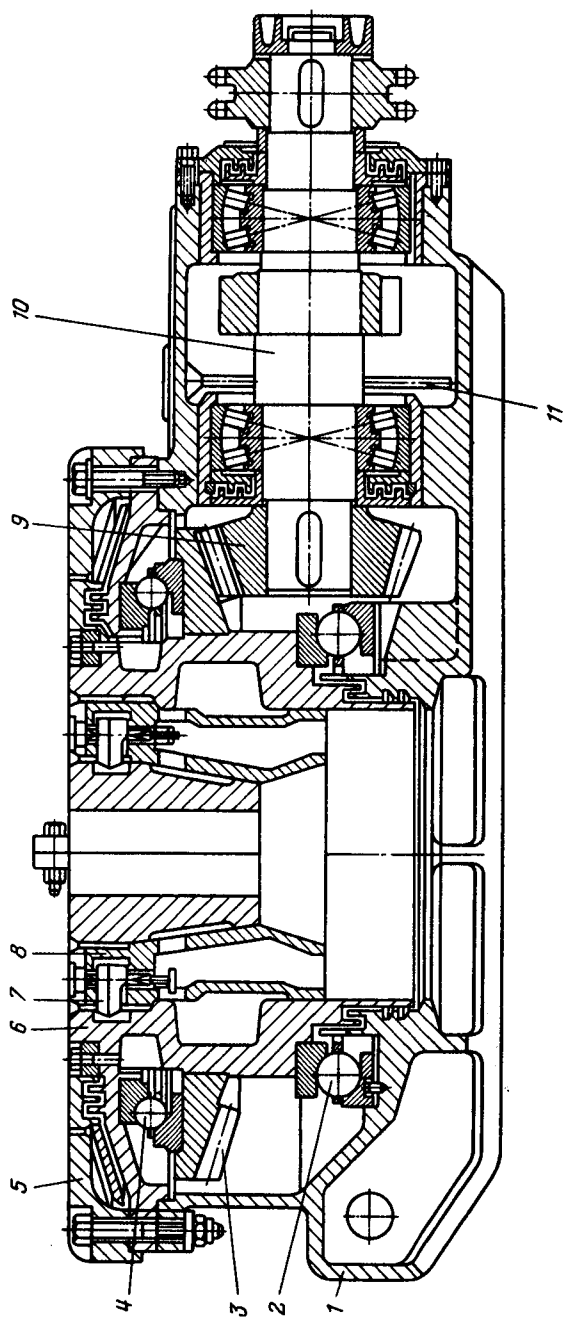


Рис. 4.9. Ротор установки глубокого бурения

осевой нагрузки на забой, а также для спуска обсадных колонн. В состав его входят буровая лебедка, вышка и талевая система.

Лебедка обеспечивает передачу усилия при спуске и подъеме бурильных и обсадных колонн. Наиболее часто применяется трехвальная лебедка, состоящая из трансмиссионного, промежуточного и подъемного валов. Трансмиссионный вал получает вращение от двигателя с помощью цепной передачи. Через звездочки с помощью кулачковых муфт промежуточный вал может получать поочередно несколько частот вращения, которые передаются на подъемный вал с помощью пневматической муфты. Последняя позволяет плавно включать и выключать барабан лебедки, на котором закреплен конец талевого каната. Полное торможение подъемного барабана осуществляется ленточным тормозом, а стабилизация скорости спуска инструмента и уменьшение тормозного усилия — с помощью вспомогательных гидравлических и электромагнитных тормозов.

Буровые вышки (мачты) предназначены для монтажа талевой системы, спуска и подъема бурильных и обсадных труб, удержания бурового снаряда на весу в процессе бурения, а также размещения бурильных свечей при подъеме. Основное отличие вышек от мачт заключается в том, что в вышке талевая система размещена внутри контура конструкций, образующих вышку, а в мачте она полностью или частично вынесена за контуры этих конструкций.

При бурении глубоких скважин в основном используют А-образные мачты и вышки башенного типа. А-образные мачты (рис. 4.10) представляют собой металлическую конструкцию, состоящую из двух ног и двух подкосов 12. Каждая нога представляет собой пространственную ферму, собранную из стального проката. В нижней части ноги крепятся в опорах 13 вышечного основания, а вверху соединяются между собой стяжками 5 и подкронблочной рамой 4, на которой устанавливается кронблок 3 (неподвижный блок) талевой системы. Устойчивость мачты обеспечивается подкосами и четырьмя канатными растяжками 11. Для предохранения случайного падения свечей мачта оборудуется предохранительными поясами 9 и 10, для работы верхового рабочего — балконом 7 с люлькой 6. Верховой рабочий устанавливает в подсвечник 1 бурильные свечи при подъеме и подает их при спуске. Мачты оснащены лестницами 2 и 6.

А-образные мачты имеют ряд преимуществ: лучшая транспортability, быстрый монтаж и демонтаж, удобство при работе на полу буровой.

Вышка башенного типа, нижняя часть которой показана на рис. 4.1, имеет форму четырехгранной усеченной пирамиды. Четыре ноги (опоры), образуемые гранями вышки, часто выполняются из бурильных труб с толщиной стенок 10–11 мм. Грани вышки разделены горизонтальными поясами на панели. Для жесткости конструкции панели оборудуются раскосами и диагоналями. Вышка имеет балкон и маршевые лестницы с перилами. На верхнем основании вышки устанавливаются

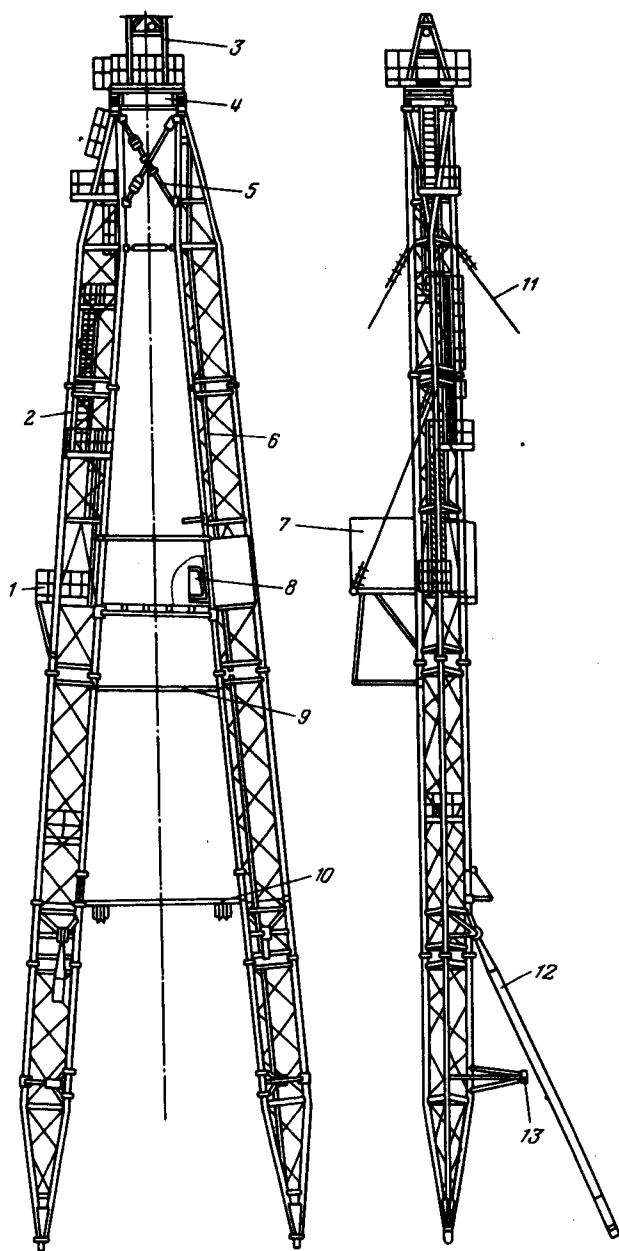


Рис. 4.10. А-образная секционная мачта

козлы для монтажа кронблока талевой системы. Высота вышек зависит от глубины скважины и достигает 60 м.

Монтаж башенных вышек осуществляется методом сверху вниз при помощи подъемника Кершенбаума. Этот метод заключается в последовательной сборке и подъеме с помощью специального оборудования и монтажа секций вышки, начиная с верхней ее части.

А-образные мачты монтируют в горизонтальном положении на земле и поднимают с помощью стрелы и буровой лебедки.

В соответствии с правилами техники безопасности для предотвращения разрушения вышки и мачты необходимо тщательно осматривать каждый раз до начала буровых работ, после спуска тяжелых обсадных колонн, при ликвидации аварий, а также после сильных ветров (при скорости ветра 15–20 м/с).

Талевая (полиспастовая) система буровых установок предназначена для преобразования вращательного движения барабана лебедки в вертикальное перемещение крюка с подвешенным на нем буровым снарядом, а также для уменьшения нагрузки на ветви каната. Основной элемент талевой системы – талевый канат, один конец которого закреплен на барабане лебедки, а второй, огибая шкивы неподвижного кронблока и подвижного талевого блока, закрепляется чаще всего за основание вышки (рис. 4.11).

В обозначение талевой системы входят числа подвижных шкивов талевого блока и неподвижных шкивов кронблока. Например, схема талевой системы, приведенная на рис. 4.11, обозначается 1х2.

Стальные канаты талевой системы должны иметь высокую механическую прочность и гибкость, так как они испытывают большие растягивающие и изгибающие напряжения. Обычно используются шестипрядные канаты (рис. 4.12), которые изготавливают при двойном свивании проволок в пряди и прядей в канат. Пряди свивают вокруг органического или стального сердечника. Проволоки в пряди могут иметь одностороннее направление свивки или двустороннее. В первом случае получается канат правой или левой свивки, во втором – крестовой. В талевых системах установок вращательного бурения используются канаты крестовой правой свивки, так как они меньше раскручиваются под действием нагрузки.

Для установок вращательного бурения талевые канаты выбирают по разрывному усилию R_K , которое должно быть не ниже рассчитанного по формуле:

$$R_K \geq \frac{N \lambda \eta_{\Pi}}{v_{\min}}, \quad (4.2)$$

где N – номинальная мощность двигателя, Вт; λ – коэффициент кратковременной перегрузки двигателя; для электродвигателя $\lambda = 1,8 \div 2,2$, для ДВС $\lambda = 1,1$; $\eta_{\Pi} = 0,8 \div 0,85$ – к.п.д. передачи от двигателя до барабана лебедки; $v_{\min}$ – минимальная скорость наводки каната на барабан лебедки (с учетом применения талевой системы).

Рис. 4.11. Талевая система с закреплением конца каната за основание буровой вышки:

1 — ходовая ветвь каната; 2 — талевый блок; 3 — крюк; 4 — барабан лебедки; 5 — индикатор веса; 6 — неподвижный конец каната; 7 — рабочие ветви каната; 8 — шкивы кронблока

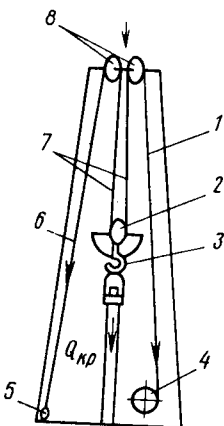
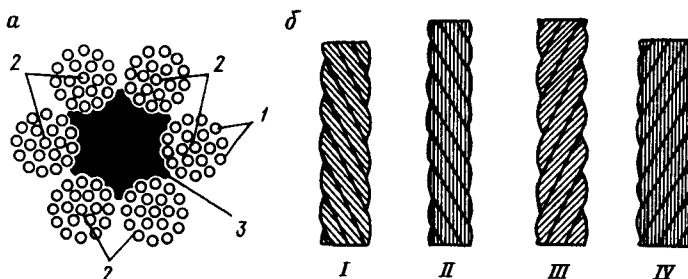


Рис. 4.12. Стальные канаты:

a — поперечное сечение каната, 1 — проволоки, 2 — пряди, 3 — органический сердечник; *б* — характер и направление свивки каната, I — канат левой свивки, II — канат левой крестовой свивки, III — канат прямой правой свивки, IV — канат крестовой правой свивки



Для нормальной эксплуатации каната необходимы его периодическая смазка, упорядоченная навивка на барабан лебедки, плавность торможения и разгона барабана. Запрещается эксплуатация канатов хотя бы с одной оборванной или вдавленной в результате обрыва сердечника прядью. При числе оборванных проволок более 5 % на длине шага свивки каната диаметром до 20 мм и более 10 % порванных проволок при большем диаметре канаты запрещается эксплуатировать. Замене подлежат также сплюснутые и вытянутые канаты, если их минимальный диаметр составляет менее 0,9 первоначального.

В состав талевой системы, кроме каната, входят кронблоки, талевые блоки, буровые крюки, штропы.

К р о н б л о к представляет собой раму, на которой смонтированы оси и подшипниковые опоры со шкивами, закрытые кожухом.

Т а л е в ы й б л о к — сварной корпус, внутри которого смонтированы оси и подшипниковые опоры со шкивами. К нижней части боковых щек корпуса прикреплен серья, к которой подвешивается крюк.

Б у р о в ы е к р ю к и служат для подвешивания при помощи штропов и элеватора бурильных и обсадных колонн при проведении СПО. В процессе бурения колонна подвешивается на крюке с помощью верт-

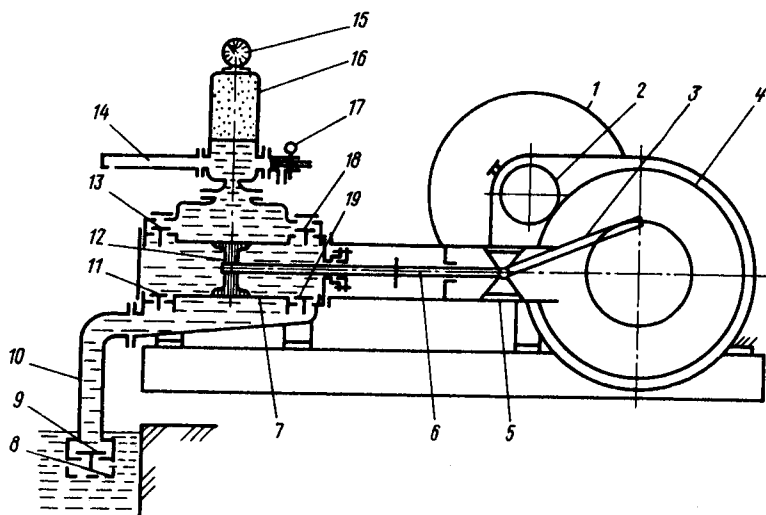


Рис. 4.13. Схема поршневого насоса

люга. Штропы соединяют буровой крюк с элеватором. Штроп — это звено цепи, вытянутое вдоль вертикали, грузоподъемность их составляет 25–300 т.

Буровые насосы предназначены для подачи под давлением промывочной жидкости в скважину. При бурении используются поршневые насосы или их разновидность — плунжерные.

Поршневые насосы двойного действия с горизонтальным расположением осей цилиндров и передачей возвратно-поступательного перемещения поршня через шкив 1, зубчатые колеса 2, 4 и кривошипно-шатунный механизм 3 (рис. 4.13) применяются наиболее часто. Центрирование штока 6 осуществляется крейцкопфом 5. При движении поршня 12 со штоком 6 вправо в левой части цилиндра 7 создается разрежение. В результате буровой раствор, находящийся в приемном зумпфе, через фильтр 8, клапан 9 по всасывающему шлангу 10, открывая клапаны 11 и 18, поступает в левую часть цилиндра, клапаны 13 и 19 закрываются. При движении поршня от правой мертвой точки влево в результате повышения давления на жидкость всасывающий клапан 11 закрывается, а нагнетательный 13 открывается и раствор выталкивается в нагнетательный шланг 14. В это же время в правой части цилиндра происходит всасывание раствора через клапан 19, а клапан 18 закрывается. Таким образом, за один оборот кривошипа раствор всасывается и нагнетается дважды. Для уменьшения пульсаций жидкости служит воздушный колпак 16, представляющий собой резервуар, в котором воздушная подушка выполняет роль амортизатора. Давление в нагнетательной линии 14 определяют по манометру 15. При чрезмер-

ном повышении давления в нагнетательной линии срабатывает предохранительный клапан 17.

Плунжерные насосы являются разновидностью поршневых и применяются в основном при колонковом бурении. Их конструктивное отличие — выполнение поршня в виде плунжера (поршень, у которого длина больше диаметра), имеющего внешнее сальниковое уплотнение. Плунжерные насосы за один оборот кривошипа всасывают и нагнетают жидкость один раз, являясь насосами простого действия.

Для сглаживания неравномерности подачи промывочной жидкости наиболее часто применяют двухцилиндровые насосы двойного действия и трехплунжерные насосы с горизонтальным расположением цилиндров.

Подача поршневого насоса двойного действия

$$Q_{\text{ж}} = (2F - f)S n z \quad \eta_0/60; \quad (4.3)$$

подача плунжерного насоса

$$Q_{\text{ж}} = F S n z \quad \eta_0/60. \quad (4.4)$$

Здесь $Q_{\text{ж}}$ — подача насоса, л/с; F — площадь, определяемая по внутреннему диаметру цилиндрической втулки, дм^2 ; $S=2R$ — ход поршня или плунжера, дм ; R — радиус вращения кривошипа, дм ; n — частота вращения кривошипа, об/мин ; z — число цилиндров; f — площадь поперечного сечения штока, дм^2 ; $\eta_0=0,85 \div 0,95$ — объемный к.п.д. насоса, учитывающий утечки жидкости, наличие в ней газа и инерцию срабатывания клапанов.

Для регулирования расхода жидкости, нагнетаемой в бурильную колонну, широко применяется метод изменения частоты вращения кривошипа (коренной вал насоса) при помощи коробки передач или путем замены цилиндрических втулок, имеющих разные внутренние диаметры. Расход жидкости часто регулируется путем сброса части ее на слив в приемный зумпф.

В установках глубокого бурения применяются поршневые насосы марок У8-4, У8-5М, Б14-200, БРН-1 и другие, имеющие подачу 15–50 л/с при давлении нагнетания 10–32 МПа. В установках неглубокого роторного бурения используются поршневые насосы с меньшими параметрами.

Основные параметры буровых насосов

Марка насоса	11ГР1	НБ12-63-40	9МГР
Максимальная подача, л/с	7	12,25	15,8
Максимальное давление, МПа	6,3	6,3	12,5
Приводная мощность, кВт	65	65	142

От буровых насосов промывочная жидкость по нагнетательной линии поступает в буровой шланг и далее через вертлюг в бурильную колонну. В состав нагнетательной линии входят компенсатор (воздуш-

ный колпак насоса), нагнетательный трубопровод и задвижки. Нагнетательный трубопровод состоит из горизонтального и вертикального участков. На горизонтальном участке монтируют патрубки для присоединения к насосам, магистральную и пусковую задвижки, патрубки для манометра и расходомера и обвязки противовыбросового оборудования.

Вертикальный участок трубопровода, называемый стояком, в верхней части имеет фланец для соединения с буровым шлангом, а в нижней — патрубок с задвижкой для соединения с горизонтальным участком нагнетательной линии. Задвижка представляет собой дроссельно-запорное устройство для регулирования расхода промывочной жидкости. Для предотвращения разрыва напорной линии при превышении величины допустимого давления каждый насос оборудуется предохранительным клапаном.

Компрессоры предназначены для производства сжатого воздуха для системы пневматического управления лебедкой, расходом промывочной жидкости и средствами механизации спуско-подъемных операций. Обычно установки комплектуются стационарными компрессорными станциями производительностью 5–15 м³/мин, имеющими рабочее давление 0,7–0,8 МПа. При бурении скважин с продувкой требуемое количество сжатого воздуха возрастает, что вызывает соответствующее усиление компрессорной группы.

Система приготовления и очистки промывочных жидкостей входит в комплект установки. Система состоит из желоба, гидроциклонных установок, вибросита, дегазаторов, блоков для приготовления растворов, хранения глинопопорошка и химических реагентов.

Привод буровых установок в зависимости от вида применяемой энергии делится на дизельный и электрический. Установки глубокого бурения имеют главный привод для лебедки, ротора и насосов и дополнительный для компрессоров оборудования для приготовления и очистки промывочных жидкостей и других вспомогательных работ. Основное преимущество дизельного привода — автономность, т.е. независимость от внешних источников энергии. Поэтому он применяется в установках разведочного бурения, а электрический — на установках эксплуатационного бурения.

Основания буровых установок представляют собой стальные металлоконструкции, под которые сооружают фундамент из брусьев или железобетонных плит. В некоторых случаях фундаментом являются сани, выполненные из отработанных бурильных труб. При блочном методе монтажа буровая установка перевозится крупными или мелкими блоками автомобильным, железнодорожным или воздушным транспортом.

При бурении скважин на море применяют крупноблочные морские основания с постоянной опорой на морское дно, плавучие погружные и полупогружные платформы с опорой на дно в период бурения, заякоренные буровые суда, плавучие буровые основания с динамической стабилизацией относительно оси скважины.

Устройство установки БУ-80БрД можно рассмотреть в качестве примера. Установка состоит из А-образной вышки, лебедки с гидродинамическим тормозом, коробки передач, ротора с клиновыми захватами для подвешивания труб, талевой системы, вертлюга, силовых агрегатов СА-450 с турботрансформаторами, цепного редуктора, позволяющего использовать мощность для суммарной или раздельной работы приводных механизмов, буровых насосов БРН-1, комплекса машин и механизмов для приготовления и очистки промывочной жидкости, пневматической системы управления, которая включает два компрессора и установку для осушения воздуха. Все оборудование смонтировано на сборных блочных основаниях.

Комплект оборудования включает котельную установку ПКН-1, топливную или масляную емкости и две дизель-генераторные установки мощностью 100 кВт. Для механизации спуско-подъемных и вспомогательных операций установка снабжена автоматическим буровым ключом АКБ-3М, пневматическим клиновым захватом, пневматическим раскрепителем бурильных труб, вспомогательной лебедкой и консольно-поворотным краном для подтаскивания тяжестей.

Техническая характеристика БУ-80БрД

Номинальная грузоподъемность, т.	80
Рекомендуемая глубина бурения с применением бурильных	
114-мм труб, м.	2800
Тип мачты.	А-образная
Высота мачты, м.	42
Проходное отверстие стола ротора, мм.	560
Частота вращения стола ротора, об/мин	20–100
Максимальное натяжение талевого каната, кН	200
Оснастка талевой системы.	4x5
Подача (суммарная) двух буровых насосов БРН-1, л/с.	68,4
Максимальное давление, развиваемое буровыми насосами БРН-1, МПа	20

Установки роторного бурения грузоподъемностью до 50 т

В эту группу входят установки, применяющиеся для поискового бурения на нефть и газ и сооружения скважин на воду. Меньшие грузоподъемность и глубина бурения позволяют создавать более транспортабельные установки с размещением бурового оборудования на автомобилях, тракторах, прицепах, тележках.

В качестве примера рассмотрим устройство установки 1БА-15В (рис. 4.14), широко применяемой для бурения скважин на воду. Установка состоит из бурового и компрессорно-силового блоков, двухосного прицепа для перевозки бурового инструмента, а также может комплектоваться насосно-силовым блоком.

Буровой блок состоит из коробки отбора мощности 3, коробки передач 6, лебедки 7, ротора 17, бурового насоса 5, мачты 16 с кронблоком 12, талевым блоком 13 и вертлюгом 14, а также с гидравлически-

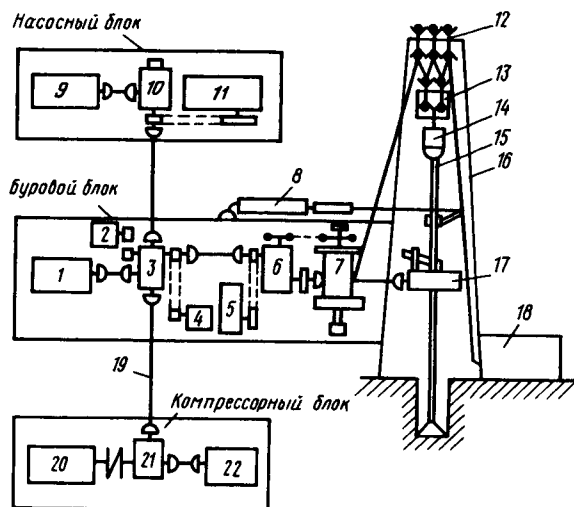


Рис. 4.14. Состав и схема размещения установки 1БА-15В

ми домкратами для ее опускания и подъема, компрессора 2 и воздухо-сборника пневматической системы, пультов управления и мостков 18. Перечисленное оборудование смонтировано на шасси автомашины МАЗ-500 1.

В комплект бурового блока входит глиномешалка вместимостью 0,75 м³. Передача мощности от ходового двигателя 1 автомобиля с коробкой передач осуществляется через карданный вал на коробку отбора мощности 3, а от нее всем механизмам бурового блока: компрессору пневмосистемы 2, генератору 4, а через карданные валы и коробку передач 6 — лебедке 7, ротору 17 и насосу 5. Привод механизмов бурового блока может осуществляться также от двигателя 20 компрессорно-силового блока через угловой редуктор 21 и карданный вал 19.

Управление ротором, лебедкой, буровым насосом — пневматическое. Надежность управления обеспечивается дублированием пневмоуправления соответствующими рычагами, расположенными на посту бурильщика.

Установка 1БА-15В оснащена рядом устройств и механизмов, повышающих безопасность и культуру труда: механизмом для развинчивания ротором бурильных труб; гидрораскрепителем 8 для сильно затянутых бурильных замков, утяжеленных бурильных и обсадных труб; приспособлением для выноса ведущей трубы 15 и для продувки воздухом нагнетательной линии насоса; противозатаскивателем талевого блока 13. На мачте смонтирована стрела с талью грузоподъемностью 1,2 т. Для работы в ночное время предусмотрена система освещения, работающая от генератора или аккумуляторных батарей автомобиля.

Для бурения шурфа под направляющую трубу и отстойники установка оснащается шнековым забурником с лопастным долотом. Осевая нагрузка на забурник создается с помощью специального гидродомкрата, приводимого в действие от гидросистемы, а крутящий момент пере-

дается от ротора установки. Устройство позволяет проходить шурфы диаметром до 1200 мм на глубину 2,5 м.

Для регулирования осевой нагрузки на забой предусмотрена регистрация натяжения неподвижного конца талевого каната с помощью гидравлического датчика давления. Последний трубопроводами соединяется с указателем давления и самопишущим манометром.

Мачта установки 1БА-15В – трехсекционная сварная, оснащена съемным трехроликовым кронблоком 12. Поднимается и опускается она с помощью двух гидродомкратов. Для устойчивости во время работы и предотвращения опрокидывания ветром мачта раскрепляется растяжными канатами.

Компрессорно-силовой блок (рис. 4.14) служит для проведения откачек воды при сооружении скважин для водоснабжения. Двигатель 20 блока может быть использован также для привода механизмов бурового блока в случае выхода из строя ходового двигателя автомобиля. Блок содержит приводной двигатель (дизель Д-108), угловой редуктор 21, компрессор К-9М 22 производительностью 9 м³/мин воздуха при рабочем давлении 0,6 МПа. Угловой редуктор служит для передачи вращения от двигателя компрессора механизмам бурового блока.

Насосно-силовой блок (рис. 4.14) предназначен для промывки скважин. Он применяется в случае, когда насос бурового блока не обеспечивает подачу необходимого количества промывочной жидкости в скважину. Такая ситуация часто возникает при бурении скважины большого диаметра или проходке пород с высокой скоростью. Насосно-силовой блок состоит из приводного двигателя (дизель ЯМЗ-236) 9, углового редуктора 10 и бурового насоса 9МГр 11, смонтированных на автоприцепе..

Установка 1БА-15В входит составной частью в комплекс самоходного оборудования БА-15. Помимо установки 1БА-15В, в его состав входят еще две установки: 1БА-15Н и УРБ-3А2. В зависимости от целевого назначения скважины и особенностей технологии бурения буровой блок дополняется насосным или компрессорно-силовым и соответствующими приспособлениями.

§ 6. ТЕХНОЛОГИЯ РОТОРНОГО БУРЕНИЯ С ПРЯМОЙ ПРОМЫВКОЙ И ПРОДУВКОЙ

Подготовительные работы перед бурением заключаются в разработке соответствующей документации и монтаже бурового оборудования. Забуривание скважины начинается с установки в предварительно пройденный шурф направляющей трубы длиной 2–3 м с последующим бетонированием затрубного пространства. При проходке шурфа в мягких породах целесообразно использовать шнековые забурники, в твердых породах – буровзрывные работы.

Типоразмер долота выбирают в соответствии со свойствами разбуриваемых пород и диаметром скважины. При бурении мягких пород

Техническая характеристика установок роторного бурения грузоподъемностью до 50 т

Тип установки	УРБ-3АМ	1БА-15В	1БА-15Н	УРБ-3А2	УБВ-600
Глубина бурения в м трубами диаметром, мм:					
73 и 89	300	500	—	—	—
60,3	500	—	1000	800	—
114	—	—	—	—	600
Диаметр скважины, мм:					
начальный	346	394	243	243	490
конечный	146	190	93	93	214
Диаметр проходного отверстия ротора, мм	250	410	250	250	410
Частота вращения стола ротора, об/мин	314, 110	65, 130	80, 160,	80, 160	105, 183
	190	245	300	300	
Номинальная грузоподъемность, т	8	12,5	12,5	12,5	50
Высота мачты, м	16	18,4	18,4	18,4	22,4
Натяжение каната при максимальной нагрузке, кН	30	52	52	52	73
Скорость подъема крюка, м/с	0,54; 0,94; 1,56	0,2—1,4	0,2—1,4	0,4—1; 1,48 или 0,2—1,4	0,18—1,2
Максимальная подача насоса, л/с	5	6; 5 или 14,4	14,4	6,5	32 (два насоса 9МГр)
Максимальное давление насоса, МПа	6,3	6,3 или 13	13	6,3	4,5—10
Силовой привод:					
бурового блока	Дизель Д-54А (40 кВт)	Ходовой двигатель автомобиля ЯМЗ-236 (77 кВт)			ЯМЗ-238 (110 кВт)
насосного блока		Дизель ЯМЗ-236 (77 кВт)			ЯМЗ-238 (110 кВт)
компрессорно-силового блока		Дизель Д-108 (79,4 кВт)			—

I—III категорий по буримости наиболее целесообразно применять трехлопастные долота. Эффект разрушения забоя возрастает в 2—3 раза, а проходка на долото на 50 % при оснащении долота гидромониторными насадками. Однако при использовании последних предъявляются повышенные требования к буровым насосам. Для бурения пород средней твердости успешно применяют многолопастные долота истирающе-режущего действия ИР и ИРГ. Шарошечными долотами бурят в любых породах, однако наиболее эффективны они в твердых и крепких породах. Алмазные долота обладают высокой стойкостью, поэтому их рекомендуется применять при бурении глубоких скважин в монолитных и слабобрешиноватых породах средней и высокой крепости и малой абразивности.

При выборе наиболее рационального типа долота определяющими критериями являются технико-экономические показатели: проходка на долото, рейсовая и техническая скорости бурения, стоимость 1 м скважины. Предварительный выбор осуществляется по материалам анализа физико-механических свойств пород, а также опыта отработки долот в аналогичных условиях. Затем предварительный выбор корректируется с учетом анализа результатов бурения на проектируемой площади.

Осевая нагрузка P (в кН) на долото при бурении пород с недостаточными изученными свойствами ориентировочно определяется по формуле:

$$P = p_0 D_d, \quad (4.5)$$

где p_0 — удельная нагрузка на 1 см диаметра долота, зависящая от его типа и твердости пород (табл. 4.1); D_d — диаметр долота, см.

Таблица 4.1

Рекомендуемая удельная нагрузка p_0 в кН/см в зависимости от типа долота

Тип долота	Группа пород по твердости				
	мягкие	средние	твердые	крепкие	очень крепкие
	Категория пород по буримости				
	I—II	III—IV	V:VI	VII—VIII	IX—XII
Истирающе-режущее	—	2—6	5—8	—	—
Лопастное	1—4	—	—	—	—
Алмазное	—	2—4	4—6	—	—
Шарошечное	2—5	3—8	7—10	8—15	9—20

С целью обеспечения прочности долота осевая нагрузка P не должна превышать допустимой. Нагрузка P создается колонной УБТ, длина

которой определяется из выражения:

$$L_{\text{убт}} = \frac{kP}{gq(1 - \rho_{\text{ж}}/\rho_{\text{ст}})}, \quad (4.6)$$

где $k=1,3\div 1,4$ — коэффициент увеличения длины УБТ для дополнительного растяжения бурильных труб; g — ускорение свободного падения, м/с^2 ; q — масса 1 м УБТ, кг; $\rho_{\text{ж}}$ и $\rho_{\text{ст}}$ — плотность соответственно промывочной жидкости и материала бурильных труб, кг/м^3 (для стали $\rho_{\text{ст}}=7850 \text{ кг/м}^3$).

Мягкие и средней твердости породы бурят при постоянной в течение рейса осевой нагрузке, твердые и крепкие породы — при постепенном повышении нагрузки до максимально допустимого значения. Увеличение нагрузки связано с затуплением вооружения долота и необходимостью обеспечить объемный характер разрушения породы. В начале рейса долото прирабатывается на забое в течение 10–15 мин при пониженной нагрузке, затем ее величина постепенно повышается до расчетной. В трещиноватых породах осевая нагрузка снижается, так как возникающие ударные нагрузки могут вызвать поломку долота.

Частоту вращения долота n (в об/мин) ориентировочно можно найти по формуле:

$$n = 60v_{\text{окр}}/(\pi D_{\text{д}}) \quad (4.7)$$

($v_{\text{окр}}=0,4\div 0,8$ — рекомендуемая окружная скорость вращения долота, м/с).

Расход промывочной жидкости (в л/с)

$$Q = v_{\text{вп}} \frac{\pi}{4} (D_{\text{д}}^2 - d^2), \quad (4.8)$$

где $v_{\text{вп}}$ — скорость восходящего потока промывочной жидкости, дм/с ; $D_{\text{д}}$, d — диаметр соответственно долота и бурильных труб, дм .

Скорость $v_{\text{вп}}$ принимается в пределах 4–12 дм/с и тем больше, чем выше скорость бурения и меньше диаметр скважины. При бурении скважин больших диаметров для уменьшения расчетной величины Q допускается снижение $v_{\text{вп}}$ до 2–3 дм/с , однако в этом случае для увеличения несущей способности раствора следует повысить его плотность и вязкость.

Параметры промывочной жидкости должны также обеспечивать создание необходимого гидростатического противодействия на вскрываемые пласты с высоким пластовым давлением с целью исключения выбросов из скважины. При вскрытии водоносных пластов превышение гидростатического противодействия $p_{\text{г}}$ по отношению к пластовому $p_{\text{пл}}$ должно составлять 0,02–0,03 МПа.

При бурении в нормальных, неосложненных условиях параметры глинистого раствора принимаются следующими: плотность 1,15–1,35 г/см^3 , водоотдача 5–10 см^3 за 30 мин, вязкость 18–22 с, содержание песка 3–4 %, стабильность 0,06 г/см^3 , напряжение сдвига: статическое 6 Па, динамическое 3–5 Па.

При бурении рыхлых, пористых и сильнотрещиноватых пород для уменьшения поглощения промывочной жидкости следует увеличивать ее вязкость и снижать водоотдачу. При вскрытии пластов, имеющих низкие пластовые давления и достаточную устойчивость стенок скважин, для уменьшения поглощений целесообразно использовать аэрированные растворы, пену или продувку воздухом.

Частота вращения долота при бурении начальных интервалов ствола скважины принимается максимально возможной для данной буровой установки. С увеличением глубины скважины частоту вращения долота снижают для того, чтобы растущие затраты мощности на вращение бурового снаряда не превысили мощности, подводимой к ротору установки. Уменьшение частоты вращения осуществляется одновременно с некоторым снижением осевой нагрузки. Однако в целом снижение параметров режима приводит к росту проходки на долото, несмотря на понижение механической скорости бурения. Объясняется это уменьшением абразивного износа вооружения долота.

Важной особенностью параметров режима роторного бурения является их взаимная независимость. Это дает возможность, назначив предварительно и зафиксировав любые два параметра, изменять третий с целью достижения максимальных величин рейсовой скорости бурения и проходки на долото. Установив оптимальное значение изменяемого параметра и не меняя одного из ранее зафиксированных, изменяют другой с той же целью и т.д. Таким образом, используя принцип независимости параметров, можно определить их оптимальные сочетания при бурении в конкретных геологических условиях.

Параметры технологического режима бурения разрабатываются для каждой разновидности пород разреза и типа применяемого долота и заносятся в геолого-технический наряд (ГТН), являющийся основным документом, которым руководствуется буровая бригада при сооружении скважины (табл. 4.2).

Роторное бурение с продувкой забоя сжатым воздухом применяется при проходке сухих устойчивых пород или при небольших водопритоках в скважину. Использование продувки позволяет повысить скорость бурения в 1,5–3 раза. Это объясняется тем, что при продувке происходит разгрузка забоя от действия силы, обусловленной гидростатическим давлением столба промывочной жидкости, в результате чего прочность породы снижается, а процесс разрушения забоя интенсифицируется.

Сжатый воздух лучше очищает забой от шлама, не происходит его переизмельчения, и шлам с высокой скоростью выносится на поверхность; повышается эффективность опробования по шламу, так как он не загрязнен промывочной жидкостью, а вследствие высокой скорости выноса легко определить интервал опробования. При бурении с продувкой отсутствует размыв, разбухание и растворение пород. При проходке многолетнемерзлых пород стенки скважины не растекаются, что предотвращает их обвалы. Упрощается организация работ, особенно в зимнее время, снижается их стоимость за счет уменьшения осложнений и аварий, связанных с поглощениями промывочной жидкости.

Таблица 4.2

Форма геолого-технического наряда при роторном бурении скважины на воду

Буровое подразделение	Тип буровой установки
Проектная глубина скважины	Тип и подача бурового насоса
Тип скважины	Тип и вместимость глиномешалки
	Размеры буровых труб
	Размеры УБТ
	Тип водоупорника и его размеры

Геолого-технический наряд

Геолого-технический наряд									
Гидрогеологическая часть					Техническая часть				
Геологический разрез и описание пород	Категория пород по буримости	Эксплуатируемые водоносный горизонт	Интервалы отбора керна, м	Глубина статического уровня воды, м	Проектный дебит скважины, л/с	Ожидаемый удельный дебит, л/с · м	Конструкция скважины	Интервалы каротаж и замера кривизны, м	Интервалы отбора шлама, м
							Вид и параметры промысловой жидкости	Реагенты для регулирования свойств жидкости	Тип и диаметры долот, мм
							Осевая нагрузка на долото, кН	Частота вращения ротора, об/мин	Расход промывочной жидкости, л/с
							Способ и интервалы цементирования, м	Конструкция фильтра	Способ вскрытия водоносного пласта
							Способ освоения водоносного пласта	Метод освоения водоносного пласта	Способ откачки, глубина загрузки насоса или смесителя эрлифта

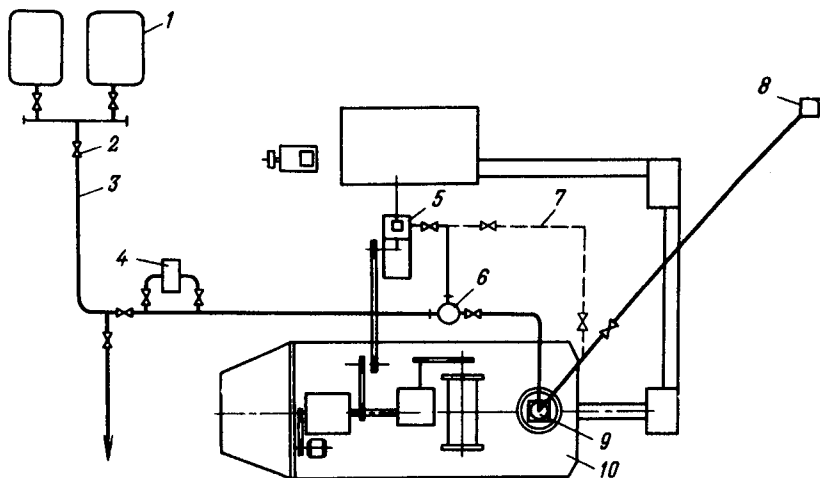


Рис. 4.15. Схема расположения оборудования при бурении с продувкой

Недостаток бурения с продувкой — невозможность его применения при проходке неустойчивых пород (гравийно-галечниковые отложения, пески, пластичные глинистые породы) и при больших водопритоках в скважину.

Схема бурения с продувкой показана на рис. 4.15. От компрессоров 1 сжатый воздух через запорный вентиль 2 поступает в трубопровод 3. Далее воздух через расходомер 4 и компенсатор 6 попадает в стояк, от которого через буровой шланг, вертлюг-сальник, ведущую бурильную трубу с герметизирующим устройством 9 и бурильную колонну поступает на забой и очищает его. Затем воздух со шламом поднимается к устью скважины и через выкидную линию выходит в шламоуловитель 8.

При необходимости перехода на бурение с промывкой глинистым или азрированным раствором предусмотрена установка бурового насоса 5, напорная линия которого 7 соединена с нагнетательной воздушной магистралью. Последняя при бурении с продувкой должна быть испытана на полуторное рабочее давление. Компрессор устанавливается на расстояниях не менее 20 м от буровой установки 10 для уменьшения шума на месте работ. Температура нагнетаемого воздуха должна быть не более 5 °С при бурении многолетнемерзлых пород во избежание их оттаивания, в остальных случаях — не выше 90 °С, чтобы исключить разрушение нагнетательных шлангов.

Основное осложнение при бурении с продувкой — сальникообразование (налипание шлама на снаряд и стенки скважины) в результате попадания влаги с нагнетаемым воздухом. Это приводит к затыкам и прихватам бурового снаряда. Для борьбы с этим осложнением применяются поверхностно-активные вещества (ПАВ) и скважинные влагоотделители. В нагнетаемый воздух добавляют 10–15 л однопроцентного

водного раствора ПАВ (ОП-10, сульфонол, ОП-7 и др.) для образования пены. Принцип скважинных влагоотделителей основан на закручивании потока воздуха. В результате возникающих центробежных сил влага отделяется и собирается в нижней части корпуса влагоотделителя, а затем удаляется.

Основной параметр технологического режима бурения с продувкой — расход нагнетаемого воздуха при соответствующем давлении. Расход воздуха определяется по формуле (4.8) с учетом того, что рациональная скорость восходящего потока составляет 20–25 м/с. При малых (до 5 л/мин) и средних (до 10 л/мин) водопритоках расход воздуха должен быть увеличен в 1,3–1,5 раза. Другие параметры режима бурения зависят от физико-механических свойств пород и конструкции породоразрушающего инструмента и определяются так же, как при бурении с промывкой.

Отечественная промышленность в настоящее время выпускает передвижные компрессоры производительностью 5–10 м³/мин воздуха при рабочем давлении 0,7–0,8 МПа, что ограничивает глубину скважин до 200–300 м. Широкое внедрение в практику буровых работ многоступенчатых компрессоров типа СД 15/25, обеспечивающих производительность воздуха 15 м³/мин при давлении 2,5 МПа, позволит значительно увеличить глубину бурения этим способом.

§ 7. РОТОРНОЕ БУРЕНИЕ С ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКОЙ

В последние годы широкое распространение получило роторное бурение на воду скважин большого диаметра (до 1000 мм и более) с обратной (всасывающей) промывкой. Схема бурения с обратной промывкой центробежным насосом приведена на рис. 4.16. Промывочная жидкость (вода, иногда глинистый раствор) из отстойника 3 самотеком поступает по кольцевому зазору между стенками скважины и бурильными трубами 2 на забой к долоту 1. Смешиваясь с буровым шламом, она образует пульпу, которая отсасывается через колонну бурильных труб, проходящую через ротор 4, вертлюг-сальник 5 и по выкидному шлангу 6 поступает в отстойник 3, где осаждается разбуренная порода. Всасывание пульпы и ее подъем на поверхность осуществляются центробежным насосом 8 через вакуумное устройство 7.

На рис. 4.16,б изображена схема бурения с обратной промывкой, осуществляемой эрлифтом 12. Принцип его действия заключается в нагнетании по шлангу 9 в кольцевой зазор двойных труб 11 сжатого воздуха, который, смешиваясь с водой и шламом, образует пульпу. Вследствие аэрации плотность пульпы уменьшается и в соответствии с законом сообщающихся сосудов она поднимается внутри бурильных труб вплоть до излива вместе с разрушенной породой через выкидной шланг 10 на поверхность.

При вскрытии водоносных пластов с промывкой водой ее уровень в скважине должен превышать статический уровень не менее чем на

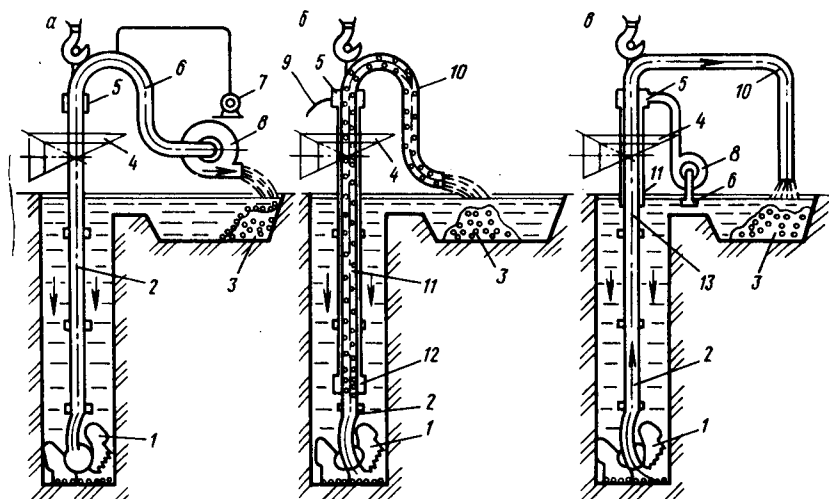


Рис. 4.16. Схема роторного бурения с обратной промывкой

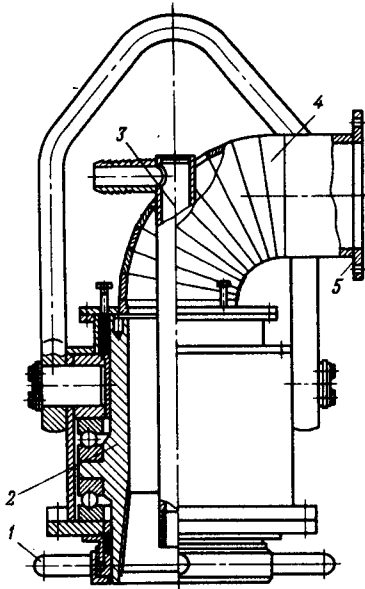
3—4 м для создания необходимого противодействия на стенки скважины. Так как часть воды поглощается породами водоносного горизонта, для поддержания ее уровня в скважине отстойник непрерывно пополняется жидкостью.

Схема бурения с обратной промывкой эжекторным (водоструйным) насосом 13 (рис. 4.16,в) аналогична схеме с обратной промывкой центробежным насосом.

Роторное бурение скважин большого диаметра с обратной промывкой применяется только при проходке мягких пород I—IV категорий по буримости с включением отдельных валунов размером до 0,4 м и при глубине скважины до 200 м. Внедрение способа при бурении более твердых пород сдерживается из-за отсутствия специальных породоразрушающих инструментов. Другим ограничением применения способа является положение статического уровня подземных вод, который должен составлять не менее 3 м от поверхности.

Вместе с тем роторное бурение с обратной (всасывающей) промывкой в указанной области его использования обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционным роторным бурением с прямой промывкой: 1) возможно бурение долотом одного диаметра без крепления стенок скважины; 2) использование воды в качестве промывочной жидкости при вскрытии водоносных пластов предотвращает их глинизацию, что увеличивает дебит в 4—8 раз по сравнению с вскрытием водоносных горизонтов с промывкой глинистым раствором; 3) увеличивается скорость бурения вследствие улучшения условий очистки забоя; 4) улучшается документация скважин по шламу, так как он не загрязнен глинистым раствором и с большой скоростью выносятся на поверхность.

Рис. 4.17. Вертлюг-сальник для бурения с обратной промывкой эрлифтом



Технологический инструмент при бурении с обратной промывкой состоит из долота, бурильных труб, ведущей трубы и вертлюга-сальника. В качестве породоразрушающего инструмента наиболее часто применяются двух-, трех- и четырехлопастные долота с опережающим забурником. Режущие кромки лопастей армируются литыми или сменными твердосплавными пластинками. Долото сопрягается с бурильной колонной с помощью фланцевого соединения.

Бурильная колонна состоит из бурильных труб диаметром 168–219 мм резьбового или фланцевого соединения. Для удобства работы применяются трубы длиной 3–4 м. При использовании для обратной промывки эрлифта внутри бурильной колонны размещаются воздухопроводные трубы, оканчивающиеся смесителем. Последний представляет собой перфорированный конец воздухопроводных труб.

Ведущая труба имеет квадратное сечение, образуемое привариванием к круглой трубе четырех уголков. Соединение ведущей и бурильных труб – фланцевое или резьбовое. При работе эрлифта сжатый воздух подается по трубопроводу, размещенному внутри ведущей трубы, или по внутреннему пространству приваренных уголков.

Вертлюг-сальник (рис. 4.17) имеет полный шпindelь 2, соединяемый фланцем 1 с вращающейся бурильной колонной и фланцем 5 с выкидным шлангом, и коленообразную головку 4, к которой присоединяется выкидной шланг. Внутри шпинделя размещается трубка 3 для подачи воздуха (при использовании эрлифта).

Вспомогательный инструмент (элеваторы, ключи и т.д.) и технология спуско-подъемных операций такие же, как при роторном бурении с прямой промывкой.

Для сооружения скважин большого диаметра с обратной промывкой используют модернизированные установки: УРБ-3АМ-ОП, 1БА15В-ОП (роторное бурение) и УГБ-3УК-ОП, УГБ-4УК-ОП (ударно-канатное бурение). Модернизация установок роторного бурения заключается в снижении минимальной частоты вращения ротора до 40–50 об/мин путем установки понижающего редуктора перед коробкой передач. Модер-

низация установок ударно-канатного бурения заключается в их оснащении роторной приставкой, позволяющей передавать крутящий момент буровому снаряду. Кроме того, установки обоих типов оснащаются оборудованием для отсоса пульпы из скважин.

Применяется также специализированная установка 1БА-15К, предназначенная для проходки скважин глубиной до 200 м при диаметре 1270 мм роторным способом с обратной промывкой (с помощью эрлифта или водоструйного насоса) и с промывкой по прямой схеме. Установка укомплектована компрессорно-силовым блоком и понижающим редуктором.

Перед началом бурения установку монтируют. На расстоянии 5–7 м от нее роют отстойник, объем которого в 3–4 раза превышает объем скважины. Над точкой забуривания роют шурф глубиной 1–1,5 м. Устье скважины соединяют с отстойником деревянным коробом или трубой. При откачке пульпы центробежным насосом бурение с обратной промывкой начинается сразу после проходки шурфа.

Эффективное использование эрлифта начинается при глубине скважины 7–8 м. Указанное углубление осуществляется шнековым забурником при условии, если у поверхности залегают глины, суглинки или необводненные пески. В обводненных песках, валунно-галечниковых отложениях забуривание ведется долотом с промывкой глинистым раствором. После установки направляющей трубы и ее бетонирования переходят на бурение с обратной элифтной промывкой.

Осевую нагрузку на долото рассчитывают, исходя из нагрузки $P_0 = 0,5 \div 1$ кН/см. В начальный период углубления скважины вследствие небольшого веса бурового снаряда реальная осевая нагрузка не достигает расчетной величины. С углублением забоя ее доводят до требуемого значения. Бурят при небольшой частоте вращения бурового снаряда. При проходке песчано-глинистых отложений частота вращения принимается 35–40 об/мин, при бурении валунно-галечниковых отложений и глин большой мощности она снижается до 10–15 об/мин.

Расход промывочной жидкости составляет 15–55 л/с, причем верхний предел рекомендуется для бурильных труб диаметром 200 мм, нижний — для труб диаметром 100 мм. При таких расходах скорость движения пульпы достигает 2 м/с, что обеспечивает вынос из скважины кусков породы размером до 10 см.

Концентрация шлама в откачиваемой пульпе зависит от скорости бурения, диаметра бурильных труб, расхода промывочной жидкости и изменяется в пределах 2–40 %. Самые высокие концентрации разрушенных частиц в пульпе допускаются при ее откачке эрлифтом. Поэтому его применение наиболее эффективно, так как обеспечивает высокую скорость бурения (до 25–30 м/ч), особенно при проходке гравелистых песков.

Дальнейшее совершенствование роторного бурения с обратной промывкой должно идти по пути создания специализированных буровых установок для проходки глубоких скважин (более 200 м), разработки долот для бурения скважин большого диаметра в породах выше IV категории по буримости.

Контрольные вопросы к гл. 4

1. Сущность и область применения роторного бурения.
2. Какие существуют типы породоразрушающих инструментов для бескернового бурения? Укажите область их рационального применения.
3. Наиболее рациональный тип долота для бурения скважины диаметром 190 мм в породах III категории по буримости.
4. Назначение и принцип действия лопастных и гидротурбинных расширителей.
5. Состав бурового снаряда при роторном бурении, назначение его отдельных элементов.
6. Схема и область применения роторного бурения с обратной (всасывающей) промывкой.

Глава 5

КОЛОНКОВОЕ БУРЕНИЕ

§ 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

Вращательное колонковое бурение широко используется при поисках и разведке твердых полезных ископаемых, гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. Основное преимущество колонкового бурения перед другими разновидностями вращательного способа заключается в возможности получения керна по всей глубине скважины, что позволяет определять геологический разрез проходимых пород, их физико-механические свойства, минеральный состав, содержание полезного компонента и др.

Для колонкового способа характерны небольшие диаметры (наиболее часто 46, 59, 76 и 93 мм). Это дает возможность применять относительно легкое буровое оборудование, которое обеспечивает проходку скважин на большую глубину. Колонковый способ эффективен также при бурении инженерно-геологических и гидрогеологических скважин большого диаметра (до 1000–1500 мм).

Схема вращательного колонкового бурения принципиально не отличается от схемы роторного бурения. В состав установки колонкового бурения входят следующие узлы (рис. 5.1): буровой станок 19 с двигателем 18, насос 12 с двигателем 14, вышка (мачта) 7 с талевым блоком 9 и кронблоком 6, циркуляционная система (всасывающий шланг 15, приемная емкость 16, отстойник 17). Малые диаметры буримых скважин позволили также объединить в одном узле установки — буровом станке — лебедку 11 и вращатель 3.

Основное отличие установки колонкового бурения заключается в конструкции вращателя, который передает буровому снаряду не только крутящий момент, но и принудительную осевую нагрузку.

Буровой снаряд колонкового бурения (рис. 5.1) состоит из коронки 24, колонковой (керноприемной) трубы 22, переходника 21, колонны бурильных труб 20 и вертлюга 5. В качестве ведущей используется

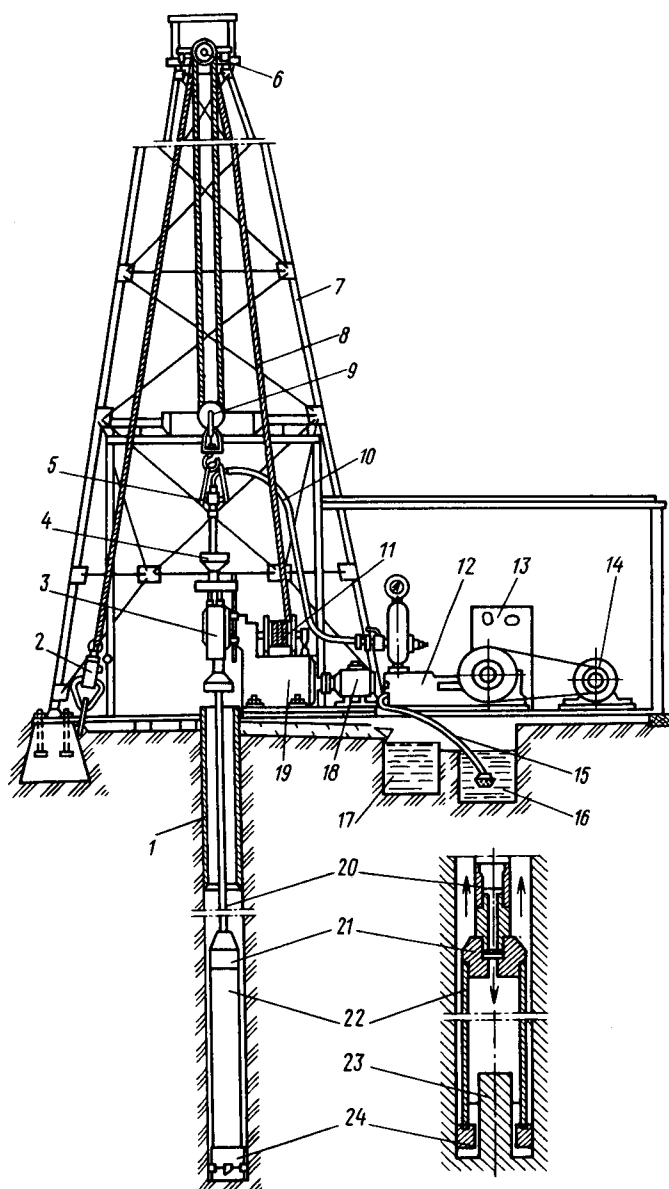


Рис. 5.1. Схема установки колонкового бурения

обычная бурильная труба кольцевого сечения, которая закрепляется в зажимных патронах 4 вращателя 3. Коронка, колонковая труба и переходник образуют колонковый набор, служащий для выбуривания кольцевого забоя, приема и хранения керна 23 в процессе бурения и удержания его при подъеме на поверхность.

Собранный буровой снаряд с помощью лебедки 11 и талевой системы опускается в скважину 1. Ведущая труба зажимается в патронах вращателя. Буровой насос 12 через нагнетательный шланг 10, вертлюг-сальник 5, бурильные трубы 20 подает на забой промывочную жидкость. С помощью вращателя и механизма подачи станка буровому снаряду передаются крутящий момент и осевая нагрузка. В результате коронка выбуривает кольцевой забой, а керн входит в колонковую трубу. В процессе бурения параметры технологического режима регулируются с помощью контрольно-измерительной аппаратуры 13. Изменение осевой нагрузки контролируется с помощью прибора, установленного на станке, или индикатором веса 2, встроенным в неподвижный конец талевого каната 8. Изменение частоты вращения снаряда осуществляется с помощью коробки передач станка, а регулирование расхода промывочной жидкости — трехходовым краном, установленным на нагнетательной линии насоса.

При наполнении колонковой трубы керном или износе коронки буровой снаряд поднимают на поверхность, предварительно керн заклинивается в колонковом наборе. Снаряд поднимают так же, как при роторном бурении (с помощью лебедки станка и талевой системы вышки). Колонна бурильных труб подвешивается над устьем скважины и развинчивается на свечи шарнирными ключами (при бурении мелких скважин) или механическим трубооборотом. Отвинченные свечи располагаются в определенном порядке в буровой вышке. После подъема снаряда и извлечения керна при необходимости заменяют коронку. Спускают инструмент в порядке, обратном подъему.

§2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

Буровые коронки — породоразрушающие инструменты кольцевой формы, предназначенные для выбуривания керна. Торец коронки оснащен рабочими элементами, непосредственно разрушающими забой. В зависимости от материала рабочих элементов различают твердосплавные и алмазные коронки.

Твердосплавные коронки наиболее распространены и применяются при бурении мягких и средней твердости пород I–VII и частично VIII категорий по буримости. Коронка (рис. 5.2) представляет собой стальной трубчатый корпус 3 с присоединительной резьбой 1 к колонковой трубе. Торец корпуса оснащен твердосплавными резцами 2 марки ВК, расположенными в определенном порядке. Внутри корпуса имеет конусную расточку для размещения кернорвателя. Для прохода промывочной жидкости на торце коронки имеются вырезы.

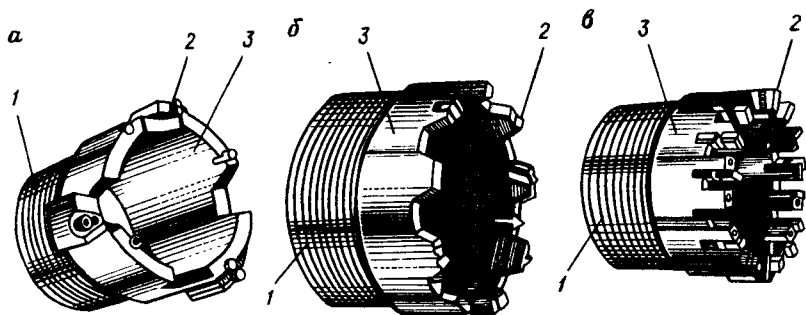


Рис. 5.2. Твердосплавные коронки

По назначению резцы коронок делятся на основные и подрезные. Основные резцы, установленные по торцу коронки, выполняют основную работу разрушения при формировании кольцевого забоя. Подрезные резцы, дополнительно устанавливаемые на наружной и внутренней поверхности корпуса, обеспечивают калибровку скважины и керна, в особенности при бурении абразивных пород. Твердосплавные коронки по назначению, форме, размерам и расположению резцов делятся на три типа: ребристые (тип М), резцовые (тип СМ) и самозатачивающиеся (тип СА).

Ребристые коронки типа М (рис. 5.2,а) применяются для бурения мягких пород I–IV категорий по буримости. Основная их конструктивная особенность – наличие ребер, приваренных к корпусу и выступающих относительно него на 10–12 мм. Увеличенный зазор между корпусом коронки и скважиной необходим для транспортирования потоком промывочной жидкости большого количества шлама, образующегося при бурении мягких пород. Коронки типа М выпускают диаметрами 93, 112, 132 и 151 мм.

Резцовые коронки типа СМ (рис. 5.2,б) предназначены для бурения малоабразивных пород средней твердости IV–VI и частично VII категорий по буримости. Они имеют гладкий корпус, торец которого вооружен призматическими резцами квадратного сечения. Выступы резцов изпод торца коронки составляют 2,5–4 мм, а в сторону скважины и керна – 1,5–3 мм. Резцовые коронки выпускают диаметрами 36, 46, 59, 76, 93, 112, 132 и 151 мм.

Самозатачивающиеся коронки типа СА (рис. 5.2,в) применяют при бурении абразивных пород VI–VIII категорий. Коронки этого типа армируют игольчатыми или тонкопластинчатыми резцами, закрепленными в опорных пластинах из мягкой стали, в свою очередь припаянными к корпусу коронки. При контакте с забоем опорные пластины изнашиваются быстрее, непрерывно обнажая резцы. Неизменность суммарной площади контакта резцов о забой обеспечивает постоянную скорость бурения в течение рейса. Коронки типа СА выпускают диаметрами от 36 до 132 мм.

Алмазные коронки применяют для бурения пород VI–XII категорий по буримости. Коронка представляет собой трубчатый корпус, к торцу которого припаяна кольцевая алмазосодержащая матрица с каналами для прохода промывочной жидкости. Для вооружения коронок используются технические алмазы зернистостью 600–10 шт/кар (1 карат=0,2 г). Примерно 60 % алмазных зерен закрепляются в торце матрицы (объемные алмазы), остальные – в ее боковых поверхностях (подрезные алмазы). В зависимости от способа расположения и размеров алмазов в матрице изготавливают однослойные, многослойные и импрегнированные алмазные коронки.

В однослойных коронках алмазы зернистостью 60–10 шт/кар располагаются в матрице одним слоем. Эти коронки предназначены для бурения монолитных малоабразивных пород VI–X категорий по буримости.

В многослойных коронках объемные алмазы зернистостью 120–60 шт/кар располагаются в матрице несколькими параллельными слоями. По мере износа алмазов первого слоя в работу вступают алмазы последующих слоев. Многослойные коронки применяют для бурения абразивных пород IX–X категорий по буримости.

Импрегнированные коронки имеют матрицу, равномерно по всему объему насыщенную алмазами зернистостью до 600 шт/кар. Коронки этого типа используют в абразивных трещиноватых породах IX–XII категорий по буримости.

Алмазный расширитель входит в конструкцию колонкового набора. Он устанавливается над коронкой и служит для сохранения диаметра скважины.

Колонковые трубы служат для приема и хранения в течение рейса выбуренного керна. Они изготавливаются из стальных бесшовных трубных заготовок и имеют с обоих торцов внутреннюю резьбу для соединения с коронкой и переходником. Длина поставляемых труб 1,5; 3; 4,5 и 6 м, наружные диаметры их 25, 33,5, 44, 57, 73, 89, 108, 127 и 146 мм при толщине стенки 4,5–6 мм.

Переходники изготавливают нескольких типов. Переходник, предназначенный для соединения колонковой трубы с бурильной колонной, представляет собой цилиндрическую заготовку, имеющую наружную резьбу для свинчивания с колонковой трубой и внутреннюю – под ниппель замкового соединения бурильной колонны. При использовании шламосборников применяется переходник, имеющий, кроме указанных резьб, наружную левую резьбу для соединения со шламовой трубой.

Кернорватель используют при бурении монолитных и малотрещиноватых пород. Он выполняется в виде разрезного кольца, которое помещается в конусной расточке коронки. В процессе бурения кернорватель расположен в верхней части расточки коронки, а при подъеме снаряда смещается вниз, заклинивая и отрывая от забоя керн.

При бурении раздробленных пород используются устройства, керноудерживающие элементы которых выполнены в виде плашек или лепест-

ков, полностью или частично перекрывающие внутреннее пространство коронки при подъеме инструмента.

Бурильные трубы применяют двух типов: муфтово-замковые и ниппельные. Бурильные трубы первого типа по конструкции в основном такие же, как при роторном бурении, и отличаются меньшими диаметрами и наличием в замковом соединении профрезерованных вырезов для подвешивания и захвата колонны специальными инструментами (подкладными и ведущими вилками) при спуско-подъемных операциях. Бурильные трубы муфтово-замкового соединения выпускают диаметрами 42, 50 и 63,5 мм и длиной от 1,5 до 6 м.

Бурильная колонна ниппельного соединения имеет одинаковый диаметр по всей длине и применяется при бурении алмазными коронками. Трубы ниппельного соединения выпускают диаметрами 33,5; 42 и 50 мм.

§ 3. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ И МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ СПУСКО-ПОДЪЕМНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Для проведения этих работ служат шарнирные ключи, подкладные вилки, труборазвороты, подъемные муфты, простые и полуавтоматические элеваторы (рис. 5.3).

Подкладная вилка (рис. 5.3,а) используется для подвешивания бурильной колонны над устьем скважины.

Труборазворот (рис. 5.3,б) устанавливается над устьем скважины. Он предназначен для механизации свинчивания и развинчивания бурильных труб. При спуско-подъемных операциях бурильная колонна проходит через центральное отверстие труборазворота и устанавливается на подкладной вилке. В прорез ниппеля замка вставляется ведущая вилка, которая при вращении водила свинчивает или развинчивает бурильную свечу.

Простой элеватор (рис. 5.3,в) надевается на верхний прорез муфты замка. Верховой рабочий должен отсоединить элеватор от верхнего конца свечи, установленной в вышке.

Полуавтоматический элеватор (рис. 5. 3,г) используется без участия верхового рабочего. Первоначально на верхний конец подвешенной колонны надевается подъемная муфта (рис. 5. 3,д), а на нее — полуавтоматический элеватор. После установки свечи в вышке сматыванием каната с барабана лебедки элеватор спускается по свече вниз под действием собственного веса.

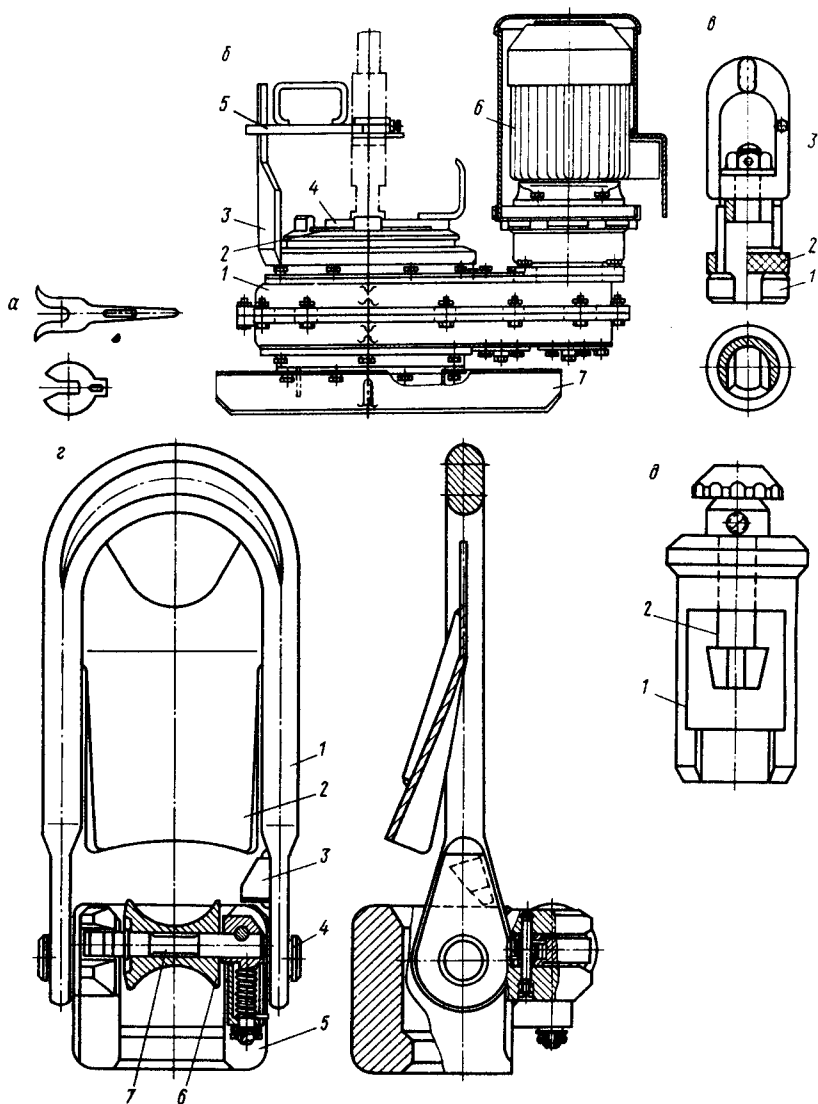


Рис. 5.3. Инструмент для проведения спуско-подъемных операций при колонковом бурении:

а – подкладные вилки; *б* – трубооборот, 1 – вращатель, 2 – центратор, 3 – водило, 4 – подкладная вилка, 5 – ведущая вилка, 6 – электродвигатель, 7 – рама; *в* – простой элеватор, 1 – корпус, 2 – подвижное кольцо, 3 – серьга; *г* – полуавтоматический элеватор, 1 – серьга, 2 – отражатель, 3 – бобышка, 4 – палец, 5 – корпус, 6 – ролик, 7 – затвор; *д* – подъемная муфта, 1 – корпус, 2 – фиксатор

§ 4. БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

В соответствии с СТ СЭВ 770—77 основным параметром установки является глубина бурения, которая определяется с учетом массы бурильных труб и максимальной грузоподъемности установки при проведении спуско-подъемных операций. Мощность привода буровых станков устанавливается из условия бурения скважин до проектной глубины с частотой вращения бурового снаряда 600 об/мин. Стандарт допускает использование различных типов привода бурового станка и предусматривает создание установок различной транспортабельности: переносных, самоходных, передвижных и стационарных. В него включены требования к оснащению буровых станков приборами контроля и управления процесса бурения, а также средствами механизации вспомогательных операций.

Требованиям указанного стандарта отвечают разработанные в СССР восемь классов установок типа УКБ (установки колонкового бурения), рассчитанных для бурения скважин глубиной от 12 до 3000 м. При разработке этих установок осуществлена широкая унификация узлов и деталей, учтены последние достижения буровой техники, технологии и направление их развития на перспективу.

Установки типа УКБ рассмотрим на примере УКБ-4П (установка колонкового бурения 4-го класса, передвижная). В состав установки входят мачта БМТ-4А и буровое здание, смонтированное на основании, представляющем металлическую конструкцию на полозьях. Внутри здания размещены буровой станок СКБ-4, насос НБЗ-120/40, трубо-разворот РТ-1200М, устройство для нанесения антивибрационной смазки на бурильную колонну, оборудование и инструмент для проведения СПО и мелких ремонтных работ. Для перемещения на значительные расстояния установка комплектуется транспортной базой ТВ-15. Основной узел установки — буровой станок СКБ-4, обеспечивающий бурение вертикальных и наклонных скважин твердосплавными и алмазными коронками.

Станок СКБ-4 (рис. 5. 4) включает: силовой привод (электродвигатель), фрикционную муфту сцепления, коробку передач, раздаточную коробку, вращатель и лебедку. Кроме того, станок оснащен гидросистемой и пультом управления. Перечисленные узлы смонтированы на основании, которое может перемещаться относительно неподвижной рамы с помощью горизонтально расположенного гидроцилиндра. Такое перемещение необходимо для освобождения устья скважины при спуско-подъемных операциях.

Электродвигатель 1 с помощью трансмиссии, состоящей из коробки передач и раздаточной коробки, передает мощность на лебедку и вращатель. Трансмиссия соединяется с электродвигателем с помощью односторонней фрикционной муфты сцепления 2, которая находится на валу I.

Коробка передач представляет собой чугунный литой корпус, в котором на подшипниках установлены валы II, III, IV и V. На первичном валу II неподвижно закреплена шестерня 16, находящаяся в постоянном за-

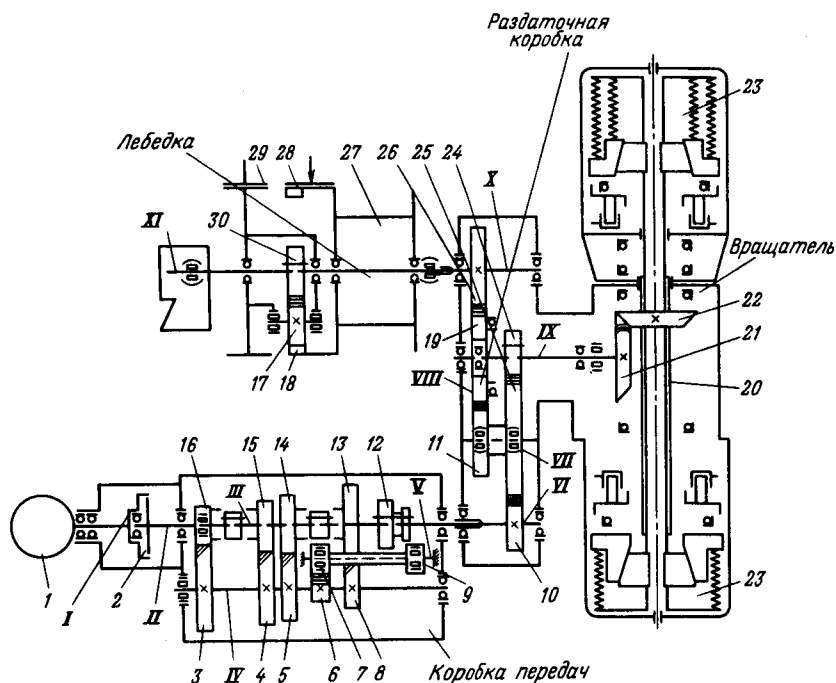


Рис. 5.4. Кинематическая схема бурового станка СКБ-4

цеплении с зубчатым колесом 3 промежуточного вала IV. На последнем неподвижно закреплены шестерни 4, 5, 6, 8, которые могут входить в зацепление с подвижными шестернями 15, 14, 7, 13 вторичного вала коробки передач. Сочетание входящих в зацепление указанных шестерен позволяет получить четыре прямых скорости вращения, а включение передвигной шестерни 12 вторичного вала с шестерней 9 — обратную скорость. В раздаточной коробке размещены валы VI, VII, VIII, IX, X и шестерни 10, 11, 19, 24, 25, 26, которые позволяют удвоить частоту вращения.

Станок имеет лебедку планетарного типа, включающую вал XI, барабан 27, планетарную передачу (состоящую из шестерен 17, 18, 30) и тормозную систему 28, 29. Тормозной момент создается стгиванием тормозных колодок рукоятками, закрепленными на эксцентриковых валиках.

Вращатель станка шпиндельного типа (рис. 5.4) смонтирован в стальном корпусе. Поступательное перемещение шпинделю с двумя гидромеханическими зажимными патронами 23 сообщается траверсой через два упорных шарикоподшипника. Траверса в свою очередь жестко связана со штоками, оканчивающимися поршнями. Последние перемещаются в двух гидроцилиндрах, установленных в приливах кор-

пуса вращателя. К торцам гидроцилиндров приварены штуцеры для соединения с маслопроводами. Масло, поступающее в полости гидроцилиндров, заставляет перемещаться поршни со штоками, а через traversу — шпindelъ 20 с ведущей трубой. Вращение шпинделю передается через пару конических шестерен 21, 22. Станок оснащен усовершенствованной системой автоматического перехвата ведущей трубы в процессе бурения, указателем осевой нагрузки на забой, вольтметром и киловаттметром.

Мачта БМТ-4А представляет собой одностержневую трубчатую конструкцию, шарнирно соединенную с порталом. Ствол мачты — телескопический, складывающийся при переводе в транспортное положение. Она поднимается и опускается с помощью гидродомкратов. Мачта оснащена двухроликковым кронблоком, рабочей площадкой для верхового рабочего, свечеприемником и лестницей для подъема на площадку.

Насос НБ 3-120/40 — горизонтальный трехплунжерный, оснащен коробкой перемены передач, фрикционной муфтой сцепления и асинхронным электродвигателем.

Буровое здание установки представляет собой объемную металлическую конструкцию, обшитую алюминиевыми щитами с тепловой изоляцией. Для обогрева здания в зимнее время имеется электрокалорифер.

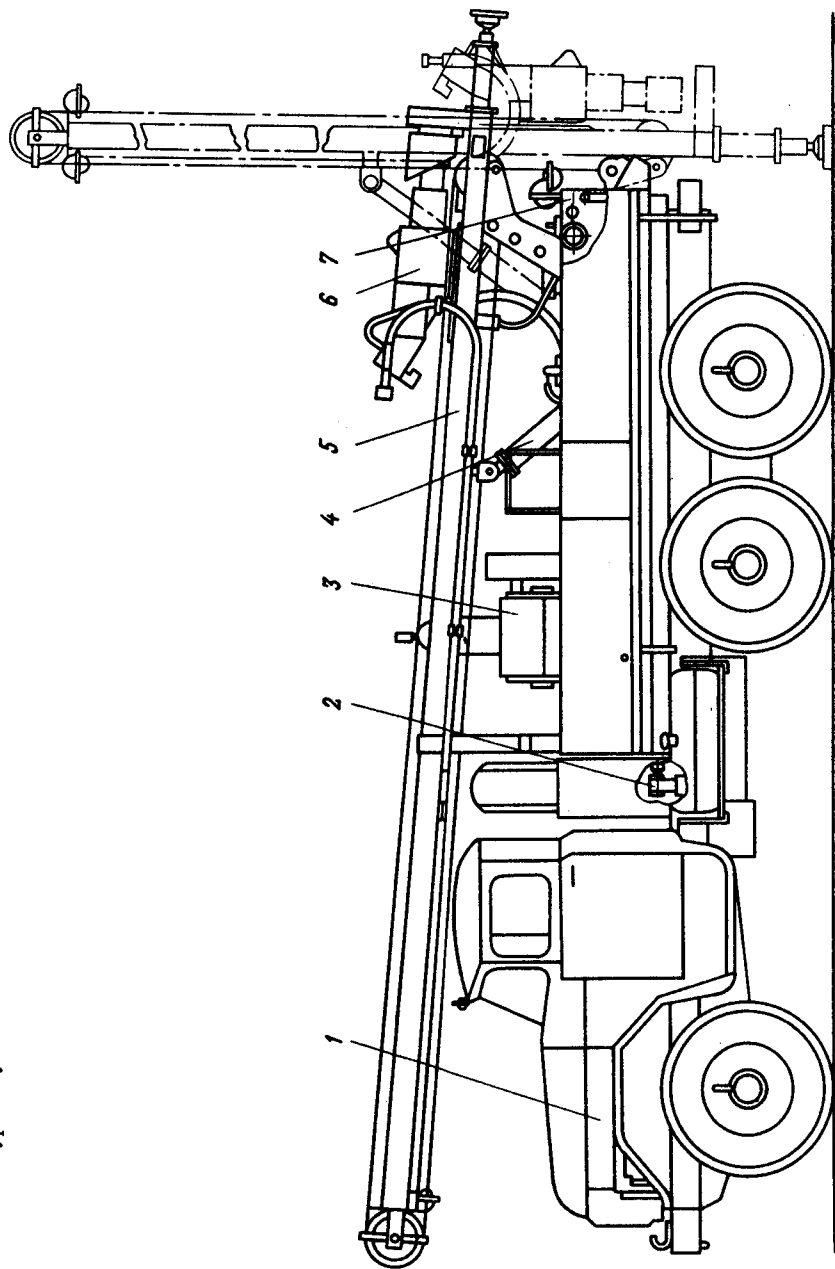
Транспортная база ТБ-15 выполнена в виде двух подкатных тележек с пневматическими шинами. При погрузке на транспортную базу установка предварительно поднимается с помощью гидродомкратов и крепится на подкатных тележках. УКБ-4П на транспортной базе буксируется тягачом, на близкие расстояния может перемещаться на полозьях основания.

Техническая характеристика УКБ-4П

Начальный диаметр скважины, мм	151
Диапазон изменения начальных углов наклона скважины, градус	60—90
Частота вращения шпинделя, об/мин	155, 280, 390, 430, 680, 710, 1100, 1615
Диаметр бурильных труб, мм.	42, 50, 54
Длина хода подачи, мм.	400
Максимальное усилие подачи, кН:	
вниз	40
вверх	60
Грузоподъемность лебедки, т.	2,5
Промывочный насос	НБ3-120/40
Рабочая высота мачты, м.	14,7
Мощность приводного электродвигателя станка, кВт.	22
Масса установки, кг	14 000

Буровые установки с подвижным вращателем, имеющим большой ход (5 м и более), позволяют исключить из их состава лебедку и осу-

Рис. 5.5. Буровая установка УРБ-2А-2



шествовать спуско-подъемные операции посредством подвижного вращателя и механизма подачи. Примером установок этого типа является самоходная буровая установка УРБ-2А-2. Она предназначена для бурения скважин с промывкой глубиной до 200 м при конечном диаметре 93 мм и до 100 м при конечном диаметре 118 мм. При бурении с продувкой и конечном диаметре 118 мм глубина скважины составляет 30 м. Установка может быть использована при шнековом бурении. Начальный диаметр скважины при бурении с промывкой – 120 мм, при бурении с продувкой и шнеками – 135.

Все механизмы установки (рис. 5.5) смонтированы на раме, установленной на шасси автомобиля ЗИЛ-131, 1, двигатель которого приводит в действие все узлы через коробку отбора мощности 2. В зависимости от применяемого способа очистки скважины от бурового шлама (промывка или продувка) установка комплектуется буровым насосом НБ2-66/40 или компрессором КТ-7 3.

Отличительная особенность установки – наличие подвижного гидрофицированного вращателя 6, перемещающегося с помощью гидроцилиндра 4, расположенного между направляющими 5 мачты, и талевой системы. Подача масла в нижнюю или верхнюю полости гидроцилиндра вызывает перемещение поршня со штоком. Это приводит к передаче усилий ветвям каната талевой системы, прикрепленным сверху и снизу к вращателю. В результате последний перемещается по направляющим мачты.

Пульт управления установкой 7 обеспечивает проведение процесса бурения и выполнение спуско-подъемных операций.

§ 5. ТЕХНОЛОГИЯ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

Скважину забуривают при пониженной осевой нагрузке и минимальной частоте вращения колонковым набором, состоящим из буровой коронки, короткой (0,5–1 м) колонковой трубы и переходника. После углубления скважины на 3–5 м устанавливают направляющую трубу с бетонированием затрубного пространства. Затем осуществляется непосредственно бурение скважины.

Бурение твердосплавными коронками

При проходке мягких пород определяющими являются расход и качество бурового раствора, так как в этом случае он дополнительно разрушает забой и не только выносит буровой шлам, но при большом расходе размывает стенки скважины. С повышением прочности и плотности пород основными параметрами становятся осевая нагрузка на коронку и частота ее вращения.

Расход промывочной жидкости вычисляется по формуле (4.8), причем скорость восходящего потока $v_{\text{вп}}$ должна быть не менее 3 дм/с

при использовании воды и 2 дм/с при применении глинистого раствора. Интервал изменения скорости $v_{\text{вп}}$ ориентировочно составляет 3–8 дм/с.

Осевая нагрузка на коронку (в кН):

$$P = qm, \quad (5.1)$$

где $q = 0,3 \div 1,5$ – нагрузка на один основной резец коронки, кН; m – число основных резцов на торце коронки.

Для коронок типов М и СМ в начале рейса устанавливается минимальная осевая нагрузка. По мере затупления резцов нагрузка постепенно увеличивается и к концу рейса доводится до максимальной.

Частота вращения коронки (в об/мин):

$$n = 120 v_0 / \pi (D_{\text{н}} + D_{\text{вн}}), \quad (5.2)$$

где $v_0 = 0,6 \div 1,5$ – рекомендуемая окружная скорость коронки, м/с; $D_{\text{н}}$ и $D_{\text{вн}}$ – наружный и внутренний диаметры коронки, м.

В трещиноватых породах величина v_0 берется минимальной для исключения сколов и поломок резцов. Снижение окружной скорости необходимо при бурении абразивных пород, так как в этих условиях повышается износ резцов и уменьшается диаметр скважины.

В начале рейса идет приработка новой коронки для исключения скола ее резцов в зауженном призабойном участке ствола или о пенек керна. С этой целью в течение 15–20 мин коронка работает при пониженной осевой нагрузке (2–2,5 кН), минимальной частоте вращения и повышенном расходе промывочной жидкости. Затем устанавливается рабочий режим.

Заклинивание керна в мягких породах осуществляется вращением без промывки. При этом способе забой углубляется на 20–30 см при повышенной осевой нагрузке без промывки. Образующийся в это время керн имеет увеличенный диаметр и является своеобразной пробкой, удерживающей ранее выбуренный керн при подъеме снаряда.

В трещиноватых скальных породах заклинивание керна часто осуществляется кусочками твердых пород, битым стеклом, кусками мягкой проволоки. Заклиненный керн отрывается от забоя кратковременным включением вращения снаряда. В монолитных породах заклинивание и срыв керна осуществляется кернорвателями.

Бурение алмазными коронками

Скважины в мягких и средней твердости породах забуривают твердосплавной, в твердых и крепких импрегнированной алмазной коронкой. Снаряд в скважину спускают плавно, без рывков для исключения разрушения матрицы алмазной коронки. После постановки новой коронки на забой она должна быть приработана в течение 15–20 мин при минимальных частоте вращения и осевой нагрузке. Основным параметром

технологического режима бурения алмазными коронками является частота вращения, которая достигает 1500 об/мин и более. Частота вращения рассчитывается по формуле (5.2).

Рекомендуемые значения окружной скорости коронки в зависимости от ее типа, категории и трещиноватости пород назначаются в пределах: $v_0 = 1,5 \div 3,5$ м/с. Частота вращения снижается при проходке сильнотрещиноватых раздробленных пород, а также пород высокой абразивности, интенсивно изнашивающих инструмент.

Осевая нагрузка P на алмазную коронку (в кН):

$$P = p_0 S, \quad (5.3)$$

где p_0 — удельная нагрузка на рабочий торец коронки, кН/см²; для однослойных коронок $p_0 = 0,6 \div 1,2$ кН/см², для импрегнированных $p_0 = 0,7 \div 1,3$ кН/см²; S — площадь рабочего торца коронки за вычетом площади промывочных каналов, см².

Осевая нагрузка увеличивается с ростом частоты вращения коронки, твердости разбуриваемых пород и крупности объемных алмазных зерен. С увеличением трещиноватости пород осевая нагрузка снижается.

Расход промывочной жидкости вычисляется по формуле (4.8). Скорость восходящего потока промывочной жидкости должна быть не менее 0,6–0,9 м/с. В качестве промывочной жидкости обычно применяют воду, в сложных условиях — эмульсионные, полимерные и малоглинистые растворы. Использование обычных глинистых растворов нежелательно, так как они замазывают алмазные зерна матрицы, что ведет к резкому снижению скорости бурения.

Для срыва керна в монолитных и слаботрещиноватых породах используется кернорвательное устройство, в трещиноватых заклинивание можно проводить дробленным фарфором или стеклом, частицами крепких пород, кусками мягкой проволоки.

Высокие частоты вращения, характерные для алмазного бурения, вызывают вибрации снаряда. При этом бурильные трубы испытывают большие нагрузки, возрастает расход мощности на вращение снаряда, наблюдается повышенный износ коронок, снижается количество керна в результате его дробления и самозаклинивания. Для снижения вибраций используется гладкоствольный буровой снаряд ниппельного соединения, имеющий зазор со стенками скважины не более 1,5–2 мм. Колонковый набор, бурильные трубы и их соединения должны быть прямолинейными и соосными. Снаряд оснащается центраторами и забойными амортизаторами. Действенные средства снижения вибраций — нанесение на поверхность бурильных труб антивибрационных смазок и эмульсионных промывочных жидкостей.

Производительность бурения алмазными коронками в твердых породах IX–XII категорий по буримости значительно выше, чем другими способами, и достигает 600–1000 м/ст.-мес.

Бурение снарядами со съемными керноприемниками

Важный резерв повышения производительности проходки скважин — сокращение времени на спуско-подъемные операции. При традиционном способе колонкового бурения требуется поднимать буровой снаряд через каждые 2–5 м углубления скважины, несмотря на то, что современные алмазные коронки имеют высокую износостойкость и обеспечивают проходку от 20 до 200 мм. Поэтому с повышением глубины скважины затраты времени на проведение СПО быстро увеличиваются, а время на углубление забоя снижается. В среднем чистое время колонкового бурения составляет лишь 20–30 % общего времени проходки скважин.

Один из перспективных путей повышения рейсовой скорости бурения — проходка скважин снарядами со съемными керноприемниками (ССК). Сущность способа состоит в том, что после заполнения колонковой трубы керном последняя захватывается специальным ловителем и с большой скоростью извлекается на поверхность по внутреннему центральному каналу бурильной колонны. Весь буровой снаряд поднимается из скважины только для замены износившейся коронки. Такая технология работ позволяет увеличить время чистого бурения до 40–60 % за счет сокращения времени на СПО.

В настоящее время в практику внедрены комплексы ССК-76 (59, 46) конструкции ВИТР и КССК конструкции СКБ НПО "Геотехника". В комплексы входят высокоскоростная лебедка и специальный проходной сальник. При использовании ССК применяется гладкая снаружи и внутри бурильная колонна, соединяемая методом "труба в трубу". В комплексе КССК-76 соединение труб — муфтовое, что дает возможность применить стандартное оборудование для СПО. Для бурения комплексом ССК (КССК) разработаны специальные алмазные коронки, обладающие высокой износостойкостью.

Внедрение снарядов со съемными керноприемниками позволило повысить производительность бурения в 1,3–3 раза по сравнению с традиционным бурением алмазными коронками при снижении стоимости 1 м скважины на 2–5 руб., а также резко повысить выход керна до 80–100 % при бурении трещиноватых пород и руд.

Область применения ССК ограничивается породами VII–IX (реже X) категорий по буримости. В этих породах алмазные коронки обладают наибольшей стойкостью. Применение ССК неэффективно при пересечении стволлом поглощающих зон и неустойчивых интервалов, в сильно искривленных скважинах и при малой глубине бурения.

§ 6. БУРЕНИЕ С ГИДРОТРАНСПОРТОМ КЕРНА

Весьма перспективным направлением повышения производительности колонкового бурения и качества опробования является бурение с извлечением керна потоком промывочной жидкости. При этом способе углубление забоя и транспортировка керна совмещены во времени.

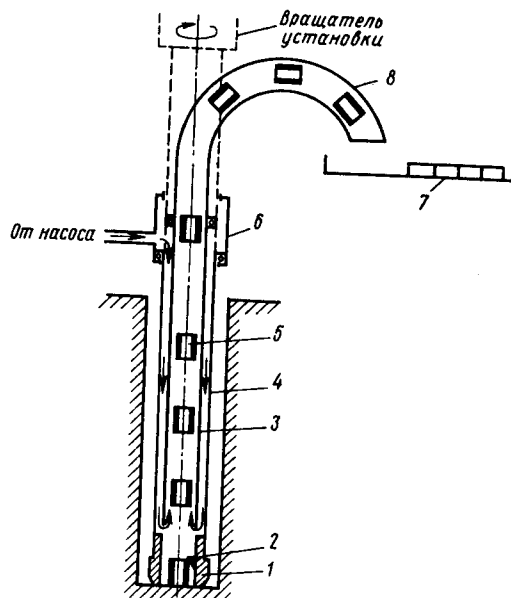


Рис. 5.6. Принципиальная схема бурения с гидротранспортом керна

Время чистого бурения достигает 80 % общего времени проходки при 100 %-ном выносе керна. Этот способ применяется при бурении поисковых и картировочных скважин в породах I–IV категорий по буримости с пропластками пород VI–VII категорий

Принципиальная схема бурения с гидротранспортом керна показана на рис. 5.6. Буровой снаряд представляет собой двойную колонну бурильных труб 3, 4 с твердосплавной коронкой 1 на конце. Промывочная жидкость нагнетается в кольцевой зазор колонны и выбрасывается в центральный канал выше забоя. Коронка охлаждается жидкостью, поступающей под ее торец в результате утечек. Основной поток, поступающий в центральный канал, захватывает выбуренный керна 5, который ломается на транспортабельные куски керналомом 2, и транспортирует его на поверхность. Пройдя через сальник 6 и кернаотводящий рукав 8, куски керна 5 поступают в лотки кернаприемного устройства 7.

Для бурения с гидротранспортом керна в СССР созданы комплексы технических средств КГК-100 и КГК-300 для бурения на глубину соответственно 100 и 300 м, диаметры скважин составляют 76, 84 и 93 мм. В состав обоих комплексов входит буровая установка УРБ-2А-2, на которой смонтирован насос НБ4-320/63, и прицеп с кернаприемным устройством, а также входят специальные твердосплавные коронки, двойная бурильная колонна, состоящая из отдельных секций, буровой сальник, элеватор, стеллажи для укладки бурильных труб.

Комплексы отличаются лишь типом бурильной колонны: в комплексе КГК-100 наружные трубы — стальные, в КГК-300 — легкосплавные. Наружные трубы бурильной колонны соединяются ниппелями и муфтами, внутренние трубы, выполненные из легкого сплава Д16Т, — телескопически с резиновыми кольцевыми уплотнениями, обеспечивающими высокую герметичность колонны. Буровой сальник, соединенный со шпинделем подвижного вращателя, обеспечивает подачу промывочной жидкости и отвод ее вместе с керном и шламом в керноприемное устройство.

К параметрам технологического режима бурения с гидротранспортом керна относятся осевая нагрузка, расход промывочной жидкости, частота вращения бурильной колонны, высота и частота ее расхаживания (периодический подъем снаряда на определенную высоту и его постановка на забой). Необходимость расхаживания обусловлена тем, что при углублении снаряда нарастает величина крутящего момента, необходимого для его вращения. Это объясняется недостаточной проработкой ствола скважины, поэтому часть породы выдавливается в затрубное пространство и может быть причиной прихватов бурильной колонны.

Параметры технологического режима при благоприятных геологических условиях следующие: частота вращения снаряда 200–300 об/мин, осевая нагрузка на забой 5–16 кН, расход промывочной жидкости 180–300 л/мин; параметры расхаживания: после углубления скважины на 0,1–0,8 м — подъем снаряда на 0,1–0,5 м (при бурении плотных пород), после углубления на 1–2 м — подъем снаряда на 0,5–1 м (при бурении мягких пород).

В сложных геологических условиях, связанных с поглощениями промывочной жидкости и пересечением скважиной неустойчивых пород, необходимо применять растворы с высокой несущей способностью, небольшой водоотдачей, хорошей глинизирующей способностью. Свойства растворов улучшают добавкой полимеров (гипан К-9) в количестве 1,5–2 % от объема раствора.

При бурении с гидротранспортом керна получают высокие технико-экономические показатели: механическая скорость бурения в породах II–III категорий по буримости составляет 25–100 м/ч, а в породах IV–V категорий — 5–10 м/ч; средняя месячная производительность — 4,5 тыс. м при 12-ч рабочем дне, а рекордная — 18 и даже 20 тыс. м. Один комплекс КГК заменяет четыре-шесть установок колонкового бурения.

Дальнейшее совершенствование этого способа проходки скважин должно идти в направлении расширения диапазона разбуриваемых пород и создания технических средств для бурения скважин глубиной до 500 м диаметром 112–190 мм. Для решения первой задачи необходим буровой снаряд, обеспечивающий интенсивное охлаждение коронки при бурении твердых пород и эффективное разделение поступающего керна на транспортируемые куски. При решении второй задачи можно будет эффективно сооружать и опробовать гидрогеологические скважины.

§ 7. БУРЕНИЕ ПО ПОЛЕЗНОМУ ИСКОПАЕМОМУ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ВЫХОДА КЕРНА

При колонковом бурении важнейшая задача – получение представительного керна, т.е. керна, по которому с высокой достоверностью можно судить о характеристиках пород и полезных ископаемых.

Количество отобранного керна чаще всего характеризуется его линейным выходом (в %)

$$B_{\text{кл}} = (l_{\text{к}}/l_{\text{р}}) 100, \quad (5.4)$$

где $l_{\text{к}}$ – длина извлеченного керна, м; $l_{\text{р}}$ – длина рейса, м.

В соответствии с методикой опробования необходимо, чтобы с единицы длины скважины выход керна составлял 100 %. Если этот принцип нарушается, представительность пробы снижается и тем больше, чем неравномернее оруденение в опробуемом интервале и чем больше полезного компонента истирается, вымывается и уносится со шламом в процессе формирования керна.

Так как во многих случаях 100 %-ный выход керна получить не удастся, вводится понятие минимально допустимого выхода керна. Для подавляющего большинства полезных ископаемых минимально допустимый выход керна, обеспечивающий достаточную представительность, устанавливается не ниже 70–80 %. Однако на практике часто получают неудовлетворительный выход керна (ниже допустимого) или его низкое качество. Это происходит по геологическим, техническим, технологическим и организационным причинам.

К геологическим факторам, снижающим выход керна, относятся различие физико-механических свойств пород, слагающих выбуриваемый керн (прочность, анизотропия, степень и направление трещиноватости, чередование пород по твердости). К техническим факторам относятся конструкция и качественное состояние колонкового набора и бурильной колонны. Технологические факторы обусловлены нарушением режима бурения (чрезмерные расход промывочной жидкости и осевая нагрузка, большая длина рейса, малый диаметр скважины и т.д.). К группе организационных факторов относятся квалификация буровой бригады, организация и материально-техническое снабжение буровых работ.

В качестве примера, иллюстрирующего влияние факторов первых трех групп (влияние факторов четвертой группы очевидно), рассмотрим процесс формирования керна обычным одинарным колонковым набором (рис. 5.7). Внешними нагрузками, приложенными к нему, являются осевая нагрузка G и крутящий момент $M_{\text{кр}}$. Забой очищается промывочной жидкостью по прямой схеме с расходом Q . Под действием указанных нагрузок углубляется кольцевая забой, а формирующийся керн входит в колонковую трубу. Если керн представлен мягкими породами, то основной фактор снижения его выхода – действие потока промывочной жидкости. Особенно велика суммарная сила лобового сопротивления P , действующая на торец керна. В результате происходит размыв

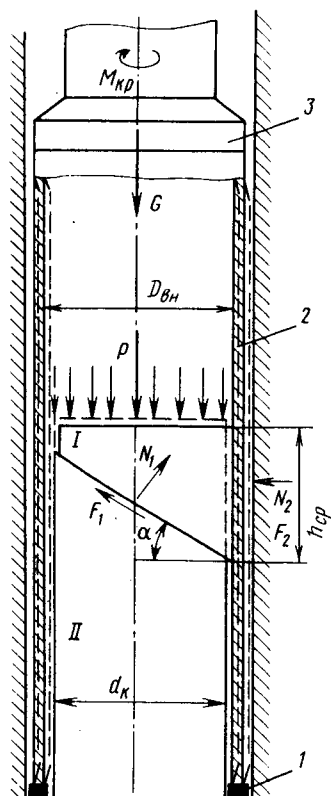


Рис. 5.7. Схема формирования керна одинарным колонковым набором:

1 – коронка; 2 – колонковая труба; 3 – переходник

рыхлых несвязных пород (пески, супеси), их распускание в растворе (глинистые породы) или растворение (каменные соли).

При бурении достаточно прочных пород, не размываемых струей промывочной жидкости, основными факторами разрушения керна являются трещиноватость и перемежаемость пород по твердости, внешние нагрузки, приложенные к колонковому набору, а также сбалансированность отдельных элементов бурового снаряда.

Допустим, что формирующийся керн пересекает естественная трещина под углом α к горизонтальной плоскости (рис. 5.7). Тогда под влиянием силы P , обусловленной действиями жидкости и веса керна, его верхний кусок I может переместиться при определенной величине угла α вниз по плоскости трещины. В результате заклинивания кусок I относительно колонковой трубы и кусок II возникают нормальная реакция N_1 и распорная сила N_2 . Эти силы вызываюся осевой нагрузкой G , которая при заклинивании будет приложена к верхнему куску I. На границах керн–керн и керн–колонковая труба возникнут силы трения $F_1 = f_1 N_1$; $F_2 = f_2 N_2$ (где f_1 и f_2 – коэффициенты трения на границах керн–керн и керн–колонковая труба).

Самозаклинивание керна наступает в том случае, когда становится невозможным движение верхнего куска в вертикальном направлении относительно колонковой трубы и вверх по плоскости трещины. Решая уравнения равновесия для куска I, можно найти с учетом указанных двух условий предельный угол наклона трещины α , при котором наступает самозаклинивание керна: $\alpha_1 \geq \arctg f_1$; $\alpha_2 \geq \arctg f_2$. Учитывая,

равны соответственно $f_1=0,3\div 0,4$ и $f_2=0,6\div 0,8$, можно сделать вывод о том, что самозаклинивание керна происходит при углах наклона трещин более $30-40^\circ$.

Необходимо также учесть, что под влиянием осевой нагрузки и крутящего момента колонковый набор изгибается и возникают поперечные колебания его в скважине. В результате появляется поперечная сила N_1 , которая, суммируясь с силой N_2 , вызывает изгиб пенька керна, а при вращении колонкового набора и углублении скважины — его сжатие и скручивание. В результате происходит отделение керна по основанию или ослабленному сечению (пропласток, прожилка в керне, мягкая порода). Заклиненные куски в колонковой трубе препятствуют продвижению вновь формирующегося керна, вызывая его истирание и снижение выхода.

Прочность керна возрастает с увеличением его диаметра. Это подтверждает практика колонкового бурения, показывающая, что при алмазном бурении 76-мм коронками выход керна на 5—10 % выше, чем при бурении 46-мм коронками. Такое же соотношение остается при твердосплавном бурении коронками диаметрами 93 и 59 мм.

Использование неисправного технологического инструмента (искривленные колонковые и бурильные трубы) приводит к возникновению поперечных вибраций и сил, разрушающих керн. Разрушение керна может наступить даже в начальный период его формирования при несоосности коронки и колонковой трубы. Для повышения выхода керна применяются специальные технические средства и способы бурения: одинарные снаряды с обратной промывкой, бурение без промывки, двойные колонковые снаряды, опробование по шламу и т.д.

Одинарные снаряды с обратной промывкой

Эта группа снарядов защищает керн от самозаклинивания и применяется для повышения его выхода в сильнотрещиноватых и перемежающихся по твердости породах. В этих снарядах прямая промывка преобразуется в призабойной части в обратный поток, движущийся вверх в кольцевом зазоре между керном и колонковой трубой. В результате при определенном расходе жидкости предотвращается смещение куска керна I (рис. 5.7) по плоскости трещины и исключается его самозаклинивание. Необходимый расход обратного потока (в $\text{м}^3/\text{с}$) определяется по формуле:

$$Q = \sqrt{\frac{\pi^3 g (D_{\text{вн}} - d_{\text{к}}^2) (\rho_{\text{к}} - \rho_{\text{ж}}) d_{\text{к}} h_{\text{ср}} (f_1 \sin^2 \alpha - 2 \sin^2 \alpha)}{64 C_{\text{к}} t \rho_{\text{ж}}}}, \quad (5.5)$$

где g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; $D_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр колонковой трубы, м ; $d_{\text{к}}$ — диаметр керна, м ; $\rho_{\text{к}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ — плотности соответственно керна и промывочной жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; $h_{\text{ср}}$ — средняя высота куска керна (расстояние между трещинами), м ; $C_{\text{к}}=0,9$ —

гидравлический коэффициент сопротивления; t — зазор между керном и колонковой трубой, м.

Для возбуждения обратного потока созданы две группы средств: пакерные и эжекторные снаряды. В устройствах первого типа прямой поток в бурильных трубах преобразуется в обратный в керноприемной трубе с помощью специальных пакеров, расположенных выше канала выброса прямого потока в затрубное пространство и создающих дополнительные гидравлические сопротивления. Наибольшее распространение получили эжекторные снаряды, в которых обратная призабойная циркуляция создается с помощью струйных насосов (эжекторов).

Одинарный эжекторный снаряд (рис. 5.8) состоит из переходника 1, эжектора (насадка) 2, камеры смещения с диффузором 3, колонковой трубы 4 и буровой коронки 6 с кернорвателем 5. При бурении прямой поток жидкости с большой скоростью выбрасывается из узкой насадки 2 и создает в камере диффузора пониженное давление. В результате основной поток увлекает за собой в эту область жидкость, которая проходит через диффузор и выбрасывается в затрубное пространство, где разделяется. Один поток идет вверх, вынося мелкие частицы шлама, а второй (эжектируемый) движется к забою за счет пониженного давления в камере диффузора. Этот поток охлаждает коронку, захватывает шлам и по зазору между керном и колонковой трубой вновь засасывается в камеру диффузора. Керн заклинивается осаждающимися кусочками шлама при отключении насоса.

Безнасосное бурение

При этом способе бурения обратный поток промывочной жидкости возбуждается за счет расхаживания бурового снаряда при отключенном насосе. Для создания призабойной циркуляции в скважине должен находиться столб жидкости высотой не менее 10–12 м.

Схема работы снаряда при безнасосном бурении показана на рис. 5.9. При движении колонкового снаряда вверх на высоту H (рис. 5.9,а) шаровой клапан 5 перекрывает отверстие ниппеля 4. Внутри колонковой трубы 2, соединенной переходником 3 с ниппелем 4, создается разрежение. В результате жидкость с забоя устремляется в колонковую трубу, охлаждая коронку 1 и захватывая частицы шлама. Жидкость, находящаяся над клапаном, изливается в скважину через отверстия 7 шламопроводящей трубки 6.

При движении вниз бурового снаряда 9 (рис. 5.9,б) основная масса промывочной жидкости со шламом под действием возрастающего давления открывает клапан 5, перемещение которого ограничивается штифтом 8, проходит по шламоотводящей трубке 6 и через отверстия 7 последней изливается в скважину.

К параметрам технологического режима безнасосного бурения относятся осевая нагрузка, частота вращения коронки, частота расхаживания

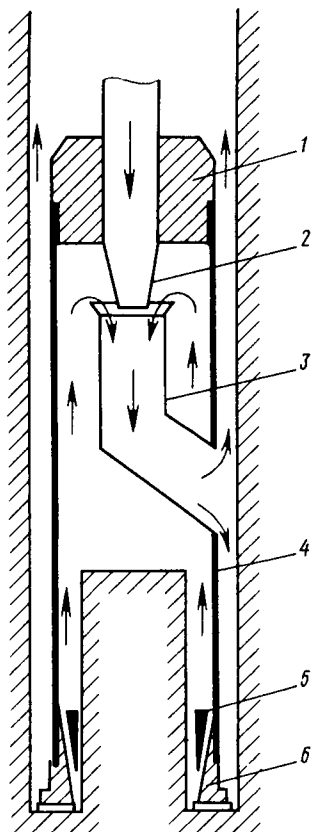
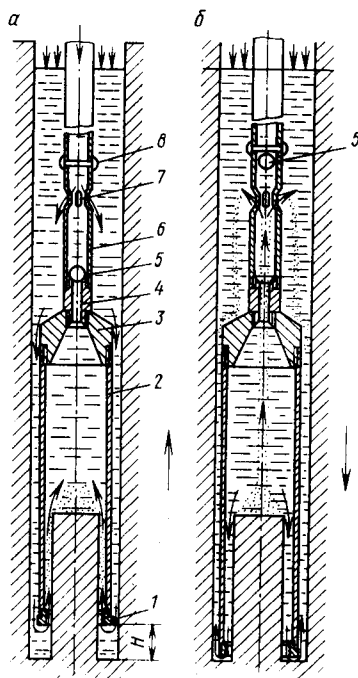


Рис. 5.8. Принципиальная схема одинарного эжекторного снаряда

Рис. 5.9. Схема работы снаряда при безнасосном бурении



вания и высота подъема снаряда. Осевая нагрузка при диаметре скважины 93–112 мм изменяется от 1,5–2 кН при бурении мягких пород до 3–4 кН при бурении более твердых при частоте вращения 100–150 об/мин. Частота расхаживания составляет 10–30 в 1 мин, причем верхний предел назначается для более плотных пород. Высота подъема снаряда при расхаживании связана обратной зависимостью с частотой и находится в пределах 5–10 см при бурении скважин глубиной до 200 м.

При этом виде бурения применяют твердосплавные коронки с минимальным выходом подрезных резцов. Заклинивание керна производится при вращении без расхаживания и промывки.

Безнасосное бурение применяется для повышения выхода керна в мягких сыпучих породах и рудах, размываемых промывочной жидкостью (бокситы, бурые угли, мягкие железные руды и т.д.). Этот способ используется также при бурении инженерно-геологических и гидрогеологических скважин для получения керна с естественной влажностью и сохранения химического состава подземных вод. Целесообразная глу-

бина скважин при безнасосном бурении — 150–200 м. Недостатки способа — ограниченность его применения твердостью разбуриваемых пород (V–VI категорий по буримости) и необходимость расхаживания, утомительного для бурильщика.

Двойные колонковые снаряды (ДКС)

Эта группа технических средств является основной для получения кондиционного керна. В зависимости от способа соединения керноприемной трубы с колонковым снарядом и схемы промывки выделяются следующие пять классов ДКС:

1) с прямой промывкой и вращающейся при бурении керноприемной трубой (предотвращается размывание керна);

2) с обратной промывкой и вращающейся при бурении керноприемной трубой (предотвращается вымывание и самозаклинивание керна);

3) с прямой промывкой и невращающейся при бурении керноприемной трубой (предотвращается разрушение керна от поперечных вибраций колонковой трубы);

4) с обратной промывкой и невращающейся при бурении керноприемной трубой (предотвращается самозаклинивание керна и его разрушение от поперечной вибрации колонковой трубы);

5) с прямой промывкой и комбинированным соединением керноприемной трубы (предотвращается избирательное истирание и самозаклинивание керна).

Схема ДКС первого класса показана на рис. 5.10. Снаряд состоит из переходника 1, соединенного резьбами с наружной 4 и внутренней керноприемной 3 трубами, буровой коронки 6 и кернорвателя 5. При передаче крутящего момента вращаются обе трубы 3 и 4. Промывочная жидкость через канал *a* переходника 1 проходит по кольцевому зазору между трубами и выбрасывается в призабойной части скважины. Часть жидкости, омывая керн и коронку, выходит в затрубное пространство. Оставшаяся во внутренней трубе 3 жидкость под действием возрастающего давления со стороны формирующегося керна открывает клапан 2 и по каналу *б* переходника изливается в затрубное пространство.

Устройство ДКС второго класса рассмотрим на примере двойного эжекторного снаряда (рис. 5.11). Переходники 1 и 5 при свинчивании с патрубком 3 образуют полость, в которой размещен эжектор, состоящий из насадки 2 и диффузора с камерой смещения 4. На переходник 5 навинчены керноприемная 6 и наружная 7 трубы. К последней присоединена коронка 9. Основной поток жидкости по каналу *a* переходника проходит в кольцевой зазор между трубами 6, 7. В призабойной части поток разделяется: один поднимается по затрубному пространству, а второй по кольцевому зазору между керном 8 и керноприемной трубой, каналу *б* переходника 5 вновь вовлекается в камеру смещения.

Примером ДКС с невращающейся керноприемной трубой и прямой

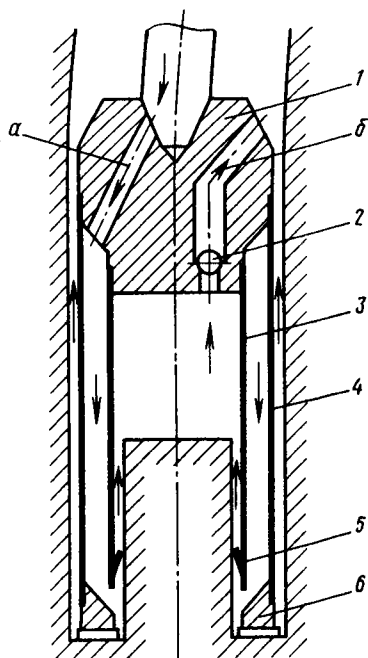


Рис. 5.10. Схема ДКС с прямой промывкой и вращающейся при бурении керноприемной трубой

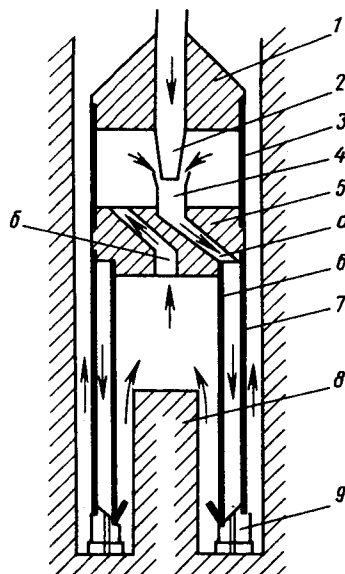


Рис. 5.11. Схема ДКС с обратной промывкой и вращающейся при бурении керноприемной трубой

промывкой могут служить снаряды со съемным керноприемником. Последний не вращается в процессе бурения, так как подвешен на узле шарикоподшипников. Движение жидкости происходит так же, как в ДКС первого класса.

Примером двойных колонковых снарядов с невращающейся керноприемной трубой и обратным потоком промывочной жидкости могут служить эжекторные ДКС, у которых для остановки вращения керноприемная труба сопрягается с переходником при помощи подшипникового узла.

К ДКС пятого класса относятся снаряды с комбинированным соединением керноприемной трубы, вращающейся при бурении более твердых пород и не вращающейся при проходке мягких. Наиболее совершенными конструкциями этого типа являются ДКС "Донбасс НИЛ-II" и "Донбасс НИЛ-III" (рис. 5.12), предназначенные для бурения угольных пластов различной прочности. В обеих конструкциях ДКС внутренняя труба с коронкой подвешена на подшипниковом узле 2. ДКС "Донбасс НИЛ-II" работает следующим образом. Если уголь мягкий, то под действием тарельчатых пружин 3 внутренняя коронка 8 несколько опережает коронку 7, навинчиваемую на наружную трубу 4, и врезается в породу по

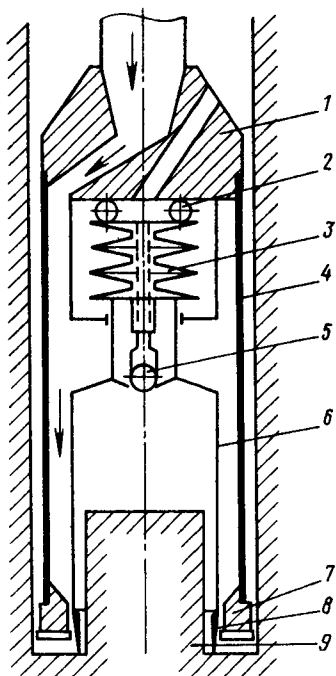


Рис. 5.12. Схема ДКС с комбинированным соединением керноприемной трубы

добно штампу. Вращение керноприемной трубы 6 прекращается, и обеспечивается полная изоляция керна 9 от размыва промывочной жидкостью, поступающей через канал в переходнике 1. При бурении крепких простоев тарельчатые пружины 3 сжимаются, и диски фрикциона начинают передавать вращение керноприемной трубе 6 и коронке 8. Жидкость, поступающая в трубу 6, выходит через обратный клапан 5 в затрубное пространство.

Отличительной особенностью ДКС "Донбасс НИЛ-III" является наличие вибрационного узла, позволяющего успешно бурить твердые пропластки пород путем передачи коронке ударных нагрузок высокой частоты.

Бурение по полезному ископаемому

При бурении по полезному ископаемому важно своевременно определить его границу с вмещающими породами. Чаще всего контакт с полезным ископаемым определяют по изменению механической скорости бурения или цвета промывочной жидкости. Изменение скорости бурения можно фиксировать на аппаратуре, измеряющей крутящий момент, мощность на вращение бурильной колонны, давление промывочной жидкости.

Метод определения границы полезного ископаемого по цвету жидкости имеет большой недостаток: значительная погрешность при залегании полезного ископаемого на большой глубине в связи с длительным временем, необходимым для выноса шлама с забоя. Проблема точной и своевременной оценки встречи полезного ископаемого ждет своего решения несмотря на существование специальных приборов-сигнализаторов. Последние из-за несовершенства конструкции не получили распространения.

При встрече кровли полезного ископаемого бурение прекращают, скважину промывают, надежно заклинивают керн и извлекают его на поверхность. Делают контрольный замер глубины скважины. При необходимости заменяют промывочную жидкость. Циркуляционная система должна быть тщательно очищена, если полезное ископаемое опробуется также по шламу.

Колонковый снаряд и бурильную колонну тщательно собирают и регулируют. Бурение необходимо начинать при минимальной частоте вращения снаряда и небольшой осевой нагрузке (1,5–2 кН). После углубления забоя на 20–25 см переходят на рациональный режим. В необходимых случаях для повышения выхода керна длина рейса сокращается до 0,5–1 м.

В двойных колонковых снарядах для отрыва и удержания керна, как правило, применяют кернорватели, поэтому недопустимо отрывать снаряд от забоя в процессе бурения во избежание заклинивания керна в кернорвателе.

Режимы бурения ДКС различных типов зависят в основном от диаметров скважины и выбуриваемого керна, твердости пород. Диапазоны изменения параметров технологического режима следующие: осевая нагрузка 5–20 кН, частота вращения снаряда 100–800 об/мин, расход промывочной жидкости 40–120 л/мин.

Хранение и документация керна

После подъема колонкового набора из скважины ее устье закрывают пробкой. Для извлечения керна колонковый набор укладывают в горизонтальное положение и отвинчивают коронку. Керн, сорванный с забоя, рекомендуется выдавливать водой, нагнетаемой в набор насосом. Во избежание травмирования при извлечении керна из подвешенной колонковой трубы нельзя поддерживать ее нижний торец руками, определять наличие в ней керна.

Извлеченный керн обмывают (кern мягких пород очищают скребком) и укладывают в керновые ящики в той же последовательности, в которой он располагался в колонковом наборе. Керновые ящики изготавливают длиной 1 м и шириной 0,5–0,6 м. Ящик параллельно длинной стороне разделен ячейками, поперечный размер которых зависит от диаметра керна. Керн в ячейки укладывают параллельными рядами с таким расчетом, чтобы конец предыдущего интервала стыковался с началом следующего. Керн нужно укладывать плотно, без промежутков, куски разбитого керна совмещают по плоскости раскола. Мелкие куски керна, местоположение которых по интервалу бурения установить не удалось, заворачивают в полиэтиленовую пленку и укладывают в верхней части интервала.

Образцы разрушенного и сыпучего керна помещают в плотные мешочки и укладывают в той же последовательности, что и монолитный керн. В конце каждого интервала, соответствующего одному рейсу, ста-

вят деревянную этикетку, разделяющую керн соседних интервалов. На этикетке указывают участок разведки, номер скважины, дату и смену, интервал бурения, длины рейса и поднятого керна, подпись бурильщика. Аналогичные этикетки выписывают при опробовании по шламу, но только вместо длины керна указывают массу шлама.

Если керн поднять не удалось, на этикетке указывают отсутствие керна по пробуренному интервалу, и укладывают ее вместе с этикеткой предыдущего рейса. На перегородках ячеек стрелками указывают направление укладки керна. Каждый ящик на боковой стороне должен иметь порядковый номер, наименование участка, номер скважины и интервал бурения.

Ящики, заполненные керном, вывозят в кернохранилище с оформлением передачи в регистрационном журнале. Ответственность за правильную документацию и хранение керна несут буровой мастер и геологический персонал.

Опробование по шламу

Шлам отбирают при низком (менее 60 %) выходе керна, при его избирательном истирании и при бескерновом бурении. Представительность шламовой пробы зависит от точности привязки ее к пробуренному интервалу, чистоты и полноты выхода. Точность привязки и полнота пробы значительно повышается при улавливании шлама в призабойной части скважины. Наиболее эффективно применение эжекторных снарядов с закрытыми шламовыми трубами. Применяются также одинарные колонковые снаряды с открытой шламовой трубой и прямой промывкой. Чистота пробы повышается при переходе на бурение с продувкой или промывкой чистой водой. При поверхностном шламоулавливании используются лотки-ловушки, помещаемые в желобе циркуляционной системы. Задняя стенка и дно лотка перфорированы.

Используется также поверхностный фильтрационный способ улавливания шлама, заключающийся в том, что на отводящий патрубок, по которому выходит промывочная жидкость из скважины, надевается джутовый мешок. Эффективное средство, обеспечивающее полноту сбора шлама и механизацию процесса, — использование гидроциклонных установок для очистки промывочных жидкостей.

Средством, компенсирующим низкий выход керна, является опробование стенок скважины. В настоящее время применяются следующие способы отбора проб: точечный, бороздовый, задирковый.

Для отбора проб точечным способом в породах I–V категорий по буримости широко применяют боковые стреляющие грунтоносы. В цилиндрическом корпусе размещены стволы, в которые входят бойки, прикрепленные к грунтоносу. Против каждой пары стволов размещены пороховые камеры, разделенные перегородкой на две части. Собранный грунтонос опускают на кабеле, имеющем одну токонесущую жилу, соединенную с запальным устройством. При пропускании

тока нихромовая спираль запального устройства накаляется и воспламеняет порох. Полые бойки под давлением газов внедряются в стенки скважин и заполняются породой.

Бороздовое опробование осуществляется путем вырезания борозды прямоугольного или треугольного сечения с определенного интервала ствола скважины и сбором отбитого материала в шламособорники. Для отбора бороздовых проб в мягких породах используются гидравлические пробоотборники скребкового типа, при опробовании более твердых пород – резцовые вибрационные пробоотборники.

Задирковое опробование осуществляется путем расширения ствола скважины с последующим отбором продуктов разрушения пород в шламособорники.

Контрольные вопросы к гл. 5

1. Для какой цели осуществляется колонковое бурение скважин?
2. Какие существуют типы буровых коронок, область их применения.
3. Общее устройство и назначение узлов установки УКБ-4П.
4. Технология колонкового бурения мягких и средней твердости пород.
5. Что такое выход керна? Какие факторы влияют на получение кондиционного керна?
6. Технические и технологические средства для повышения керна.

Глава 6

УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ, ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙ

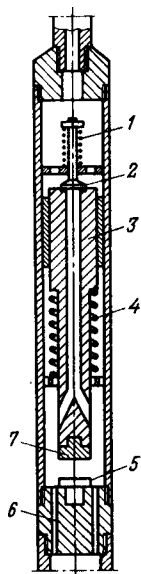
Эффективность вращательного бурения значительно повышается, если к породоразрушающему инструменту приложить ударные импульсы определенной энергии и частоты. Генераторами ударных импульсов служат специальные машины: гидроударники, использующие энергию промывочной жидкости, и пневмоударники, для привода которых используется сжатый воздух.

При ударно-вращательном бурении твердосплавные коронки можно применять для пород до XI категории по буримости. Механическая скорость возрастает в 3–6 раз по сравнению с вращательным способом, производительность буровых работ повышается в 1,3–1,6 раза при снижении их стоимости на 20–40 %.

§ 1. УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОУДАРНИКОВ

Принцип работы гидроударников основан на использовании явления гидравлического удара, сущность которого заключается в резком повышении давления вблизи преграды с помощью инерции движущегося потока жидкости. Принципиальная схема наиболее распространенного гидро

Рис. 6.1. Принципиальная схема гидроударника



ударника прямого действия приведена на рис. 6.1. Подаваемая через бурильные трубы промывочная жидкость перемещает вниз поршень 3, имеющий центральный канал с прижатым к нему клапаном 2, до тех пор, пока сила сжатия возвратной пружины 1 не превысит давление жидкости на клапан. В этот момент происходит отрыв клапана от поршня и боек 7, продолжая по инерции движение вниз, наносит удар по наковальне 5, которая через переходник 6 связана с колонковым набором или долотом.

Во время отрыва клапана от поршня жидкость проходит через каналы поршня и переходника в колонковый набор. После удара боек под действием возвратной пружины 4 вернется в исходное положение и клапан 2 вновь перекроет центральный канал поршня. Затем цикл повторяется. В СКБ НПО "Геотехника" разработаны гидроударники марок Г-9, Г-7, ГВ-5, ГВ-6, предназначенные для бурения скважин диаметрами 59–112 мм.

Гидроударники Г-9, Г-7 работают с использованием технической воды, гидроударники ГВ-5, ГВ-6 — также с промывкой глинистым раствором. Расход промывочной жидкости для привода гидроударных машин составляет 120–160 л/мин (в гидроударнике Г-7 он может доводиться до 220 л/мин). Частота ударов поршня-бойка составляет 1000–1200 уд/мин, а в высокочастотных гидроударниках ГВ-5, ГВ-6 — до 3000 уд/мин. Энергия единичного удара в низкочастотных машинах — 50–70 Дж, в высокочастотных — 5–15 Дж.

Для гидроударного бурения выпускают твердосплавные коронки марки КГ (коронка гидроударная) диаметрами 59, 76, 93 и 112 мм. Основные отличия указанных коронок от коронок для вращательного бурения заключаются в том, что они имеют утолщенное короночное кольцо (толщина стенки 12–15 мм) и армированы массивными клиновидными резцами твердого сплава ВК15, обладающего повышенной ударной вязкостью. Обычно коронка оснащается четырьмя резцами. Эти конструктивные особенности, а также треугольный профиль промывочных каналов обеспечивают прочность торцевой части и резцов коронок при действии ударных нагрузок.

Для гидроударного бескернового бурения применяются трех- и че-

тырехлопастные долота с опережающим центральным лезвием, а также шарошечные долота с опережающей пикой. Колонковый снаряд при гидроударном бурении состоит из переходника, толстостенной колонковой трубы, подкоронника и коронки с кернорвателем.

Технология бурения с применением гидроударников

Ударно-вращательное бурение гидроударниками Г-7 и Г-9 рационально в породах VII–X категорий по буримости до глубины 800–1000 м. При использовании ударных машин ГВ-5 и ГВ-6 рациональной областью считаются породы V–VIII категорий до глубины 1200 м при бурении твердосплавными коронками типа СА и породы V–XI категорий до глубины 1200 м при бурении алмазными коронками.

Гидроударное бурение успешно применяется в широком диапазоне пород. Их физико-геологические свойства меньше влияют на эффективность этого способа по сравнению с вращательным. Выход керна, как правило, выше, что объясняется уменьшением подклиниваний вследствие продольных вибраций колонкового набора. Исключение составляет бурение сильнотрещиноватых пород, где для повышения выхода керна следует использовать эжекторные снаряды.

Поглощение промывочной жидкости вызывает осложнение процесса вследствие скопления шлама на забое, что приводит к прихватам бурового снаряда. В этих условиях целесообразно включать в состав снаряда шламовые трубы.

Гидроударное бурение ведется обычными станками колонкового бурения, но так как рациональная частота вращения снаряда при бурении крепких пород составляет 20–30 об/мин, заменяют электропривод станка или устанавливают понижающий редуктор. Повышенные требования предъявляются к буровым насосам и их обвязке. Значительная часть гидравлической энергии затрачивается на привод гидроударника, поэтому для промывки используют насосы НБ4, НБ5, 11Гри с повышенной подачей.

При использовании гидроударников Г-7 и Г-9 требуется оборудование нагнетательной магистрали компенсатором с расчетным давлением не ниже 8 МПа для гашения гидравлических ударов. Напорные шланги должны быть бронированными и иметь внутренний диаметр не менее 38 мм. Соединение напорного шланга с вертлюгом-сальником должно быть очень надежным и выдерживать давление не менее 10 МПа. Смонтированная магистраль опрессовывается на давление, превышающее на 15–20 % рабочее.

Перед спуском гидроударник регулируется в соответствии с указаниями его паспортной характеристики, тщательно проверяют работоспособность кернорвателя и замеряют диаметр коронки. Диаметр вновь опускаемой коронки не должен превышать диаметра коронки, бывшей в работе, более чем на 0,2 мм в породах до VIII категории и 0,1 мм в породах IX категории. В породах более высоких категорий указанные

диаметры коронок должны быть равны. При несоблюдении этих условий зауженный участок скважины расширяют шарошечным долотом или специальным расширителем.

При спуске снаряда нельзя допускать ударов коронки об уступы скважины и обсадные трубы. Постановка снаряда на забой осуществляется при минимальной подаче и частоте вращения. В начале рейса (10–15 см) создают пониженный режим бурения: осевая нагрузка 2–3 кН, расход жидкости 120–150 л/мин, частота вращения 60–80 об/мин. Затем устанавливают рациональный режим.

При гидроударном бурении основной параметр — расход промывочной жидкости, от которого зависят частота и энергия ударных импульсов, передаваемых породоразрушающему инструменту. Этот параметр следует поддерживать на уровне расхода, соответствующего паспортной характеристике гидроударника.

Осевая нагрузка при бурении относительно слабых и средней твердости пород (V–VII категории) выполняет те же функции, что и при вращательном бурении. Повышение эффективности процесса достигается большим заглублением резцов за счет ударных импульсов. При бурении более твердых пород осевая нагрузка должна обеспечить плотный контакт резцов с породой. В результате создаются оптимальные условия для передачи ударных импульсов и стабильности работы гидроударника. Чрезмерная нагрузка в твердых абразивных породах вызывает интенсивный износ резцов.

Частота вращения коронки характеризует длину пробега каждого резца между двумя последовательными ударными импульсами, а также общий путь трения резцов о породу и их износ. Оптимальная величина этого параметра (в об/мин) рассчитывается по формуле:

$$n = t_{уд} \delta / \pi D_{ср}, \quad (6.1)$$

где $t_{уд}$ — частота ударных импульсов в 1 мин (берется по технической характеристике гидроударника); δ — оптимальная длина пробега резца между смежными ударами, мм; $D_{ср}$ — средний диаметр коронки, мм.

Величина δ зависит от твердости и абразивности горных пород, а также от диаметра коронки. Для малоабразивных пород VI–VII категорий $\delta = 16 \div 30$ мм, для твердых высокоабразивных пород IX–X категорий $\delta = 4 \div 5$ мм. Осевая нагрузка на забой зависит от свойств пород и диаметра скважины, изменяясь в диапазоне 4–10 кН, причем с повышением твердости и абразивности пород и уменьшением поперечного размера скважины величина нагрузки принимается ближе к нижнему пределу указанного интервала.

Во избежание прихвата снаряда нельзя накапливать на забое невынесенный шлам. Чистка скважины проводится снарядами со шламовой трубой. При бурении в сильнотрещиноватых породах возможна поломка резцов коронки. В этом случае забой очищается от обломков твердого сплава специальными ловушками.

Керн срывают, вращая снаряд и поднимая его на 0,5 м над забоем, пластинчатыми пружинами специального (цангового) кернорвателя.

Режим бурения высокочастотными гидроударниками ГВ-5 и ГВ-6 с использованием серийных твердосплавных и алмазных коронок практически не отличается от режима вращательного бурения. Исключение составляет расход жидкости, который увеличивается в 2–3 раза для обеспечения нормальной работы гидроударника.

§ 2. УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПНЕВМОУДАРНИКОВ

Эта разновидность ударно-вращательного бурения дает наибольший эффект в породах VII–XII категорий по буримости, в безводных районах и при бурении многолетнемерзлых пород, в условиях поглощения промывочной жидкости. Применение пневмоударников позволяет повысить скорость бурения в 3–4 раза по сравнению с твердосплавным и в 1,5–2 раза по сравнению с алмазным бурением при снижении стоимости работ на 25–45 %. Пневмоударники применяют при бурении поисковых скважин на воду. Глубина пневмоударного бурения достигает 100 м в обводненных и 300 м в сухих породах (при использовании компрессора, развивающего давление до 0,7 МПа).

Принцип действия и конструкция пневмоударников

Пневмоударник представляет собой забойную машину, в которой возвратно-поступательное перемещение поршня с нанесением ударов по наковальне осуществляется энергией сжатого воздуха. Схема работы пневмоударника показана на рис. 6.2. В корпусе 2 размещен цилиндр 3, в котором перемещается поршень 4. В верхний торец цилиндра вмонтирован клапан 6.

Корпус верхней резьбой соединяется с бурильной колонной 1, а нижним торцом на скользящей посадке присоединяется к долоту 5 (или к колонковому набору). При подвешивании снаряда над забоем долото занимает нижнее положение (показано пунктиром), и сжатый воздух из бурильной колонны по каналам *а* и *б* проходит в призабойное пространство скважины. При постановке снаряда на забой долото занимает верхнее положение, перекрывая доступ воздуха в канал *б*.

Давление под поршнем растет, заставляя последний двигаться вверх. При движении поршень первоначально вытесняет по каналу *в* воздух из верхней части цилиндра, а затем открывает каналы *г* и закрывает каналы *в*. В нижней части цилиндра давление начинает падать, а в верхней – возрастать. В определенный момент открывается клапан *б* и под действием поступающего воздуха поршень пойдет вниз и нанесет удар по хвостовику долота. При движении вниз поршень откроет каналы *в*, что приведет к падению давления в верхней части цилиндра и перекрытию клапаном доступа воздуха. Затем цикл повторяется.

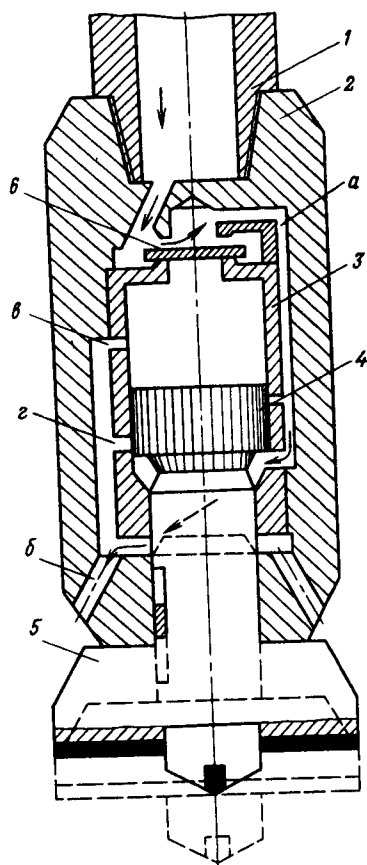


Рис. 6.2. Схема работы пневмоударника

В Тульском отделении ЦНИГРИ разработаны комплексы технических средств пневмоударного бурения. В комплексы входят пневмоударники, одинарные и двойные колонковые трубы, соответствующий породоразрушающий инструмент, шламовые трубы. Для бурения разведочных скважин различного диаметра разработаны три типа пневмоударников: РП-130 (РП-130М), РП-111 и РП-94С.

Техническая характеристика пневмоударников

Тип пневмоударника	РП-130 (РП-130М)	РП-111	РП-94С
Диаметр скважины, мм	132, 153, 161 184, 216	113	96
Расход воздуха общий, м ³ /мин	10–12	7–9	5–6
В том числе на работу пневмо- ударника	6,5–7,5	4–4,5	3–3,5
Давление воздуха, МПа	0,6–0,7	0,6–0,7	0,6–0,7
Энергия единичного удара, Дж	250–300	140–160	90–100
Число ударов в 1 мин.	900–1100	1500–1800	1500–1800
Ресурс рабочего времени, ч	450	450	450

Породоразрушающий и технологический инструменты

Для пневмоударного колонкового бурения используют коронки типа КП и КДП, для бескернового бурения — коронки типа КПС. Все коронки армированы массивными резами твердого сплава марки ВК15.

Коронки и КДП предназначены для бурения монолитных и трещиноватых пород VIII—X категорий по буримости одинарными колонковыми трубами. Коронка КП состоит из корпуса с конической резьбой. Торцовая часть ее вооружена периферийными, центральными и промежуточными штыревыми твердосплавными резами, имеющими клиновидную или асимметричную форму заточки. Заклинивание керна осуществляется скобами, размещенными в корпусе.

Коронки КДП предназначены для бурения трещиноватых пород VII—X категорий по буримости с двойными колонковыми трубами. В корпусе коронки со стороны резьбы имеется кольцевая проточка для керноприемной трубы, а в торцовой части — продольные отверстия для прохода воздуха из межтрубного пространства на забой.

Коронки КПС используют при бескерновом бурении монолитных и трещиноватых пород VII—X категорий по буримости. Торец коронки выполнен в виде нескольких колец, расположенных одно в другом и вооруженных твердосплавными резами. Такая конструкция позволяет при ступенчатом забое, образуемом каждым резцом, разрушать породу между выступами без приложения дополнительной нагрузки. Также долота применяются с опережающим центральным лезвием.

Для пневмоударного бурения применяются одинарные (ТП) и двойные (ТДП) колонковые трубы. Трубы ТП имеют толщину стенки 5,5—7 мм, а на наружной поверхности — твердосплавные ребра для повышения износостойкости. С обоих торцов труб нарезается внутренняя конусная резьба. Наружные диаметры труб ТП и ТДП: 89, 112, 121, 140, 146, 168 и 203 мм.

Технология бурения с применением пневмоударников

Монтаж бурового оборудования и обвязка устья скважины осуществляются по такой же схеме, как при вращательном бурении с продувкой. Сопротивление поверхностной нагнетательной магистрали при расходе воздуха 10 м³/мин не должно превышать 0,1 МПа. Буровой станок должен быть оборудован редуктором, понижающим частоту вращения снаряда до 10—20 об/мин.

Перед началом бурения опущенный в скважину буровой снаряд приподнимают над забоем, продувают с целью выноса шлама и выброса воды. Затем снаряд ставят на забой. Расход нагнетаемого воздуха определяют, исходя из паспортной характеристики пневмоударника и необходимости очистки забоя от шлама. Для эффективного удаления последнего надо обеспечить скорость восходящего потока воздуха не

менее 12–15 м/с при бурении сухих пород и 20–22 м/с слабообводненных. Для получения таких скоростей следует применять бурильные трубы увеличенного диаметра (60,3 или 73 мм). Расход воздуха рассчитывают по формуле (4.8). Частота вращения коронки зависит от тех же параметров, что и при гидроударном бурении, и определяется по формуле (6.1).

Частота вращения в монолитных породах в зависимости от категории по буримости и диаметра коронки изменяется от 15 до 90 об/мин, причем с повышением прочности пород и их трещиноватости, а также с увеличением диаметра бурения она снижается. Осевая нагрузка на забой, как и при гидроударном бурении, должна обеспечить плотный контакт резцов с породой. Рекомендуемая ее величина в зависимости от диаметра коронки находится в пределах 2–4 кН при бурении монолитных пород и 1–2,5 кН при проходке трещиноватых.

Обычно в начале рейса диаметр скважины превышает диаметр коронки на 0,5–0,75 мм. По мере абразивного износа, затупления и округления ее резцов диаметр скважины становится равным диаметру породоразрушающего инструмента и даже меньше его номинального размера. Интенсивность бокового износа коронки зависит от абразивности пород и изменяется от 0,006 мм на 1 м проходки в породах VI категории до 0,2 мм на 1 м в породах XI категории. Износ коронки вызывает ее боковой зажим стенками скважины, что снижает энергию передаваемых резцами ударных импульсов, и, как следствие, резко уменьшает скорость бурения.

В связи с указанной особенностью пневмоударного бурения большое значение имеет правильная отработка коронок, которая ведется по круговой схеме их чередования. В круг чередования включаются коронки одного диаметра в количестве, необходимом для бурения заданного интервала скважины с учетом твердости и абразивности горных пород. Коронки группируются по диаметрам с разницей 0,2 мм. Допустимое уменьшение диаметров последовательно применяемых коронок составляет 0,1–0,2 мм при бурении крепких пород и 0,3–0,4 мм – пород средней твердости.

§ 3. ПРИЧИНЫ АВАРИЙ И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Авария в скважине – это непредвиденное прекращение ее углубления, вызванное нарушением состояния ствола или находящегося в нем технологического инструмента. В результате аварий увеличиваются сроки сооружения скважин и стоимость буровых работ снижается производительность. Аварии могут возникать вследствие геологических, технических, технологических и организационных причин.

Геологические причины обусловлены бурением в сложных условиях: поглощение промывочной жидкости, вызванное проходкой сильнотрещиноватых закарстованных пород и зон тектонических нарушений; осыпи и обвалы стенок скважины; вскрытие высоконапор-

ных пластов, вызывающих выбросы воды, нефти и газа; сальникообразование и т.д.

Техническими причинами могут быть применение неисправных бурильных и обсадных труб, а также изношенных инструментов.

К технологическим причинам относятся нарушение рационального режима бурения, применение технологии без учета реальных горно-геологических условий проходки скважины.

Организационными причинами являются недостаточная квалификация буровой бригады, низкая трудовая дисциплина, слабое обеспечение буровой необходимыми материалами, инструментами, приборами и т.д.

Профилактика аварий заключается в строгом соблюдении технологического режима бурения и других требований геолого-технического наряда, оснащении буровой установки необходимыми контрольно-измерительными приборами, механизмами и инструментами, повышении квалификации и трудовой дисциплины буровой бригады, механизации трудоемких процессов сооружения скважин.

§ 4. ИНСТРУМЕНТ И МЕТОДЫ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ

Наиболее частые виды аварий — прихваты бурового снаряда, обрыв колонковых, обсадных и бурильных труб, отвинчивание или обрыв породоразрушающего инструмента. При возникновении аварии в первую очередь определяют глубину скважины, на которой она произошла, устанавливают причину и составляют план ликвидации аварий.

Аварии, вызванные прихватом бурового снаряда.

Основные причины прихвата (заклинивания) бурового снаряда — наличие большого количества шлама на забое, зауживание ствола скважины вследствие использования долот, изношенных по диаметру, проходка набухающих, пучащихся пород. Для предупреждения прихватов необходимо применять высококачественный глинистый раствор, обработанный химическими реагентами.

Промывку скважины при спуске бурового снаряда следует начинать, не доходя 2—3 м до забоя. При внезапном прекращении циркуляции промывочной жидкости следует приподнять буровой снаряд на длину ведущей трубы. Перед его подъемом скважину надо тщательно промывать с целью очистки от шлама. При замене изношенного долота новым призабойный участок ствола длиной 15—20 м прорабатывается на первой скорости при небольшой подаче (35—40 м/ч). При прихвате буровой снаряд расхаживают с помощью лебедки или гидравлической системы установки, чтобы восстановить циркуляцию промывочной жидкости в случае ее нарушения.

При заклинивании снаряда, продвигающегося к забою, следует бы-

стро увеличить подачу бурового раствора и после нескольких минут промывки попытаться поднять снаряд. Если это не удастся, промывку продолжают и снаряд расхаживают с одновременным его вращением. Если перечисленные мероприятия не дают эффекта, буровой снаряд освобождают выбивным снарядом или домкратами. Выбивной снаряд представляет собой массивный кольцевой цилиндр, соединенный с левым канатом и надеваемый на ведущую трубу.

Если снаряд прихвачен обвалившейся породой или осевшим сверху шламом, первоначально восстанавливают циркуляцию раствора, а затем размывают шламовую пробку. Если циркуляция жидкости не восстанавливается, в скважину опускают дополнительную бурильную колонну, через которую размывают шлам. В случае прихвата снаряда в карбонатных породах эффективна обработка скважины соляной кислотой.

Аварии с бурильными трубами

Прихват снаряда может быть причиной обрыва бурильных труб, так как в этом случае на снаряд передается максимальная (с учетом кратковременной перегрузки) мощность двигателя установки. Обрывы снаряда часто возникают при недопустимом износе бурильных труб или их резьбовых соединений.

Профилактика обрывов заключается в тщательном контроле с помощью калибров и дефектоскопов бурильных труб и их соединений. Для уменьшения изгибающих напряжений диаметр бурильной колонны выбирают как можно ближе к диаметру скважины, обязательно применяют утяжеленные бурильные трубы. Перед свинчиванием резьбовые соединения очищают и смазывают графитовой смазкой. Трубы свинчивают до отказа, без оставления зазоров в замковых соединениях.

При обрыве бурильных труб углубление забоя прекращается, на поверхность поднимают верхнюю часть бурильной колонны. По длине поднятых труб и форме оборванного конца устанавливают местонахождение оставленной части колонны и характер обрыва. В необходимых случаях местоположение конца оставленной части снаряда уточняют спуском в скважину на бурильных трубах печати. В простейшем случае печать представляет собой деревянную пробку, торец которой заполнен пластичным материалом (канифоль со смолой). Для ловли оставшегося снаряда применяют овершот, метчик и колокол.

О в е р ш о т (рис. 6.3,а) применяют, если оставленный инструмент не прихвачен. Овершот опускают на бурильных трубах и осторожно с вращением накрывают оборванный конец. При подаче вниз корпуса 1 овершота плашки 2 заскакивают за нижний торец муфты или замка оставленной в скважине колонны и удерживают ее при подъеме.

М е т ч и к используют для ликвидации обрыва бурильных труб в муфтах и замковых соединениях. Метчик (рис. 6.3,б) — инструмент конической формы, на боковой поверхности которого нарезана резьба и профрезерованы продольные канавки для выхода стружки при ввинчи-

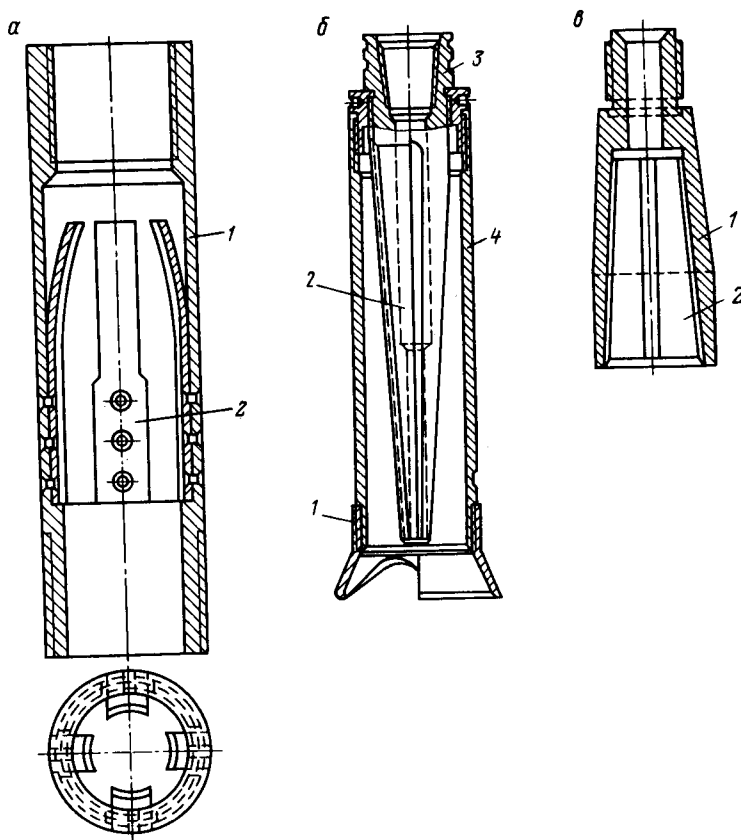


Рис. 6.3. Инструменты для ликвидации аварий при вращательном бурении

вании в оборванный конец бурильной колонны. Осовой канал 2 метчика 3 служит для прохода промывочной жидкости, а резьба на цилиндрической части — для соединения с бурильными трубами, опускаемыми в скважину. При ловле бурового снаряда в скважинах большого диаметра метчики оснащаются направляющими воронками 1 с патрубком 4.

Колокол (рис. 6.3, в) применяется для соединения с оставленным снарядом при обрыве самих бурильных труб. Колокол представляет собой корпус 1 с направляющей воронкой 2, имеющей внутреннюю резьбу для ввинчивания в оборванный конец бурильных труб.

Ловильный инструмент (колокол или метчик) опускают в скважину на бурильных трубах. Не доходя 1—1,5 м до места обрыва, включают подачу промывочной жидкости. Окончив промывку, осторожно опу-

скают ловильный инструмент и вращением на три-четыре оборота ввинчивают его в оборванный конец снаряда. Затем вновь включают буровой насос для удаления осевшего шлама, ввертывают до отказа ловильный инструмент и извлекают буровой снаряд из скважины. Если оставленная часть инструмента сильно прихвачена, для ее извлечения пользуются выбивными снарядами и домкратами. Эффективно применение механических забойных вибраторов, включаемых при спуске ловильного инструмента в состав снаряда.

Аварии с породоразрушающим инструментом

Для исключения обрыва или отвинчивания долота необходимо тщательно проверять его исправность, особенно в местах сварки швов. Необходимо также следить за исправностью резбы породоразрушающего инструмента, прочно соединять его с буровым снарядом. Породоразрушающий инструмент на забой ставят плавно, без рывков. При бурении на долото нельзя допускать чрезмерной осевой нагрузки.

Для извлечения не прихваченного долота при его вертикальном расположении применяются метчик или колокол. Если долото лежит боком и сильно прихвачено, его разрушают взрывом опущенной в скважину торпеды. Обломки долота поднимают магнитным фрезером или пауком.

Магнитный фрезер представляет собой торцовую фрезу, которая разрушает стальные предметы на забое и поднимает их в виде стружки на поверхность.

Паук — тонкостенный цилиндр, нижняя часть которого имеет профрезерованные лепестки. При постановке паука на забой под действием осевой нагрузки лепестки подгибаются внутрь, захватывая обломок долота. С помощью паука и магнитного фрезера из скважины удаляют мелкие предметы, случайно упавшие в скважину.

Аварии с колонковыми и обсадными трубами

Оборвавшуюся колонковую или шламовую трубу поднимают с помощью метчика или труболовки.

Гидравлическая труболовка представляет собой корпус, внутри которого расположен подпружиненный поршень. Шток последнего связан с плашками, перемещающимися по конусу. Труболовка на бурильных трубах опускается внутрь оборванной трубы. При включении насоса под давлением жидкости поршень со штоком, сжимая пружину, движется вниз. Связанные со штоком плашки, перемещаясь вниз по конусу, выдвигаются в радиальном направлении, захватывая своими насечками трубу за внутреннюю часть. При снижении давления жидкости поршень, перемещаясь вверх, освобождает плашки от трубы.

Наиболее сложная авария с обсадными трубами — отвинчивание и отклонение нижней части обсадной колонны. В этом случае извлекается верхняя ее часть, а нижняя поднимается с помощью трубуловки или метчика.

Изогнутые и смятые обсадные трубы выпрямляют специальными развертками или оправочными долотами.

Контрольные вопросы к гл. 6

1. Принцип работы гидроударника.
2. Отличие коронок гидроударного бурения от твердосплавных коронок вращательного бурения.
3. Особенности оборудования для гидроударного бурения.
4. Принцип работы пневмоударников.
5. Особенности бурового оборудования при пневмоударном бурении.
6. Особенности технологии проходки скважин с применением пневмоударников.
7. Причины аварий в скважинах. Виды аварий, наиболее часто встречающихся в практике буровых работ.
8. Инструменты для ликвидации аварий.
9. Профилактические меры для предотвращения аварий.

Глава 7

КРЕПЛЕНИЕ И ТАМПОНИРОВАНИЕ СКВАЖИН

Крепление скважины — необходимое условие существования ее как инженерного сооружения. Конструкция скважины должна обеспечить выполнение поставленной геологической задачи, а при добыче из нее полезного ископаемого — длительную и надежную эксплуатацию, кроме того, она должна быть простой, неметаллоемкой и дешевой.

§ 1. КОНСТРУКЦИЯ СКВАЖИН КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

Проектирование конструкции поисково-разведочной скважины на твердые полезные ископаемые начинается с установления ее конечного диаметра, который определяется минимальным диаметром керновой пробы, обеспечивающей ее представительность, и габаритами опускаемых геофизических приборов. В большинстве случаев минимальный диаметр кондиционного керна составляет 22–60 мм. При проведении геофизических исследований в колонковых скважинах их минимальный конечный диаметр, исходя из второго условия, обычно берется не менее 40–70 мм.

Определив с учетом указанных соображений конечный диаметр скважины, намечают по ожидаемому геологическому разрезу интервалы неустойчивых пород или пересекаемых скважиной водоносных пластов,

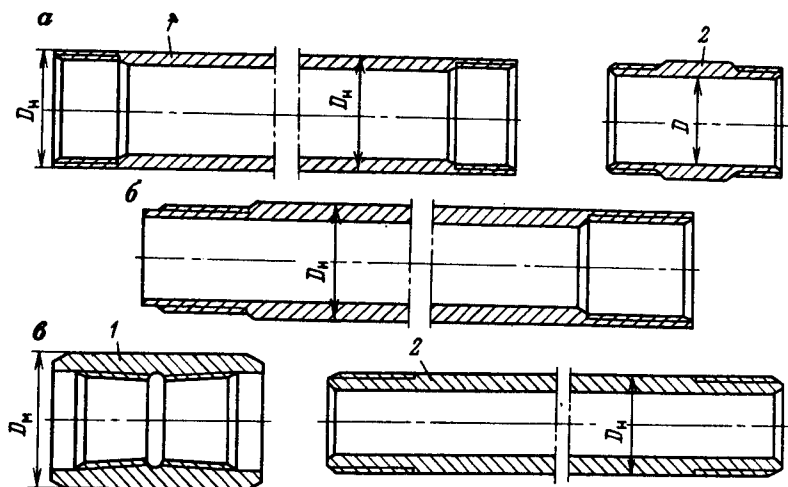


Рис. 7.1. Обсадные трубы:

а — ниппельное соединение: 1 — обсадная труба; 2 — ниппель;
б — безниппельное соединение труб; *в* — муфтовое соединение; 1 — муфта; 2 — обсадная труба; D_M — диаметр муфты; D_H , D_1 — соответственно наружные диаметры труб и внутренний диаметр ниппеля

которые необходимо закрепить обсадными трубами и заполнить затрубное пространство изолирующим материалом. При колонковом бурении для крепления ствола скважин применяют обсадные трубы ниппельного и безниппельного соединений (рис. 7.1, *а*, *б*). Такие соединения обеспечивают гладкоствольность колонны по наружному диаметру и минимальные зазоры между колонной и стенкой скважины.

Обсадные трубы изготавливаются бесшовными из сталей групп прочности Д и К и поставляются длиной 1500–6000 мм. Резьба на трубах и ниппелях — трапецидальная, цилиндрическая. Предельная длина обсадных колонн этого типа, опускаемых в скважину, составляет с учетом прочности на разрыв 1000–1200 м. Обсадные трубы ниппельного соединения выпускаются наружными диаметрами 73, 89, 108 и 127 мм при толщине стенки трубы 5 мм; обсадные трубы безниппельного соединения выпускаются наружными диаметрами 44, 57, 73 и 89 мм при толщине стенки трубы 3,5–5 мм.

На рис. 1.1. приведена конструкция разведочной скважины на твердые полезные ископаемые. Нижняя часть ствола скважины пересекает устойчивые породы и не закрепляется. Промежуточная (техническая) колонна перекрывает неустойчивые породы или интервал сильного поглощения промывочной жидкости. Затрубное пространство в указанном интервале заполняется изолирующим материалом. Внутренний диаметр обсадных колонн должен быть таким, чтобы обеспечить проход коронки для бурения нижележащих пород. Зазор между коронкой и внутренним диаметром колонны должен составлять 2–3 мм.

Для направления скважины и предохранения ее устья от размыва после забуривания на глубину 2—8 м устанавливают направляющую трубу с последующим бетонированием затрубного пространства. Разность между диаметром скважины и наружными диаметрами опускаемых обсадных колонн обычно составляет 2—5 мм.

§ 2. КОНСТРУКЦИЯ СКВАЖИН НА ЖИДКИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Проектирование конструкции скважин на жидкие полезные ископаемые начинается с выбора диаметра и длины эксплуатационной колонны. Внутренний диаметр последней выбирают, исходя из ожидаемого дебита жидкости (ее объем, извлекаемый из скважины в единицу времени) и габаритов насосного оборудования, которое опускается в скважину. Внутренний диаметр колонны и ее длина должны быть достаточными, чтобы указанное оборудование свободно проходило и устанавливалось на заданной глубине. При сооружении разведочно-эксплуатационных скважин глубина спуска эксплуатационной колонны определяется, как правило, глубиной кровли пласта, намеченного к эксплуатации.

Если породы, слагающие продуктивный пласт, недостаточно устойчивы, то этот интервал ствола скважины оборудуют специальным фильтровым устройством. Если в разрезе отсутствуют пласты с высоким давлением, нет интервалов неустойчивых пород и зон поглощений промывочной жидкости, то устанавливают только направление (так в конструкции этих скважин называется направляющая труба), а иногда и кондуктор. Последний необходим в том случае, когда в верхней части разреза залегают рыхлые, неустойчивые породы с низким пластовым давлением. При бурении нефтяных и газовых скважин нижняя часть кондуктора должна быть установлена в плотных устойчивых породах ниже зоны осложнений.

Часто, особенно при бурении глубоких скважин на нефть, газ, термальные и минеральные воды, в разрезе встречаются чередующиеся пласты с аномальным давлением. В этих условиях вследствие большой разницы давлений в смежных пластах может возникнуть ситуация, когда параметры промывочной жидкости при бурении одного пласта окажутся непригодными при вскрытии другого ввиду опасности возникновения выбросов или сильных поглощений раствора. Для предотвращения этих осложнений в скважину спускают промежуточную колонну. Ее спускают перед вскрытием пласта с аномальным давлением. Затрубное пространство заполняют тампонажным материалом. Плотность и другие параметры промывочной жидкости изменяются до величины, ны, предотвращающей возникновение осложнений.

Длины опускаемых обсадных колонн при глубоком бурении составляют иногда несколько тысяч метров, поэтому для крепления применяются в основном стальные бесшовные трубы муфтового соединения (рис. 7.1, в). Такое соединение обеспечивает значительную прочность колонны на разрыв от собственного веса. Концы труб имеют наружную

коническую резьбу, муфты – внутреннюю. Трубы поставляют длиной 9,5–13 м и изготавливают с различной толщиной стенки, что достигается изменением их внутреннего диаметра. Основные размеры обсадных труб и муфт к ним приведены ниже. Трубы с толщиной стенки 12 мм могут иметь безниппельное соединение. При бурении скважин на воду небольшого диаметра (до 150 мм) можно применять ниппельное и безниппельное соединения труб.

Обсадные трубы муфтового соединения

Диаметр трубы, мм:									
наружный D_H	114	140	146	168	178	194	219		
внутренний D_{BH}	102,3–	127,7–	133–	155,3–	164–	179,7	205	–	
	98,3	117,7	124	144,3	154	169,7	195		
Масса 1 м трубы, кг	16–	19,8–	20,7–	25–	29,6–	32,3–	36,6–		
	20,9	35	36,6	46,2	49	53,9	61,3		
Наружный диаметр муфты									
D_M , мм	133	159	166	188	198	216	245		
245	273	299	324	340	351	377	407	426	508
230,5–	259–	282,5–	306–	321,7–	333–	359–	388,4–	406–	486
220,5	249	274,5	300	315,7	327	353	382,4	402	
41–	45–	54,4–	70,1–	73,2–	75,9–	81,7–	88–	102,7–	135
69	77,2	84,9	92,6	96,6	100,3	108	117,5	122,5	
270	299	324	351	365	376	462	432	451	533

Необходимый диаметр долота D_d , принимаемый приблизительно равным диаметру скважины, определяется по формуле:

$$D_d = D_M + 2 \Delta, \quad (7.1)$$

где D_M – диаметр муфты обсадной колонны, мм; Δ – зазор между скважиной и муфтой, мм.

Указанный зазор необходим для заполнения затрубного пространства тампонажным материалом. При $D_M < 250$ мм зазор $\Delta = 20 \div 25$ мм; при $D_M > 250$ мм $\Delta = 25 \div 50$ мм. Такие величины Δ принимаются при бурении скважин на воду. При сооружении нефтяных скважин часто принимаются уменьшенные зазоры ($\Delta = 7 \div 15$ мм).

После спуска и тампонирования колонны скважину бурят долотом, которое должно свободно проходить внутри установленных обсадных труб, поэтому диаметр долота для бурения залегающих ниже пород

$$D_{d.n} = D_{BH} - 2 \delta, \quad (7.2)$$

где D_{BH} – внутренний диаметр обсадных труб, мм; $2\delta = 5 \div 10$ – зазор между обсадными трубами и долотом, мм.

Необходимо, чтобы наибольший поперечный размер последующей колонны был всегда меньше внутреннего диаметра предыдущей колонны.

Для крепления скважин на воду, которые часто имеют небольшую глубину, применяют также неметаллические трубы: асбоцементные, полиэтиленовые, стеклопластиковые.

Асбоцементные трубы рекомендуются при глубине их спуска до 300 м. Преимущество этих труб перед стальными заключается в коррозионной стойкости, меньшем весе и хорошей схватываемости с цементным раствором, являющимся тампонажным материалом. Кроме того, применение асбоцементных труб позволяет снизить металлоемкость конструкции скважины на 50–60 кг на 1 м скважины и стоимость на 50–60 %. Недостаток этих труб заключается в их низкой механической прочности и большой хрупкости, что создает затруднения при их транспортировке и сборке в колонны. Асбоцементные трубы поставляют диаметрами от 68 до 532 мм при толщине стенки от 9 до 45 мм. В колонну трубы соединяют с помощью асбоцементных, пластмассовых, фанерных или стальных муфт на резьбе или заклепках.

Полиэтиленовые трубы обладают теми же преимуществами, что и асбоцементные, однако имеют меньшую плотность и в 1,8–2 раза большую прочность. Недостатки их – невысокая по сравнению со стальными трубами прочность и старение со временем. Диаметр труб составляет 63–600 мм при толщине стенки от 20–25 мм. Наиболее эффективный способ соединения полиэтиленовых труб в колонны – контактная сварка встык. Сущность метода состоит в том, что соединяемые торцы труб разогревают, соединяют под давлением и охлаждают.

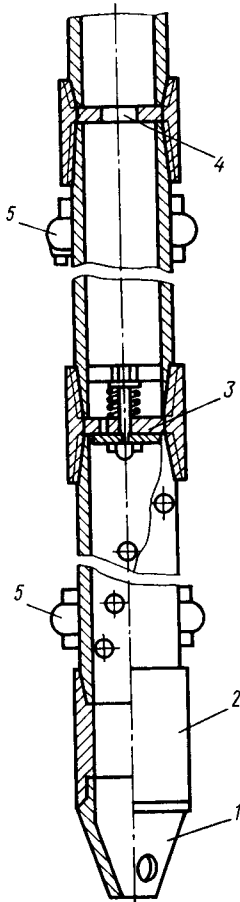
Стеклопластиковые трубы обладают высокой коррозионной стойкостью и прочностью вдоль волокон, сравнимой с прочностью стали. Недостатки этих труб – высокая стоимость, недостаточная герметичность, низкая устойчивость при температуре выше 100 °С.

§ 3. ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ СПУСКА ОБСАДНЫХ КОЛОНН

При глубоком бурении низ обсадной колонны оборудуют башмаком 2 с направляющей пробкой 1, обратным клапанам 3, упорным кольцом 4 и центрирующими фонарями 5 (рис. 7.2). Направляющая пробка имеет каналы для прохода тампонажного раствора и соединяется резьбой с башмаком. Последний предохраняет низ колонны от смятия. Обратный клапан служит для облегчения веса обсадной колонны при спуске в скважину, заполненную промывочной жидкостью, и предотвращения обратного движения тампонажного раствора после окончания цементирования. Упорное кольцо служит для остановки цементировочных пробок при тампонировании. Центрирующие фонари предназначены для концентричного расположения колонны в скважине.

Перед спуском обсадные трубы проверяют на герметичность путем опрессовки, замеряют их длину. Трубы пронумеровывают в порядке их спуска в скважину. Собирают низ обсадной колонны, тщательно проверяют исправность установки, особенно ее грузоподъемных узлов (вышка, лебедка, талевая система). Перед спуском длинных колонн проводится кавернометрия с целью выявления зауженных участков ствола. Определяют места значительного искривления скважины. Указанные участки прорабатывают (расширяют) со скоростью подачи долота вдоль ствола, равной 35–40 м/ч. Затем скважину тщательно промывают. 123

Рис. 7.2. Низ обсадной колонны



Для спуска обсадных колонн применяют шарнирные хомуты, пласечные элеваторы, штропы, ручные и машинные ключи, а при глубоком бурении — автоматические буровые ключи ПБК и АКБ. Герметичность колонны при свинчивании обеспечивается путем нанесения на резьбовые соединения специальных смазок.

Для соединения обсадных колонн сваркой применяют полуавтоматические и автоматические сварочные установки, а также используют дуговую и контактную сварку.

§ 4. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ТАМПОНИРОВАНИЯ

Тампони́рование проводится с целью: 1) изоляции и исследования основных параметров продуктивного пласта, намеченного к эксплуатации, от выше- и нижележащих пород; 2) укрепления стенок скважины в неустойчивых породах и устранения катастрофических поглощений промывочной жидкости; 3) замедления процесса коррозии обсадных труб, перекрывающих горизонты с агрессивными водами; 4) устранения излива подземных вод и их смешивания в результате циркуляции по стволу после ликвидации скважины.

Существуют следующие виды тампони́рования: временное, постоянное и ликвидационное.

Временное тампони́рование проводится только на срок проведения исследований или на период бурения скважины. Чаще всего исследуемый пласт изолируют специальными кольцевыми тампонами-пакерами (рис. 7.3). Колонна труб 1 опускается в скважину и устанавливается фильтровой частью 4 в интервале испытываемого пласта. Кольцевые тампоны 3 должны находиться против водоупорных пород. По трубке 2 в пакеры нагнетается вода или сжатый воздух. В результате тампоны раздуваются и плотно прижимаются к стенкам скважины, изолируя испытываемый пласт. Затем проводится необходимый комплекс исследований. Для изоляции пакера служит глухая пробка 5.

Постоянное тампони́рование осуществляется в основном при сооружении разведочно-эксплуатационных скважин на длительный срок, часто на весь период их существования.

Рис. 7.3. Гидравлический тампон с двумя резиновыми камерами (пакер)

Ликвидационное тампонируе-
вание решает задачу охраны недр и заклю-
чается в заполнении всего пробуренного ство-
ла скважины, выполнившей геологическую
задачу, непроницаемым материалом.

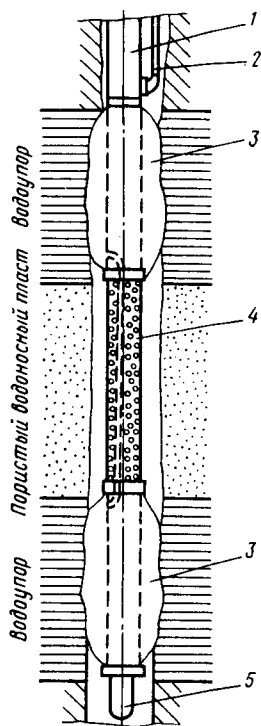
§ 5. ТАМПОНАЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В качестве тампонажных материалов применя-
ют глину, цемент, быстросхватывающиеся
(БСС) и быстротвердеющие (БТС) смеси.
Наиболее распространен цемент. Он представ-
ляет собой вещество, получаемое путем тонко-
го помола клинкера (спекшаяся в результа-
те обжига смесь известняка и глины). Ши-
роко применяется портландцемент, в состав
которого входят силикаты кальция.

Тампонажный цемент содержит вяжущие вещества (портландцемент, шлак, известь), минеральные или органические наполнители (кварце-
вый песок, глина, древесные опилки, хлопковые очесы и т.д.). Смесь
такого цемента с водой дает раствор, который со временем затвердева-
ет, превращаясь в цементный камень. Отношение масс воды В и цеме-
нта Ц в растворе называется водоцементным отношением, обычно $V:Ц =$
 $= 0,4 \div 0,5$. При затворении цемента водой в указанном соотношении
получается раствор полностью $1,8-2 \text{ кг/см}^3$.

Тампонажный цемент выпускают для скважин с температурами
забоя до 40°C и 75°C . Плотность сухого цемента $3-3,2 \text{ кг/см}^3$. Цемент-
ный раствор характеризуется временем начала и конца схватывания,
проницаемостью и другими показателями.

Начало схватывания — время с момента затворения (смешивания
цемента с водой) до начала загустевания раствора. Конец схватывания —
интервал времени от начала схватывания до затвердевания раствора.
При цементировании неглубоких скважин сроки начала и конца схваты-
вания необходимо сокращать для того, чтобы до начала схватывания
не произошло поглощение раствора, его вымывание или разбавление
подземными водами. С этой целью в цементный раствор добавляют ве-
щества — ускорители схватывания (CaCl_2 , NaCl , Na_2CO_3 , NaOH и др.).
При тампонировании глубоких скважин повышенная температура забоя



является ускорителем схватывания раствора. Время, необходимое для цементирования длинных обсадных колонн, может превысить сроки схватывания раствора. В этих условиях в раствор добавляют замедлители схватывания (ССБ, КССБ, КМЦ и др.).

Проницаемость цементного камня определяется на установках, которые позволяют замерить объем жидкости, фильтрующейся через образец при определенном перепаде давления. Показатель проницаемости позволяет судить о качестве разобщения пластов.

§ 6. ТАМПОНИРОВАНИЕ СКВАЖИН ГЛИНОЙ

Тампонирующая глина применяется для изоляции пластов в неглубоких скважинах при отсутствии больших водопритоков и осуществляется несколькими способами. Тампонирующая заключается в доставке на забой приготовленных из глинистого теста шариков диаметром 5–6 см и последующей их трамбовке. При наличии на забое пласта глины минимальной мощностью 2–3 м тампонирующая осуществляется задавливанием обсадной колонны в указанный пласт.

Более качественное тампонирующая обеспечивается с помощью нижней или верхней пробки. Первый метод заключается в том, что обсадную колонну, в башмак которой забита нижняя пробка, опускают на забой и предварительно доставленная туда тестообразная глина выдавливается в затрубное пространство. Затем пробку разбуhrивают. Тампонирующая с верхней пробкой заключается в следующем. На забой доставляют глиняные шарики, которые трамбуются до образования плотной пробки высотой 2–3 м. Скважину заполняют водой или глинистым раствором через краны герметизирующей головки, навинченной на верхний торец обсадной колонны. Затем краны закрывают и обсадную колонну опускают на забой. Вследствие малой сжимаемости жидкость, находящаяся внутри колонны, играет роль верхней пробки, выдавливающей глину в затрубное пространство.

§ 7. ЦЕМЕНТИРОВАНИЕ СКВАЖИН

Цементироваание скважин — это тампонирующая цементным раствором. Существует несколько способов цементирования: через заливочные трубы, с помощью двух пробок, манжетное и т.д.

Цементироваание через заливочные трубы используется для изоляции небольшого (длиной несколько метров) призабойного участка скважины и широко применяется при колонковом бурении. Сущность метода заключается в том, что на забой через бурильные трубы закачивают объем раствора, необходимый для тампонирувания. Обсадная колонна в период закачки приподнята, а затем ее опускают на забой и оставляют в покое на одни сутки. В дальнейшем цементную пробку в колонне разбуhrивают.

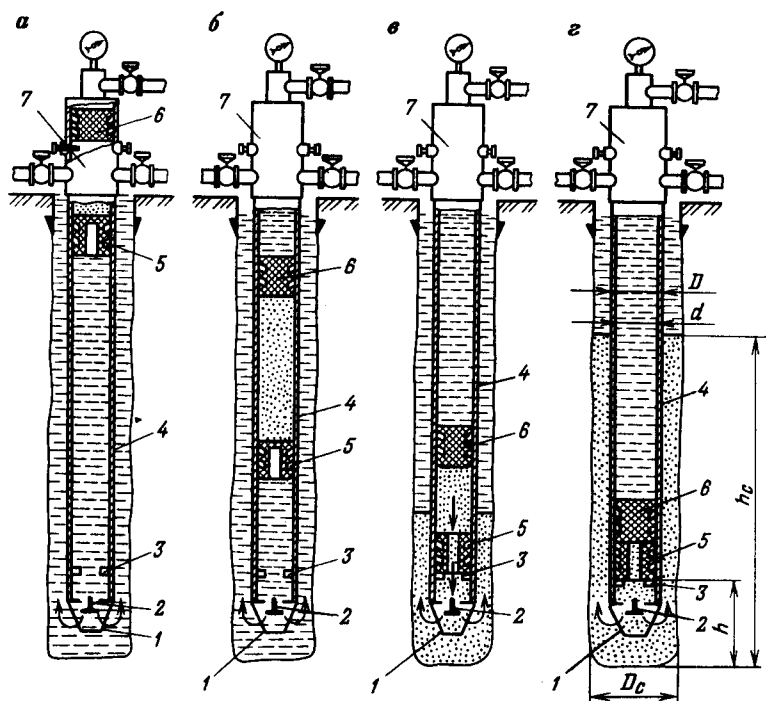


Рис. 7.4. Схема цементирования с двумя разделяющими пробками:

а — закладка необходимого объема цементного раствора в пространстве между верхней и нижней пробками; б — продавливание цементного раствора вниз по обсадной колонне; в — посадка нижней пробки на упорное кольцо и вытеснение цементного раствора в затрубное пространство; г — обсадная колонна после окончания цементирования

Цементирование с помощью двух пробок наиболее распространено и дает возможность изолировать затрубное пространство на большой интервал вплоть до устья скважины. Низ опускаемой обсадной колонны 4 оборудуется направляющей пробкой 1 и обратным клапаном 2 (рис. 7.4). На верхний торец колонны навинчивается цементировочная головка 7, через которую осуществляется промывка для очистки затрубного пространства от шлама. Затем при снятой головке в обсадную колонну опускают нижнюю пробку 5, имеющую центральный канал, перекрытый стеклянной перегородкой. На колонну вновь навинчивают цементировочную головку, внутри которой с помощью стопорных винтов зафиксирована верхняя "глухая" пробка 6.

В трубы закачивают расчетное количество цементного раствора. Вывинчиванием стопорных винтов освобождают верхнюю пробку 6. Объем цементного раствора, заключенный между пробками, перемещается вниз по колонне под давлением продавочной жидкости (глинистого раствора), закачиваемой через кран цементировочной головки. Когда

нижняя пробка 5 достигнет стопорного кольца 3, стеклянная перегородка вследствие возросшего давления разбивается. Верхняя пробка 6 под действием глинистого раствора выдавливает цементный раствор в затрубное пространство. В момент схождения пробок давление на манометре нагнетательной линии насоса резко возрастает, что служит сигналом окончания цементирования.

Расчет цементирования производится в следующем порядке.

Объем цементного раствора $V_{ц.р.}$, необходимый для цементирования обсадной колонны,

$$V_{ц.р.} = \frac{\pi}{4} [(D_c - D^2) h_c k + d^2 h], \quad (7.3)$$

где D_c — диаметр скважины, м; D — наружный диаметр цементируемых обсадных труб, м; h_c — интервал цементирования обсадной колонны, м; $k=1,2 \div 1,3$ — коэффициент увеличения объема приготавливаемого цементного раствора на заполнение расширений и каверн в скважине; d — внутренний диаметр цементируемой обсадной колонны, м; $h = 1 \div 1,5$ — высота цементной пробки внутри колонны, оставшейся после цементирования, м.

Плотность цементного раствора

$$\rho_{ц.р.} = \frac{\rho_{ц} \rho_{в} (1 + m)}{\rho_{в} + m \rho_{ц}}, \quad (7.4)$$

где $\rho_{ц}$ и $\rho_{в}$ — плотности соответственно цемента и воды, обычно $\rho_{ц} = 3150 \text{ кг/м}^3$; $m=0,4 \div 0,5$ — водоцементное отношение.

Необходимое количество сухого цемента для приготовления 1 м³ раствора

$$q_{ц} = \rho_{ц} \rho_{в} / \rho_{в} m \rho_{ц}. \quad (7.5)$$

Необходимый объем воды (в м³) на 1 м³ раствора

$$V_{в} = q_{ц} m \rho_{в}. \quad (7.6)$$

Общий объем воды $V_{в.о}$ для приготовления цементного раствора

$$V_{в.о} = V_{в} V_{ц.р.} \quad (7.7)$$

Общее количество сухого цемента (в кг) для приготовления цементного раствора

$$Q = q_{ц} V_{ц.р.} \quad (7.8)$$

После окончания цементирования скважина оставляется в покое под давлением на 24 ч для схватывания раствора. Качество цементирования в разведочных скважинах проверяют снижением уровня жидкости или путем опрессовки колонны. Первый способ заключается в понижении столба жидкости на 3/4 его высоты путем тартания или сваби-

вания. Колонна считается герметичной, если в течение 8 ч уровень жидкости поднимается не более чем на 1 м. Сущность второго способа заключается в заполнении колонны водой и создании в ней с помощью насоса давления, на 20 % превышающего рабочее. Колонна считается герметичной, если через 30 мин давление понижается не более чем на 0,5 МПа. После проверки качества цементирования оставшуюся пробку в колонне разбуривают, вскрывают продуктивный пласт или продолжают бурение.

Контрольные вопросы к гл. 7

1. Особенности конструкции скважин на твердые полезные ископаемые.
2. Особенности конструкции скважин на жидкие полезные ископаемые.
3. Как определяется диаметр долота при спуске в скважину обсадных труб муфтового соединения?
4. Технология спуска обсадных колонн в скважину.
5. Основная цель тампонирования скважин.
6. Материалы для тампонирования скважин.
7. Методы тампонирования скважин глиной.
8. Технология цементирования с помощью двух пробок.
9. Расчет цементирования скважин.

Глава 8

УДАРНО-КАНАТНОЕ БУРЕНИЕ

Этот способ применяется при сооружении скважин на воду, поисках и разведке россыпных месторождений, инженерно-геологических изысканиях. Ударно-канатное бурение наиболее целесообразно при глубине скважин до 150–200 м в сложных геологических условиях, связанных с проходкой неустойчивых пород и катастрофическим поглощением промывочной жидкости.

Преимущества способа — возможность сооружения скважин большого диаметра (до 900 мм) и высокое качество получаемой геологической информации. К недостаткам относятся невысокая производительность, сложность и большая металлоемкость конструкции скважины.

§ 1. СУЩНОСТЬ УДАРНО-КАНАТНОГО БУРЕНИЯ

Принципиальная схема ударно-канатного бурения показана на рис. 8.1. Буровой снаряд с клиновидным долотом 1 опускают в скважину на инструментальном канате 5, который переброшен через головной ролик 7 мачты 9, огибает оттяжной 10 и направляющий 12 ролики балансирной рамы 11. При остановке вращения тормозом барабана 14 инструментальной лебедки 13, на котором закреплен конец каната, кривошипно-шатунным механизмом 16 и 17 балансирная рама приводится в колебатель-

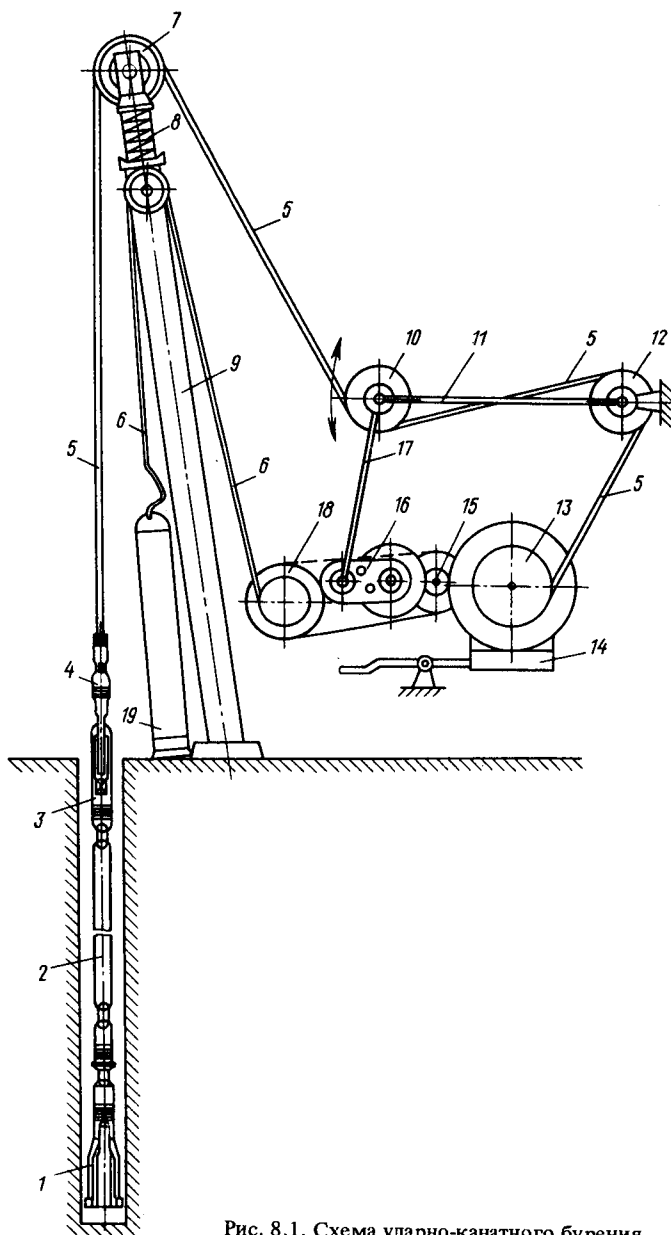


Рис. 8.1. Схема ударно-канатного бурения

ное движение относительно оси направляющего ролика 12. Оттяжной ролик 10 балансирующей рамы 11, опускаясь, натягивает канат и поднимает снаряд над забоем. Поднимаясь вверх, ролик освобождает канат, и снаряд свободно падает на забой, разрушая долотом породу. Для снижения усилий, вызванных рывками каната при его возвратно-поступательном перемещении в скважине, служит амортизатор 8. Ударный механизм получает вращение от главного вала 15.

Равномерная обработка забоя и придание скважине цилиндрической формы достигается поворотом долота после каждого удара на определенный угол. По мере разрушения породы канат сматывается с барабана лебедки, осуществляя подачу снаряда вслед за углубляющимся забоем. В процессе бурения на забое скважины должна быть вода, которая способствует переходу бурового шлама во взвешенное состояние и более эффективной передаче энергии падающего долота забою. При достижении плотности шлама определенной величины разрушение породы прекращают, инструментальной лебедкой 13 извлекают снаряд из скважины и очищают ее от шлама. Эта операция выполняется желонкой 19, опускаемой в скважину на канате 6 с барабана желоночной лебедки 18. Затем цикл повторяется.

§ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ УДАРНО-КАНАТНОГО БУРЕНИЯ

Буровой снаряд ударно-канатного бурения включает следующие элементы (см. рис. 8.1); долото 1, ударную штангу 2, раздвижную штангу (ножницы) 3, канатный замок 4. Долото предназначено для непосредственного разрушения породы забоя. Ударная штанга служит для увеличения массы снаряда, а следовательно, повышения энергии, передаваемой забою падающим долотом. Раздвижная штанга (ножницы) предназначена для выбивания снаряда при долблении вязких и трещиноватых пород. Канатный замок служит для соединения бурового снаряда с канатом и поворота на определенный угол долота после каждого удара о забой. Все элементы бурового снаряда соединяются с помощью замковых конусных резьб. Каждый технологический инструмент имеет лыски для захвата ключами при свинчивании или развинчивании бурового снаряда.

Долота (рис. 8.2) изготавливают из углеродистой инструментальной стали с последующей термической обработкой. В нижней части долота имеется лезвие 5, в верхней части — шейка 2, оканчивающаяся конусной резьбой 1. Между шейкой и лезвием находятся лопасти 3 с боковыми ребрами 4, служащими для округления стенок скважины. Угол приострения долот изменяется от 70 до 130° причем с повышением твердости пород его величина возрастает.

Плоское долото (рис. 8.2,а) предназначено для разрушения мягких пород и имеет угол приострения лезвия 70–90°.

Двутапное долото (рис. 8.2,б) применяется для бурения пластичных пород средней крепости. Лезвие долота по концам име-

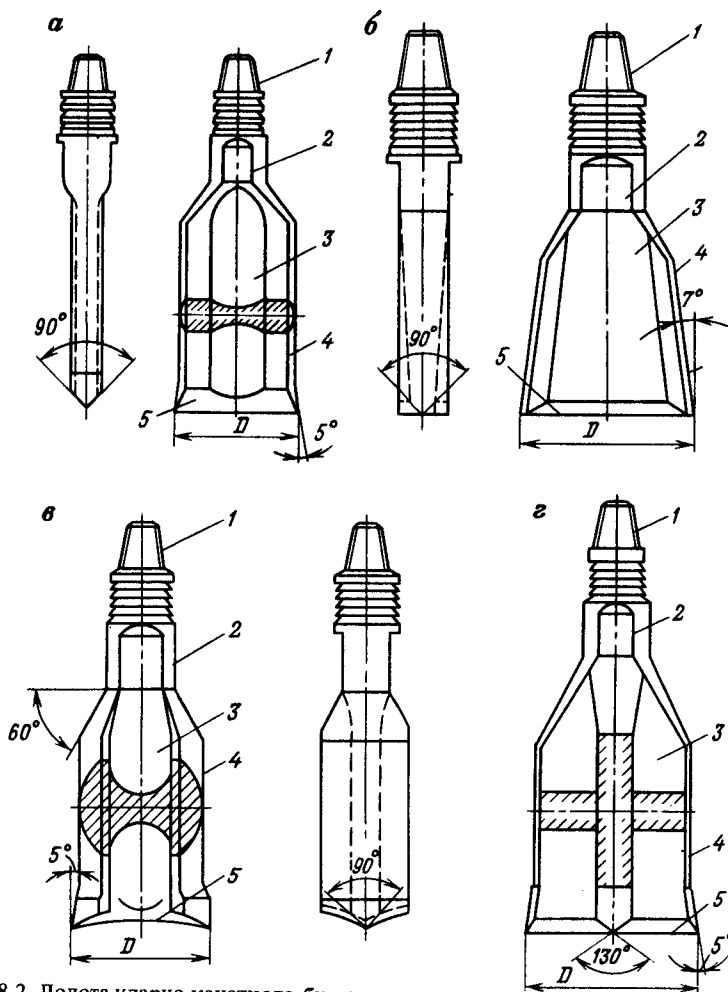


Рис. 8.2. Долота ударно-канатного бурения

ет выступающие в обе стороны борта, способствующие формированию круглой формы забоя.

Округляющее долото (рис. 8.2,в) служит для бурения твердых и трещиноватых горных пород. Оно имеет широкие ребра и вогнутое лезвие с углом приострения 110–130°.

Крестовое долото (рис. 8.2,з) используется при бурении тех же пород, что и округляющие. Форма поперечного сечения не позволяет долоту заклиниваться в трещины при бурении.

Длины лезвий долот стандартизованы и равны: 148, 198, 248, 298, 345, 395, 445, 495 и 595 мм. Масса долота зависит от его типа, длины лезвия и изменяется от 42 до 980 кг.

Существуют также долота специального назначения, к которым относятся пирамидальные и боковые долота. Пирамидальные долота используются для дробления и сдвига в сторону валунов. Боковое долото имеет корпус, смещенный относительно шейки долота, и лезвие дугообразной формы. Долота боковые и со скошенным лезвием применяют для расширения скважин при одновременном их креплении трубами, а также для ликвидации аварий.

Ударная штанга представляет собой массивный стальной цилиндр, имеющий на нижнем конце внутреннюю конусную резьбу для соединения с долотом, а на верхнем — наружную для соединения с раздвижной штангой или канатным замком. Диаметры ударных штанг 112, 140, 165, 188 и 220 мм. Штанги поставляются длиной 2, 4 и 6 м. Масса их зависит от диаметра и длины и изменяется от 270 до 1120 кг.

Раздвижная штанга (ножницы) представляет собой два вытянутых вдоль оси снаряда замкнутых звена, имеющих возможность перемещаться относительно друг друга. Рабочие раздвижные штанги имеют длину хода 250 мм, аварийные — до 500 мм. Поперечные размеры ножиц 120, 160, 190, 220 и 260 мм, масса их изменяется от 112 до 490 кг. Выбивание долота из трещиноватых и вязких пород с помощью ножиц происходит следующим образом. До удара долота о забой канат под действием веса снаряда растягивается. При ударе по забою с троса мгновенно снимается часть растягивающей нагрузки, равной суммарному весу долота, ударной штанги и нижнего звена ножиц. В результате резкого укорочения каната верхнее звено раздвижной штанги с большой силой ударяет по нижнему, облегчая отрыв снаряда при его заклинивании.

Канатный замок служит для соединения каната с буровым снарядом. Наибольшее распространение получили канатные замки с самовращающейся втулкой, в которой закрепляется конец каната. Упругие свойства последнего и наличие втулки обеспечивают периодические повороты снаряда и формирование забоя круглой формы. Масса канатных замков составляет от 37,7 до 127 кг.

Желонки предназначены для удаления из скважины разрушенной породы (шлама). Они используются также в качестве самостоятельного инструмента для бурения в песках и других рыхлых породах. В этом случае буровой снаряд состоит из желонки, раздвижной штанги и канатного замка, иногда добавляется ударная штанга. Корпус желонки выполняется из труб диаметром 114—486 мм муфтового соединения, башмак имеет диаметр на 6—12 мм больший, чем корпус.

Желонка 1 с плоским клапаном 4 (рис. 8.3,а) применяется для углубления скважины и ее чистки от шлама. Она имеет дужку 2 и башмак 3.

Желонка 1 с полусферическим клапаном 4 и языком 5 (рис. 8.3,б) предназначена для проходки скважин в песках, чистки скважин при бурении твердых пород, а также тартания (вычерпывание воды из скважины). Полусферический клапан 4 опирается на башмак 3, плотно закрывает желонку и лучше забирает шлам.

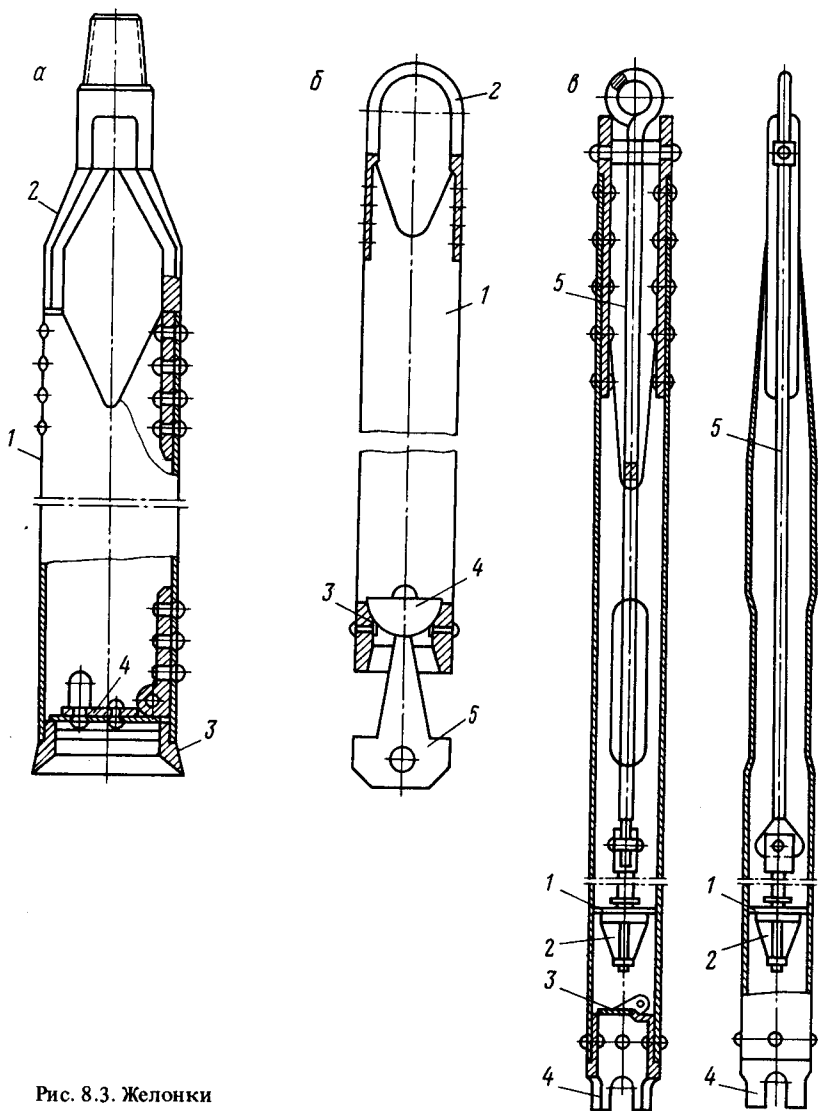


Рис. 8.3. Желонки

Для разрыхления песков клапан снабжен языком 5. Желонка 1 присоединяется к канату с помощью дужки 2.

Поршневая желонка эффективно применяется при проходке плывунов и водоносных песков. Желонка этого типа (рис. 8.3, в) состоит из трубы с режущим башмаком 4 и манжетой 3. Внутри трубы размещен поршень 2 с тарельчатым клапаном 1 и штоком 5, к концу которого прикрепляется канат. При спуске желонки на забой поршень 2 нахо-

дится в нижнем положении, а при подъеме, перемещаясь вверх, засасывает вследствие возникающего разрежения разжиженный шлам. Для исключения присасывания инструмента к забоям в башмаке желонки выполнены полукруглые вырезы.

Грейферная желонка, имеющая на башмаке подвижные челюсти, с успехом применяется для бурения скважин в галечниках. При ударе о забой челюсти раскрываются, а при подъеме с помощью тросов они смыкаются, захватывая гальку.

Обсадные трубы муфтового соединения применяются при ударно-канатном бурении для закрепления стенок скважины в неустойчивых породах. Способ спуска их — принудительный, т.е. их забивают после того, как забой углубился на определенный интервал ниже башмака обсадной колонны. Диаметр скважины в этом интервале меньше внутреннего диаметра обсадной колонны, так как забой формируется снарядом, перемещающимся внутри обсадных труб. Принудительный способ спуска обсадных труб обеспечивает не только закрепление стенок скважины, но и изоляцию отдельных неиспользуемых водоносных пластов. При забивке применяют короткие трубы длиной 2–3 м. Чтобы колонна труб последующего диаметра свободно проходила в трубы предыдущего диаметра, стандартные муфты обсадных колонн обтачивают до меньших размеров.

Для крепления скважин больших диаметров используют стальные безмуфтовые трубы, изготавливаемые по ГОСТ 8732–78, диаметрами 426–1420 мм с толщиной стенки 7–14 мм. Такие трубы соединяют в колонну электросваркой. Для крепления скважин, которые вскрывают агрессивные воды, применяют стальные трубы из легированных сплавов или покрытые защитным слоем пластика. При бурении устойчивых пород используются неметаллические обсадные трубы.

Стальные канаты предназначены для осуществления возвратно-поступательного перемещения бурового снаряда, чистки скважин и забивания обсадных труб. В качестве инструментальных используются канаты односторонней левой свивки, так как они раскручиваются под нагрузкой и скручиваются после ее снятия, обеспечивая поворот долота после каждого удара и предотвращая развинчивание снаряда. Канаты крестовой свивки используют в качестве желоночных и талевых.

Канат выбирают по максимальному разрывному усилию $P_{\text{раз}}$, которое определяется по формуле:

$$P_{\text{раз}} = tkP_c, \quad (8.1)$$

где t — коэффициент надежности, для инструментального каната $t = 10$; $k = 1,5$ — коэффициент возможного прихвата снаряда в скважине при подъеме; P_c — максимальный вес бурового снаряда, кН.

По величине $P_{\text{раз}}$ и соответствующим ГОСТам выбирают тип и диаметр каната.

§ 3. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ УДАРНО-КАНАТНОГО БУРЕНИЯ

К этой группе инструмента относятся инструментальные ключи, забивные головки, башмаки, хомуты, ключи шарнирные и цепные, домкраты и другой вспомогательный инструмент.

Инструментальные ключи применяют для свинчивания элементов бурового снаряда. Последний надо свинчивать с большим усилием (30 кН на рукоятке ключа) при помощи специальных приспособлений: цепного рычага или затяжной трещотки.

Хомуты предназначены для подвешивания обсадных труб при их спуске, наращивании колонны или ее извлечении из скважины.

Забивная головка служит для предохранения концов обсадных труб от разрушения при ударах по ним забивным снарядом. Она представляет собой массивный ступенчатый цилиндр, имеющий на боковой поверхности несколько нарезок для ввинчивания в муфту трубы. Во внутреннем канале головки движется ударная штанга забивного снаряда. Удары наносятся по верхнему торцу головки.

Забивной снаряд предназначен для принудительного спуска обсадной колонны и представляет собой ударную штангу, ввинченную в массивный диск и имеющую резьбу для соединения с канатным замком.

Вибропогружатель применяется для принудительной посадки обсадных труб. Сущность способа заключается в передаче опускаемой обсадной колонне продольных вибраций или высокочастотных ударов. В первом случае используются вибраторы, во втором — вибромолоты. Последние, работая в вибрационно-ударном режиме, более эффективны при посадке обсадных колонн в плотные породы на значительные интервалы.

Схема посадки обсадных труб с помощью пружинного вибромолота показана на рис. 8.4. Вибромолот 1 крепится к верхнему концу об-

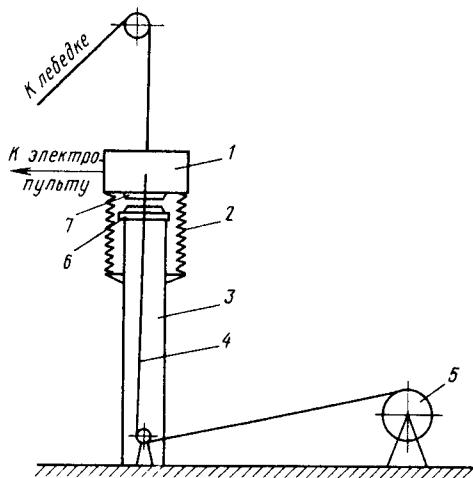


Рис. 8.4. Принципиальная схема погружения обсадных труб вибромолотом

садной трубы 3 и удерживается в вертикальном положении тросами 4, которые натягиваются специальной лебедкой 5. При натяжении троса рабочие пружины 2 сжимаются. В момент достижения заданного усилия сжатия пружин срабатывает специальный концевой выключатель электропривода лебедки. Затем включается вибромолот, который ударным стаканом 7 наносит высокочастотные удары по забивной головке 6. По мере погружения обсадной колонны натяжение пружин 2 ослабевает. Электропривод лебедки включается, и цикл повторяется.

После погружения колонны на определенный интервал проводят желонирование. Для этого лебедка растормаживается, вибромолот откидывается в сторону, освобождая проходное сечение обсадной колонны. После чистки скважины вибромолот приводят в исходное положение, включают лебедку, трос 4 натягивается и процесс вибропогружения труб продолжается.

§ 4. УСТАНОВКИ УДАРНО-КАНАТНОГО БУРЕНИЯ

При сооружении гидрогеологических скважин на воду используют следующие серийно выпускаемые буровые установки: УГБ-ЗУК, УГБ-4УК, "Амурец-100", БУ-20-2УШ. Конструкции указанных установок во многом аналогичны. Все они имеют двигатель (дизельный или электрический), инструментальную и желоночную лебедки, ударный механизм, мачту для спуско-подъемных операций и транспортную базу. За исключением БУ-20-2УШ установки буксируются трактором или автомобилем.

Техническая характеристика установок ударно-канатного бурения

Тип установки	"Амурец-100"	УГБ-ЗУК	УГБ-4УК	БУ-20-2УШ
Глубина бурения, м.	100	300	500	200
Наибольший диаметр скважины, мм. . .	175	600	200	400
Частота ударов снаряда о забой, уд/мин	50-65	40-50	40-50	50-52
Высота подъема снаряда, мм	283-605	350-1000	500-1000	520-700
Грузоподъемность лебедки, т:				
инструментальной.	2	2	3	1,2
желоночной.	1,5	1,26-1,56	1,2-1,68	2,1
талевой	0,68-0,93	0,8-1	0,95-1,22	1,1
Средняя скорость навивки каната на инструментальный барабан лебедки, м/с	0,6	1,1-1,37	1,1-1,42	1,4
Мощность привода, кВт	15	22	40	20
Высота мачты, м.	10,8	13	16	11,7

§ 5. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ И ЗАБУРИВАНИЕ СКВАЖИНЫ

Перед началом бурения составляют конструкцию скважины, разрабатывают технологию ее проходки, намечают комплекс исследований, определяют требуемое буровое оборудование, буровой и аварийный инструменты, материалы. При составлении конструкции учитывают целевое назначение скважины, ее проектную глубину, необходимый конечный диаметр скважины, а также характер разбуриваемых пород.

Глубина скважины зависит от глубины залегания кровли полезного ископаемого или водоносного горизонта (при бурении водозаборных скважин) и глубины, на которую вскрывается пласт. Конечный диаметр поисково-разведочных скважин зависит от вида разведываемого полезного ископаемого. При разведке россыпных месторождений для получения представительной пробы конечный диаметр скважины обычно принимается 148–198 мм, конечный диаметр скважин на воду определяется поперечными размерами ее водоприемной части.

Затем устанавливают необходимое число обсадных колонн и их длину. Количество колонн зависит от устойчивости проходимых пород и наличия неиспользуемых водоносных горизонтов (при бурении на воду). При слабоизученном разрезе число колонн определяется по средней величине их выхода, т.е. по разнице между длинами двух смежных обсадных колонн. По известной глубине скважины L , величине выхода l находят начальный диаметр скважины:

$$d_n = d_k + a \frac{L}{l}, \quad (8.2)$$

где d_k — конечный диаметр скважины, мм; $a = 50$ — разница между смежными диаметрами колонн, мм.

При бурении рыхлых и неустойчивых пород выход колонны в среднем составляет 30–50 м, при проходке связных, более устойчивых пород — до 80 м. Башмаки обсадных колонн нужно устанавливать в связные плотные породы с углублением в них на 2–3 м.

В соответствии с конструкцией скважины, т.е. по глубине и диаметрам, выбирают буровую установку, а в зависимости от твердости и устойчивости пород — соответствующий технологический инструмент. Разрабатывают технологию проходки скважин, которую заносят в геолого-технический наряд (табл. 8.1).

Забуривание скважины заключается в проходке шурфа сечением 1х1 и глубиной 1–2 м. На дно шурфа укладывают крестовину с отверстием под направляющую трубу, а для центрирования последней на устье скважины устанавливают доски с полукруглыми вырезами. Направляющую трубу опускают в отверстие крестовины и забивают легкими ударами забивного снаряда, проверяя вертикальность трубы отвесом. После посадки направляющей трубы затрубное пространство бетонируют. Возвышение верхнего конца трубы над устьем должно составлять

Объединение _____
 Экспедиция _____
 Проектная глубина скважины, м _____
 Тип скважины _____
 Буровая установка _____
 Скважина начала бурением _____
 Скважина окончена бурением _____

Геолого-технический наряд ударно-канатного бурения

Картерная попод по бумности	Описание попод	Расчетная относительная масса снаряда, кг	Диаметр долота, мм	Тип долота	Угол приострения лезвия, градус	Расчетная масса снаряда, кг	Размеры инструмента												Желонка																	
	Долото	Масса, кг	Длина, мм	Размер шейки, мм	Ударные штанги	Номинальный размер, мм	Число	Общая длина, мм	Общая масса, кг	Номинальный размер, мм	Длина, мм	Масса, кг	Номинальный размер, мм	Длина, мм	Масса, кг	Число	Общая длина, мм	Общая масса, кг	Общая масса бурового снаряда, кг	Масса рабочей части снаряда, кг	Фактическая относительная масса, кг	Общая длина бурового снаряда, мм	Тип	Номинальный размер, мм	Длина, мм	Масса, кг										
	Канатный замок	Номинальный размер, мм	Длина, мм	Масса, кг		Номинальный размер, мм	Число	Общая длина, мм	Общая масса, кг																											
	Ножницы	Масса, кг	Длина, мм	Номинальный размер, мм																																

0,5 м. Породу из трубы удаляют желонкой, предварительно залив в скважину 20–30 л воды.

В твердых породах скважину забуривают буровым снарядом, состоящим из долота и ударной штанги.

§ 6. ТЕХНОЛОГИЯ УДАРНО-КАНАТНОГО БУРЕНИЯ

Ударно-канатное бурение осуществляется в следующем порядке: спуск бурового снаряда, разрушение забоя (долбление), подъем снаряда, чистка скважины от разрушенной породы (желонирование), крепление скважины обсадными трубами. При проходке рыхлых и малосвязных пород из этих операций исключают долбление, подъем и спуск бурового снаряда.

Забой разрушают на глубину 0,3–0,5 м в твердых и на 0,5–1 м в мягких породах. При бурении сухих пород для эффективной передачи ударной нагрузки на забой и облегчения чистки в скважину доливают 50–100 л воды за рейс. Затем проводят желонирование. Для этого желонку поднимают на 3–5 м над забоем и свободно сбрасывают. Эта операция повторяется 5–8 раз, после чего желонку поднимают на поверхность и очищают от шлама.

Крепление скважины трубами ведут методами принудительного или свободного спуска. Первый метод (его называют также методом ходовой колонны) применяется в рыхлых неустойчивых породах и заключается в креплении скважины с одновременным углублением. В мягких породах колонна часто опускается вниз под действием собственного веса при чистке скважины желонкой. Если колонна прекращает движение вниз, ее погружают в породу ударами забивного снаряда или с помощью вибратора. Забивку труб прерывать не рекомендуется, особенно в песках, так как прекращение посадки труб даже на незначительное время вызывает их прихват породой. Принудительный спуск колонны прекращается, если после 70–80 ударов трубы опустились не более чем на 1 см. Посадка труб в этом случае возобновляется после углубления скважины и ее чистки.

Процесс посадки труб с помощью вибропогружателей возможен в том случае, если возмущающее усилие вибромашины превышает силу сцепления колонны со стенками скважины и образующимся при погружении керном. Кроме того, необходимо, чтобы суммарный вес обсадной колонны и вибромеханизма был больше силы реакции забоя, величина которой зависит от площади поперечного сечения башмака колонны и прочности породы при сжатии. Прочность породы составляет: для глин 0,5, для песков 0,15–0,3 МПа. Глубина погружения обсадных труб зависит от свойств породы, мощности вибромашины и не превышает 100 м.

Свободный спуск труб применяется в устойчивых породах. Обсадную колонну опускают свободно после углубления скважины на 50–70 м при переходе на другой диаметр. Длина лезвия долота бурового

снаряда в этом случае должна быть больше диаметра муфт опускаемой колонны. Башмак каждой колонны должен быть забит в глины или другую породу, изолирующую водоносные пласты (при бурении водозаборных скважин). Если эта возможность отсутствует, на забой забрасывают и утрамбовывают жирную глину. В образовавшийся слой глины мощностью 1,5–2 м забивают обсадную колонну, после чего переходят на бурение долотом или желонкой меньшего размера.

Одним из недостатков ударно-канатного бурения является небольшой выход колонны при ее принудительном спуске, в особенности при использовании забивных снарядов. В результате конструкция скважины получается сложной и металлоемкой. Например, при глубине 100 м обычно конструкция состоит из двух колонн, а при глубине 200 м – уже из четырех. Небольшой выход колонны объясняется действием боковых сил трения, возникающих при забивке труб, причем сила трения возрастает пропорционально выходу колонны.

С целью увеличения выхода колонн разработан метод их посадки с помощью "тиссотропной рубашки", представляющей высококачественный глинистый раствор. Метод позволяет резко снизить силы трения на границе боковой поверхности забиваемой колонны и породы, предотвратить обрушение стенок скважины. Использование тиссотропной рубашки способствует повышению выхода колонн до 120 м. Способ применяется при бурении песчано-глинистых пород, расположенных над водоносным пластом.

Сущность проходки скважин с применением тиссотропной рубашки заключается в следующем (рис. 8.5). После установки кондуктора 5 на глубину 20–25 м вокруг устья выкапывают шурф 2 объемом 4–5 м³ с вогнутым дном. К шурфу подводят желоб 3 для подачи глинистого раствора из глиномешалки 4. На 30–40 см выше дна шурфа в кондукторе вырезают три-четыре отверстия 12. Затем опускают вспомогательную промежуточную колонну 7, диаметр которой на 100 мм меньше диаметра кондуктора. На нижний конец вспомогательной колонны вместо обычного башмака навинчивают конусный башмак-рас-

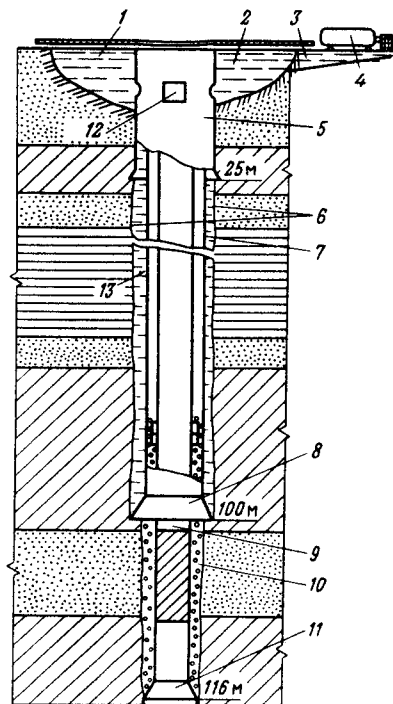


Рис. 8.5. Схема сооружения скважины под защитой тиссотропной рубашки

ширитель 8. В начале спуска колонн в кольцевой зазор между колоннами забрасывают жирную глину для образования вокруг башмака-расширителя 8 тампона высотой 0,5 м.

После установки колонны 7 на забой в шурф заливают глинистый раствор 1, который через отверстия 12 в кондукторе заполняет кольцевой зазор между колоннами, образуя тиксотропную рубашку 13. По мере углубления скважины глинистый раствор добавляют в шурф 2 с таким расчетом, чтобы полностью заполнялось кольцевое пространство между стенками скважин 6 и колонной 7. Плотность раствора должна быть $1,05-1,2 \text{ г/см}^3$, вязкость 22–25 с.

В мягких породах углубление скважин осуществляется желонированием. При этом колонна 7 опускается под действием собственного веса, срезая конусным башмаком 8 кольцевой уступ породы и расширяя скважину.

При бурении плотных глинистых пород после долбления и чистки скважины обсадная колонна погружается с помощью забивного снаряда или вибратора. Наличие глинистого раствора за колонной значительно облегчает ее посадку. Погружение колонны прекращается в кровле водоносного пласта, который вскрывается и оборудуется фильтровой колонной 9 с башмаком-расширителем 11 и гравийной обсыпкой 10. Диаметр фильтровой колонны должен быть на 100–150 мм меньше диаметра вспомогательной колонны.

Параметры технологического режима ударно-канатного бурения

Производительность ударно-канатного бурения определяется типом выбранного долота, массой бурового снаряда, высотой подъема над забоем и частотой ударов долота, а также режимом выноса шлама. Типоразмер долота и массу снаряда выбирают в зависимости от конструкции скважины и твердости пород.

Расчетная масса бурового снаряда M_p подбирается по так называемой относительной массе m_o (в кг/см)

$$m_o = M_p / L_d, \quad (8.3)$$

где L_d — длина лезвия долота, см.

Величина относительной массы m_o назначается: при бурении мягких пород IV категории 15–30 кг/см; при бурении пород средней твердости V категории 30–40 кг/см; при бурении крепких пород VI категории 40–50 кг/см; при бурении весьма крепких пород VII категории 50–80 кг/см.

Зная категорию пород и длину лезвия выбранного долота, с учетом формулы (8.3) можно определить расчетную массу снаряда

$$M_p = m_o L_d. \quad (8.4)$$

Состав снаряда зависит от трещиноватости, вязкости и твердости

пород. При полном составе масса снаряда M_c , принимающая участие в ударе по забой,

$$M_c = m_1 + m_2 + \frac{1}{2} m_3, \quad (8.5)$$

где m_1 , m_2 , m_3 — масса соответственно долота, ударной и раздвижной штанг, кг.

Массу долота m_1 находят в соответствующих справочниках с учетом ранее выбранных его типа и длины лезвия. Затем с учетом размеров присоединительной резьбы выбирают ударную и раздвижную штанги и канатный замок. При этом изменением длины, а следовательно, массы выбираемой ударной штанги m_2 стремятся приблизительно выполнить равенство (8.5). Если снаряд состоит из долота, ударной штанги и канатно-го замка, то следует выполнить условие:

$$M_c = m_1 + m_2 + m_4 \quad (8.6)$$

(m_4 — масса канатного замка, кг).

Мягкие породы часто бурят снарядом, состоящим из желонки, ударной штанги и канатного замка. Расчетную массу бурового снаряда определяют по формуле (8.4), учитывая, что в данном случае $L_d = \pi D$, где D — диаметр башмака желонки, см. Величину m_0 принимают равной 5–10 кг/см, диаметр желонки — на 20–30 мм меньше внутреннего диаметра обсадных труб, а при бурении песков-плывунов — на 100 мм меньше.

Рациональная частота ударов n долота связана с высотой сбрасывания h снаряда на забой следующей зависимостью:

$$n = 20\sqrt{a/h}, \quad (8.7)$$

где a — ускорение падения снаряда в шламовой среде, при бурении глин $a = 4,5 \div 5$ м/с², в крепких породах $a = 6 \div 6,5$ м/с², в чистой скважине $a = 8,7$ м/с².

Высоту сбрасывания снаряда h принимают в зависимости от твердости пород. Она составляет 0,35–1 м, причем с повышением твердости ее следует увеличивать.

На эффективность разрушения забоя влияет также режим выноса шлама, т.е. плотность и количество шлама в скважине. Оптимальная его плотность должна быть в пределах 1,5–1,7 г/см³ и достигается подливом в скважину 20–60 л воды на 1 м углубления. При такой плотности образующейся пульпы разрушенные частицы породы удерживаются во взвешенном состоянии. Высоту столба воды с продуктами разрушения рекомендуется поддерживать в течение рейса в пределах 3–4 м.

Длина рейса составляет 0,9–1 м в мягких породах и 0,3–0,5 м в твердых. Разрушение забоя должно проводиться при натянутом канате плавно, без рывков. Это достигается за счет расстояния между лезвием долота, находящегося в крайнем нижнем положении, и забоем скважины. Величина этого расстояния равна 10 см и зависит от длины рабочей части и эластичности каната, массы снаряда и ускорения его падения в

шламовой среде. Дополнительное удлинение каната, обеспечивающее внедрение долота, происходит в конце падения снаряда. В этот момент вследствие резкого торможения инструмента канат будет растягиваться под действием веса снаряда и дополнительной динамической силы $T = M_{ca}$. В результате долото перемещается вниз и внедряется в забой скважины.

Особенности технологии ударно-катаного бурения в различных геологических условиях

Бурение в песках ведется желонкой с плоским или полусферическим клапаном с использованием утяжеленной ударной штанги. Углубление забоя составляет 0,5–0,75 м ниже башмака обсадной колонны с последующей забивкой труб. Высота сбрасывания желонки — 1 м и более при минимальной частоте ударов.

Бурение в водонасыщенных песках и плывунах также осуществляется желонками, причем при проходке плывунов эффективно использование поршневых желонки. Диаметр желонки должен быть на 100 мм меньше внутреннего диаметра обсадной колонны для исключения ее прихвата. При проходке напорных плывунов в обсадной колонне нередко образуются песчаные пробки высотой 6–10 м. Для создания необходимого противодействия в скважину заливают глинистый раствор плотностью 1,2–1,25 г/см³. Водонасыщенные пески и плывуны следует проходить быстро, одной колонной. Крепление скважины трубами должно опережать углубку, т.е. первоначально осуществляется посадка труб, а затем чистка скважины желонкой.

Бурение галечников и гравийных пород ведется двутавровыми долотами, грейферными желонками или желонками с плоским клапаном, который утяжеляют ударной штангой массой 350–400 кг. Во избежание заклинивания галькой внутренний диаметр желонки должен быть на 30 % меньше внутреннего диаметра обсадных труб. Высота сбрасывания желонки составляет 0,8–1 м. Крепление осуществляется с одновременным углублением забоя. Если при чистке извлекается только мелкая галька, используется пирамидальное долото, которое разрушает крупную гальку и забивает ее в стенки скважины. Дальнейшая проходка осуществляется с опережением забоя на 1–1,5 м и последующим креплением этого интервала трубами. Промытые галечники и сухие гравелистые пески лучше забираются желонкой, если предварительно в скважину забросить комки жирной глины. Это позволяет также предотвратить обрушение стенок скважины.

Бурение в валунных отложениях требует большого опыта, так как в этих условиях скважина часто искривляется, ломается инструмент в резьбовых соединениях. Крупные валуны разрушаются округляющими долотами, а буровой снаряд утяжеляется второй ударной штангой. Мелкие валуны разрушаются или сдвигаются к стенкам скважины пирамидальными долотами. При работе тяжелым буровым снарядом высота его сбрасывания должна быть максимальной (до 1 м). Для

предупреждения искривления скважины на забой подсыпают щебенку крепких пород. Крупные валуны эффективно разрушать с помощьюкумулятивных зарядов взрывчатых веществ. При взрыве обсадные трубы должны быть приподняты для предотвращения их повреждения. Взрывные работы проводят только специалисты-взрывники.

Бурение в глинах обычно проводят без крепления скважин трубами на протяжении нескольких десятков метров, так как глинистые породы обладают достаточной устойчивостью. Плотные сухие глины бурят двутавровым долотом на глубину 0,5–0,75 м и подливают 20–30 л воды (при появлении в скважине грунтовых вод подлив прекращается). Скважину чистят желонкой с плоским клапаном. Иногда применяют желонку со снятым клапаном или буровой стакан, на боковой поверхности которого выполняют продольные вырезы для ускорения его очистки. В состав снаряда, кроме стакана, входит ударная и раздвижная штанги. Частота ударов бурового снаряда (долота, желонки) должна быть 40–50 в 1 мин при высоте подъема до 1 м.

Бурение трещиноватых и закарстованных пород осуществляется крестовыми и округляющими долотами. Высота подъема снаряда составляет не более 1 м, частота ударов долота — до 60 уд/мин. Скважина за рейс углубляется не более чем на 0,4–0,7 м, после чего этот интервал закрепляют трубами. Воду подливают порциями (2–3 л через 1–2 мин). Суммарный объем подливаемой воды за рейс 25–30 л. Для исключения поглощения воды в скважину забрасывают 7–10 кг жирной глины за рейс. Образующийся на забое глинистый раствор повышает устойчивость стенок скважины.

Бурение твердых монолитных пород ведется тяжелым буровым снарядом, состоящим из округляющего долота с большим углом приострения, ударной и раздвижной штанг. В процессе бурения необходимо следить за износом долота по диаметру. Если длина лезвия уменьшилась на 3–5 мм, долото заменяют. Обработку стенок скважины начинают на 2–3 м выше забоя с целью исключения заклинивания нового долота.

Разрушение забоя ведется при высоте подъема снаряда до 1 м и частоте 40–45 уд/мин. Особенно важно следить за рациональной навеской долота. Длина рейса при бурении крепких пород составляет 0,3–0,5 м. В сухую скважину подливают 20–30 л воды на один рейс. При прекращении бурения нужно поднять снаряд выше уровня шлама для исключения прихвата.

При бурении многолетнемерзлых пород для предотвращения прихватов бурового снаряда, возникающих вследствие низких температур, в скважину подливают 10–15 л горячего солевого раствора при концентрации соли 10–15 %. Указанный объем требуется при углублении скважины на 0,4–0,5 м. Затем желонкой удаляют шлам и остывшую воду. Для предотвращения заклинивания необходимо, чтобы снаряд постоянно находился в движении.

При разведке россыпных месторождений обсадную колонну первоначально забивают или задавливают в забой на 0,2–

0,5 м, что является интервалом опробования. Затем облегченным снарядом с плоским долотом разрыхляют породу и извлекают ее на поверхность поршневой желонкой. Для получения качественной пробы выше башмака обсадной колонны должен оставаться предохранительный столбик породы высотой 2–3 см. В крепких породах забой углубляется ниже башмака обсадных труб на величину интервала опробования. Затем колонну опускают и желонкой удаляют разрушенную породу.

§ 7. ОТБОР ПРОБ И ИХ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРИ УДАРНО-КАНАТНОМ БУРЕНИИ

Пробы отбирают из бурового шлама или в виде монолитов (кернов). Первый способ применяется чаще. При каждом рейсе такая проба отбирается из-под клапана желонки при ее последнем подъеме с забоя. Если желонка вместо кусков породы поднимает разжиженный шлам, то его наливают в сосуд, дают возможность отстояться и пробу берут из осадка.

При бурении поисково-разведочных скважин проба должна быть отобрана из каждой разновидности пород. При большой мощности слоя отбор проб осуществляется через 1,5–2 м проходки, а в малоизученных разрезах интервал опробования сокращается в 2 раза. Образцы отбирают также при любом изменении породы (ее минерального или гранулометрического состава, плотности, цвета, твердости). Отобранные образцы просушивают и укладывают в ящики, которые разделены на отдельные ячейки. Вместе с образцами в ячейку вкладывают этикетку, в которой указывают номер скважины, номер образца, глубину его взятия, название породы, мощность пласта и глубину его подошвы, дату отбора образца и фамилию лица, взявшего образец.

Пробы с ненарушенной структурой отбирают забивными стаканами и грунтоносами.

§ 8. ПРИЧИНЫ АВАРИЙ И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

К осложнениям при ударно-канатном бурении относятся образование песчаных пробок в скважине при вскрытии плывунов, обвалы стенок, сужение ствола и искривление скважины. Основными причинами аварий являются: чрезмерное углубление скважины ниже башмака обсадной колонны в неустойчивых породах; чрезмерный износ долота и его заклинивание; большое скопление шлама на забое; неотрегулированное расстояние между лезвием долота и забоем или увеличенная высота его сбрасывания при бурении трещиноватых и вязких пород; небрежный осмотр резьбовых соединений снаряда; нарушение технологического режима бурения и др.

Эти причины вызывают следующие виды аварий:
прихват бурового снаряда или желонки шламом или обвалившейся со стенок скважины породой;

обрыв инструментального или желоночного каната;
развинчивание элементов бурового снаряда и оставление их в скважине;

заклинивание ("спаривание") смежных обсадных колонн.

С целью предупреждения аварий необходимо строго соблюдать технологию бурения. При изменении буримости пород нужно установить по шламу, какая порода вскрыта, и принять соответствующие меры по изменению технологии бурения. Элементы снаряда необходимо свинчивать с большим усилием. На затянутых резьбовых соединениях следует делать метки и периодически осматривать их состояние.

Допустимый износ долота по диаметру должен составлять не более 3–5 мм. Бурение надо вести при натянутом канате. При чистке скважины желонку следует наполнять шламом не более $\frac{2}{3}$ ее объема, так как переполнение желонки вызывает ее прихват. При внезапном отключении электроэнергии для исключения заклинивания необходимо приподнять снаряд на 2–3 м от забоя.

§ 9. ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙ ПРИ БУРЕНИИ

При возникновении аварии необходимо установить положение и размер оставшегося в скважине инструмента, а также характеристику пород, слагающих разрез. Положение оставшегося инструмента устанавливают путем осмотра верхней части снаряда, извлеченного из скважины. Если осмотр не дает полной ясности, в скважину опускают печать.

Для ликвидации аварии применяют ловильный снаряд, состоящий из ловильного инструмента, раздвижной штанги с большим ходом звеньев (500–600 мм), ударной штанги и канатного замка. В зависимости от вида аварии в состав снаряда включаются различные ловильные инструменты. При обрыве инструментального или желоночного каната применяют однорогий или двурогий ерш. Первый используется, если оборванный канат располагается в скважине плотным клубком, второй — если канат имеет вид спирали.

Однорогий ерш представляет собой заостренный снизу стержень, на котором по винтовой линии закреплены когти. На верхнем торце стержня нарезана резьба для соединения с ударной или раздвижной штангой. Ловильный снаряд с ершом опускают в скважину до оборванного каната. Сообщая снаряду возвратно-поступательное перемещение, добиваются прочного зацепления каната когтями ерша. Затем поднимают оборванный канат с оставленным инструментом. Если усилия на барабане недостаточно для извлечения инструмента, то его выбивают с помощью ловильных ножниц или поднимают с помощью талевой системы.

Двурогий ерш представляет собой вилку, с внутренней стороны которой закреплены когти. Верхний конец ерша имеет резьбу для соединения с ловильным снарядом, а в нижней части вилки расположено на защелка для ловли желонки на дужку. Методика ловли оборванного

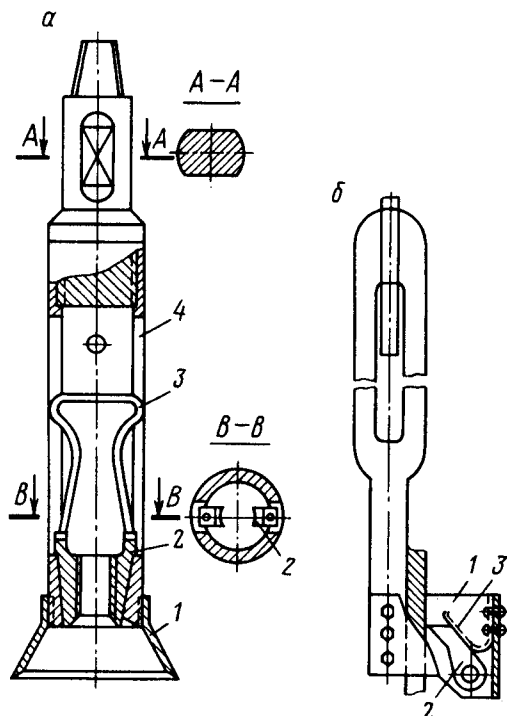


Рис. 8.6. Инструменты для ликвидации аварий при ударно-канатном бурении

каната этим ловильным инструментом такая же, как и при использовании однорогого ерша.

Ловитель (рис. 8.6,а) применяется для ловли оставшегося в скважине бурового снаряда или его отдельных элементов. Ловитель состоит из корпуса 4, имеющего внутри коническую расточку, соединительного патрубка, трех плашек 2 с резьбой или насечкой, опорного патрубка с приваренным фланцем, направляющего патрубка 1 и пружины 3. Ловильный снаряд с ловителем опускают в скважину. Как только ловитель достигнет до головки оставленного инструмента, его начинают набивать на инструмент при помощи ловильной раздвижной штанги. Плашки ловителя скользят вверх, увеличивая отверстие, в которое входит шейка вылавливаемого инструмента. При движении ловильного снаряда вверх плашки ловителя, перемещаясь вниз, прочно зажимают вылавливаемый инструмент, после чего снаряд извлекают из скважины. Если инструмент сильно зажат шламом, то его выбивают с помощью ловильных ножниц.

Канаторезка (рис. 8.6,б) служит для вырезки каната у канатного замка. Она применяется при сильном прихвате оставленного в скважине инструмента и состоит из скобы 1, резака 2 и пружины 3. Канаторезка спускается в скважину на отдельном канате. При этом отрезает

мый канат пропускается внутри скобы 1. При ударах ловильного снаряда снизу вверх резак 2 перерезает канат.

Бок овое долото применяют для разрушения породы вокруг прихваченного бурового снаряда и для его центрирования в скважине. Рабочая часть долота имеет в сечении дугообразную форму и должна быть длиннее снаряда, оставленного в скважине.

Желонка с плоским клапаном, магнитный фрезер и паук используют для извлечения мелких металлических предметов.

Ловильные инструменты вращательного бурения при наличии бурильных труб применяют для ликвидации различных аварий при ударно-канатном бурении. В некоторых случаях для сдвигания оставленных частей инструмента в сторону эффективны взрывные работы.

Контрольные вопросы к гл. 8

1. Из каких элементов состоит снаряд ударно-канатного бурения? Для какой цели предназначен каждый элемент снаряда?
2. Какие типы долот применяются при ударно-канатном бурении?
3. Назначение и основные типы желонки.
4. Забуривание скважины при ударно-канатном бурении.
5. Сущность технологии ударно-канатного бурения методом принудительного спуска обсадных труб.
6. Сущность метода ударно-канатного бурения с применением тиксотропной пробашки.
7. Параметры технологического режима ударно-канатного бурения. Их расчет.
8. Отбор проб при ударно-канатном бурении.
9. Виды осложнений и аварий при ударно-канатном бурении и их причины.
10. Инструменты для ликвидации аварий при ударно-канатном бурении.

Глава 9

БУРЕНИЕ НЕГЛУБОКИХ СКВАЖИН

Целевое назначение неглубоких скважин — инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания, поиски и разведка россыпных месторождений, строительных материалов, сейсморазведочные и специальные геофизические работы. Глубина скважин этой группы, как правило, не превышает 50–60 м (до 95 % общего объема бурения). Диаметр скважин определяется их целевым назначением. Например, для инженерно-геологических и гидрогеологических исследований требуются скважины диаметром до 250–400 мм или проходка шурфо-скважин диаметром до 1500 мм. Разбуриваемые породы в большинстве случаев рыхлые, неустойчивые в стенках скважины. Наряду с мягкими (суглинки, глины, пески, лесс) встречаются труднобуримые породы (валуно-галечниковые отложения). Часто требуется отбор проб с ненарушенной структурой.

Указанные условия работ, их большие объемы обуславливают применение специальных, в том числе комбинированных способов бурения, использование компактного и транспортабельного бурового оборудования. В настоящее время неглубокие скважины бурят пенетрационным, вибрационным, шнековым, ударно-канатным и комбинированным способами. Ручное бурение почти полностью вытеснено механизированным и применяется лишь в труднодоступных районах при проходке одиночных скважин.

§ 1. ПЕНЕТРАЦИОННОЕ БУРЕНИЕ

Этот метод называется также зондированием и имеет две разновидности: статический и динамический.

Статическое зондирование заключается в погружении породоразрушающего инструмента, имеющего форму конуса, в мягкие породы под действием осевой статической нагрузки большой величины (100—150 кН). Такая нагрузка создается мощной гидравлической системой буровой установки и передается породоразрушающему инструменту через колонну бурильных труб. Скважина формируется за счет деформации породы под торцом инструмента и уплотнения ее в стенки скважины.

С помощью статического зондирования определяют сопротивление грунта по лобовой и боковой поверхности, а по этим показателям — плотность сложения песчаных грунтов, модуль их деформации и т.д.

Для статического зондирования применяют специализированные самоходные и передвижные установки, а также приставки к буровым станкам. Наиболее совершенное техническое средство — разработанные во ВСЕГИНГЕО пенетрационно-каротажные станции. Они позволяют использовать в комплексе статическое зондирование и радиоактивный каротаж. Это в свою очередь дает возможность оценить основные физико-механические свойства грунтов и получить диаграммы непрерывного изменения их по глубине. С помощью ГГК и НГК определяют естественную радиоактивность, плотность и влажность грунтов, с помощью зондирования — лобовое сопротивление и трение по боковой поверхности.

Пенетрационные каротажные станции выпускают в двух модификациях: СПК и СПК-Т. Станция СПК-Т включает автомобиль ЗИЛ-131, на шасси которого размещена вдавливающая установка и пульт с регистрирующей аппаратурой. Основной узел вдавливающей установки — гидравлическая система, которая передает через колонну бурильных труб большое (до 190 кН) статическое усилие измерительному зонду, вдавливаемому в рыхлые грунты. Зонд оснащен датчиками, которые по каналу связи, расположенному внутри бурильной колонны, непрерывно передают информацию об указанных свойствах грунтов. Установка СПК-Т обеспечивает вдавливание зонда диаметром 80 мм на глубину до 30 м в породы I—III категорий по буримости со скоростью углубления до 0,1 м/с.

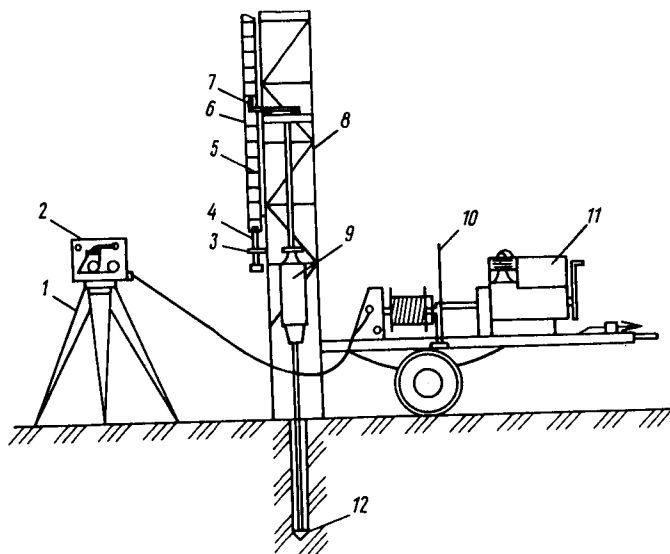


Рис. 9.1. Дополнительные элементы, монтируемые на установках для записи параметров динамического зондирования:

1 – тренога; 2 – регистратор; 3, 4 – механизм подъема рейки; 5 – контакты; 6 – измерительная рейка; 7 – скользящий контакт; 8 – мачта установки; 9 – пенетрационный молот; 10 – рычаг управления; 11 – самописец; 12 – зонд

Динамическое зондирование заключается в забивании конусного зонда ударами молота. В результате определяют динамическое сопротивление грунтов, которое оценивается кинетической энергией падающего молота и количеством ударов, необходимых для углубления на 10 см зонда определенных геометрических размеров. Специализированные установки динамического зондирования, например УБП-15М, включают силовой привод, лебедку, мачту и пенетрационный молот. Созданы также приставки к установкам вращательного, ударного и вибрационного бурения, позволяющие осуществлять динамическое зондирование.

Для непрерывной записи параметров разработаны дополнительные элементы (рис. 9.1), которые можно использовать с установками любого типа. Электронные и электромеханические регистраторы измеряют число ударов пенетрационного молота и скорость углубления зонда, а с помощью самописцев на диаграмме вычерчивают график динамического сопротивления грунта по глубине скважины.

§ 2. ВИБРАЦИОННОЕ БУРЕНИЕ

Этот способ проходки скважин заключается в передаче буровому снаряду высокочастотных колебаний или ударов. Различают вибрационное и виброударное бурение. Генератором колебаний является вибратор,

расположенный на поверхности. При первой разновидности бурения вибратор жестко связан с буровым снарядом, образуя в процессе проходки скважины единую колеблющуюся систему. При виброударном бурении буровой снаряд связан с вибратором скользящей посадкой. Вибратор в результате возникающей при его работе знакопеременной силы подбрасывается вверх и своей массой наносит удары по буровому снаряду.

При вибрационном бурении формирование скважины происходит в результате передачи колебаний окружающим буровой снаряд частицам породы. В песчаных грунтах это явление приводит к резкому снижению сил сцепления между частицами и трения между боковой поверхностью снаряда и окружающими породами. Сила веса бурового снаряда и вибратора в этом случае превышает указанную суммарную силу сопротивления породы, и буровой снаряд как бы тонет в ней, углубляя скважину. При бурении глинистых пород под действием колебаний из них выделяется связанная вода, которая, смазывая боковую поверхность снаряда, резко снижает силы трения при его погружении в грунт.

Виброударный способ формирования скважины реализуется за счет дробления и уплотнения буримых пород. Из рассмотренных двух разновидностей бурения виброударное применяется значительно чаще вследствие возможности эффективной проходки более широкого диапазона пород. Виброударное бурение эффективно в породах I–IV категорий по буримости. Наибольшую буримость имеют увлажненные суглинки, супеси, меньшую — сухие плотные глины и пески. Плохо поддаются вибробурению крупнообломочные породы. Глубина скважин при использовании вибромеханизмов, расположенных на поверхности, составляет 25–30 м. Эффективность дальнейшего углубления резко снижается вследствие поглощения большей части энергии колебаний буровым снарядом.

Принцип действия вибратора заключается в следующем (рис. 9.2). Вал электродвигателя 1 через трансмиссию 2 передает вращение двум дискам, с которыми жестко связаны смещенные относительно вращения на величину r дебалансы 4. Дебалансы массой m вращаются с одинаковой угловой скоростью ω , образуя в каждый рассматриваемый момент времени одинаковые (синфазные) углы φ . Вследствие равенства величин m , r , ω и φ на вращающиеся дебалансы действуют равные центробежные силы F :

$$F = m\omega^2 r. \quad (9.1)$$

Разложив вектор $\vec{F}$ на горизонтальную $\vec{F}_r$ и вертикальную $\vec{F}_v$ составляющие, приходим к выводу, что горизонтальные силы $\vec{F}_r$ в любой момент времени взаимно уравниваются друг друга. Вертикальные составляющие F_v складываются, причем величина суммарной силы

$$F_{\text{сум}} = 2F_v = 2m\omega^2 r \cos \varphi. \quad (9.2)$$

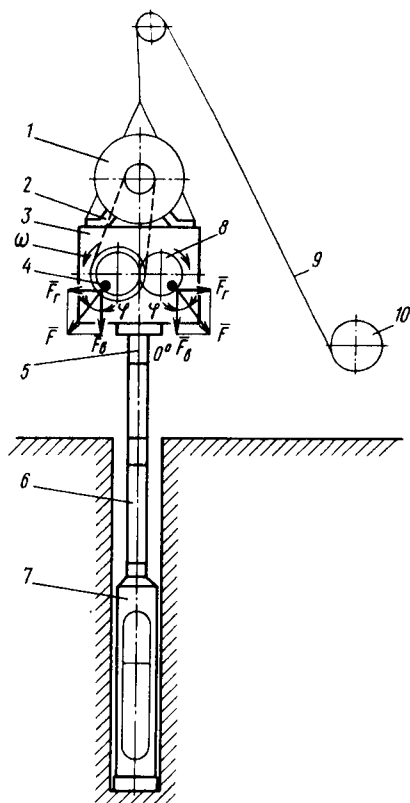


Рис. 9.2. Схема работы вибратора:
1 – электродвигатель; 2 – трансмиссия; 3 – корпус; 4 – дебалансы; 5 – зажимной (ударный) патрон; 6 – бурильные трубы; 7 – породоразрушающий инструмент; 8 – диск; 9 – канат; 10 – барабан лебедки

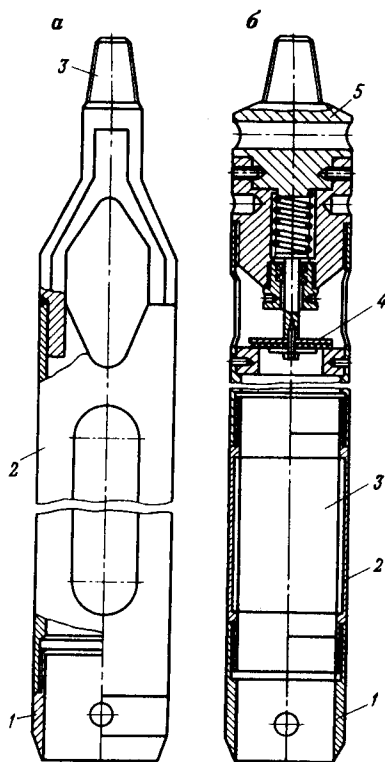


Рис. 9.3. Породоразрушающий инструмент вибрационного бурения

Нетрудно заметить, что при $\varphi = 0$ и $\varphi = 180^\circ$ сила $F_{\text{сум}}$ вибратора будет максимальной:

$$F_{\text{сум max}} = \pm 2m\omega^2 r. \quad (9.3)$$

Следовательно, для увеличения возмущающей силы необходимо повышать частоту вращения и массу дебалансов, увеличивать их смещение относительно оси вращения.

Технологический инструмент при вибрационном бурении состоит из колонны бурильных труб, опущенных в скважину и соединенных с породоразрушающим инструментом. В качестве последнего использу-

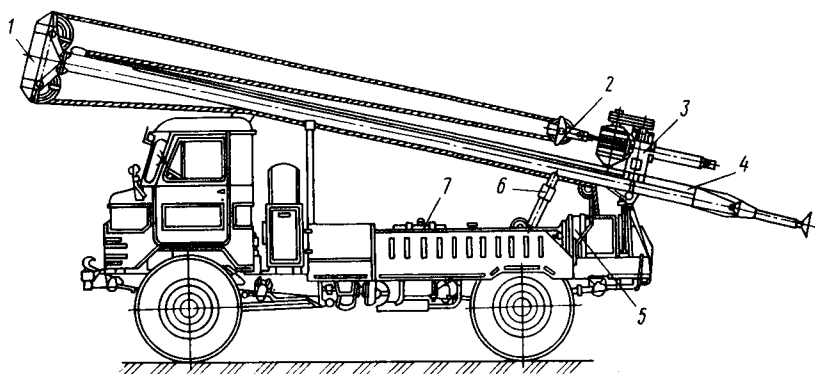


Рис. 9.4. Агрегат вибрационного бурения АВБ-2М

ются виброндны, виброжелонки и грунтоносы, углубляющие скважину кольцевым забоем.

Вибронд (рис. 9.3, а) представляет собой трубу 2 длиной 1–3 м, имеющую на верхнем торце переходник 3 для соединения с бурильными трубами, а на нижнем — башмак 1 с заостренным конусным торцом. Последний закаливается или наплавляется твердым сплавом. Диаметр башмака 1 выполняется несколько большим (на 2–3 мм) по отношению к трубе 2 для уменьшения боковых сил трения при углублении вибронда. На боковой поверхности последнего выполняются продольные окна с углом выреза 90–160° для облегчения извлечения керна.

Грунтонос (рис. 9.3, б) применяется для отбора керна рыхлых пород и отличается от вибронда наличием керноприемной гильзы 5, расположенной внутри корпуса 2, и обратного клапана 4, служащего для снижения давления во внутренней части грунтоноса по мере поступления формирующегося керна. В его состав также входят башмак 1 и переходник 3.

Виброжелонка применяется при бурении сыпучих и плавучих пород и принципиально не отличается от желонки с плоским клапаном для ударно-канатного бурения.

Установки вибрационного бурения включают вибратор (вибромолот), лебедку для подъема и спуска бурового снаряда, генератор для питания электродвигателя вибратора, мачту, устройство для ее подъема и опускания, пульт управления, транспортную базу.

Наиболее распространенной является установка АВБ-2М (рис. 9.4), отличительная особенность которой — возможность проходки скважин также ударно-канатным способом. Установка позволяет бурить скважины диаметром 108–168 мм на глубину до 20 м виброударным способом и до глубины 40 м — ударно-канатным. В качестве вибровозбудителя используется вибромолот ВБ-7 мощностью 7 кВт с максимальной возмущающей силой 35 кН. Для проведения спуско-подъемных операций уста-

новка оснащена лебедкой 5 и мачтой 4 шестового типа высотой 7,5 м. Мачта оборудована кронблоком 1 и талевым блоком 2. Вибромолот 3 по мере углубления скважины перемещается по направляющим мачты. При переходе на ударно-канатное бурение вибромолот снимают, и к канату присоединяют ударный инструмент. Подъем и опускание мачты 4 осуществляются с помощью винтового подъемника 6. Перечисленное оборудование, а также генератор 7 смонтированы на автомобиле ГАЗ-66.

Технология вибрационного бурения

Процесс бурения состоит из чередующихся во времени циклов, включающих спуск бурового снаряда, углубление забоя, подъем инструмента и его очистку от породы. Эффективность бурения зависит от параметров вибровозбудителя — момента и частоты вращения дебалансов, а при использовании вибромолота — от его массы и частоты ударов. Эти параметры, как правило, не регулируются в процессе бурения.

При разбуривании глинистых грунтов рекомендуется применять вибропогружатель с большим моментом дебалансов и пониженной частотой. Песчаные грунты лучше бурить с применением высокочастотных вибропогружателей. В сухих плотных грунтах использование вибромолотов значительно эффективнее вибраторов. Оптимальная длина рейса при вибробурении зависит от глубины скважины и изменяется от 2 м при глубине скважины 3 м до 0,6 м при глубине 20 м. Начальные интервалы скважины следует бурить зондами больших диаметров с последующим их уменьшением по мере углубления скважины. Диаметры применяемых зондов: 219, 168, 146, 127, 108 мм. Такая технология необходима вследствие зажима зонда уплотняемой в стенки скважины породой, что ведет к резкому возрастанию усилия при извлечении инструмента.

Чистое время вибрационного бурения обычно составляет 25 %, поэтому большое внимание необходимо уделять механизации вспомогательных работ. Производительность вибрационного бурения в значительной степени зависит от глубины скважины. Так, при глубине скважины до 10 м скорость бурения в грунтах III–IV категорий составляет 50–60 м/см, а при глубине 20 м скорость уменьшается в 2 раза.

Вибрационное бурение обеспечивает получение качественной геологической информации, позволяет получить 100 %-ный выход керна и с большой точностью составить геологический разрез разбуриваемых пород. Недостатки вибрационного бурения — узкая область применения (мягкие породы) и небольшая глубина скважин. Для увеличения глубины бурения следует создавать скважинные вибраторы, устанавливаемые непосредственно над породоразрушающим инструментом.

§ 3. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ШНЕКОВОЕ БУРЕНИЕ

Шнековое бурение — это разновидность вращательного способа, отличительной особенностью которого является использование механического метода удаления продуктов разрушения с помощью винтового транспортера. Большой вклад в развитие технологии и техники шнекового бурения внес проф. Д.Н. Башкатов.

Шнековое бурение применяется при бурении скважин глубиной до 70–80 м в породах I–V категорий по буримости. Оно обеспечивает высокую механическую скорость в мягких породах за счет отсутствия повторного их истирания и перемалывания на забое и совмещения во времени процесса разрушения и чистки скважины. Долото охлаждается породой забоя, а выделившееся при трении тепло уносится с продуктами разрушения при быстром углублении скважины.

Область применения шнекового бурения — проходка гидрогеологических, инженерно-геологических, поисковых и сейсмических скважин. Преимущества шнекового бурения — высокая производительность, простая организация работ за счет отсутствия промывки. Недостаток — небольшая глубина бурения вследствие значительного роста мощности, потребной для вращения шнековой колонны.

Технологический инструмент при бурении сплошным забоем состоит из лопастного долота, усиленного шнека и колонны шнеков. Конструкция долота принципиально не отличается от лопастных долот, применяемых при роторном бурении, и представляет собой корпус с двумя-тремя лопастями. Рабочие грани лопастей наплавляют или армируют пластинками твердого сплава. Лопасти приваривают к корпусу или соединяют с последним винтами, что позволяет заменять их при износе. Режущие лопасти должны быть максимально приближены к спирали шнека, а переход с лопастей на спираль должен быть плавным. Эти конструктивные требования обеспечивают эффективное удаление продуктов разрушения.

Шнек (рис. 9.5) представляет собой стержень или трубу 3 с приваренной на боковой поверхности по винтовой линии стальной лентой (ребордой) 2 толщиной 5–6 мм. Используются два вида соединений шнеков: резьбовое и безрезьбовое. Последнее получило большее распространение (рис. 9.5). Шестигранный хвостовик 1 и муфта 4 передают крутящий момент, а палец 5, удерживаемый фиксатором, воспринимает осевое усилие.

Резьбовое соединение шнеков позволяет механизировать процесс спуско-подъемных операций, осуществить шнекоколонковое бурение, однако исключает возможность левого вращения шнековой колонны, в котором возникает необходимость при затяжках снаряда в вязких породах и песках-плывунах.

Диаметры выпускаемых шнеков — от 90 до 475 мм, длина 1500–3000 мм. Обычно наружный диаметр шнека составляет 0,75–0,85 диаметра долота, чтобы создать возможность свободного вращения шнеко-

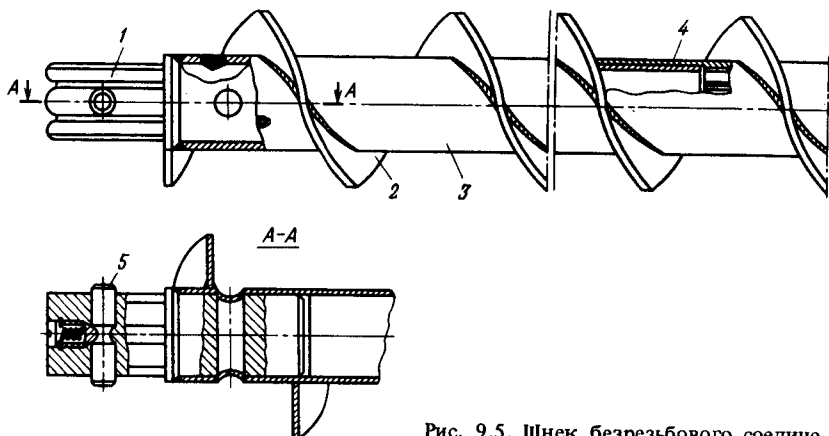


Рис. 9.5. Шнек безрезьбового соединения

вой колонны в скважине. Шаг винтовой полосы составляет 0,7–0,9 наружного диаметра шнека, угол подъема спирали — 10–14°.

Усиленный шнек устанавливают непосредственно над долотом. Он обеспечивает подбор и частичное разрушение крупных кусков породы и их вынос. Усиленный шнек имеет утолщенную спираль, свободный конец которой заточен и наплавлен твердым сплавом. Параметры усиленного шнека соответствуют обычному, за исключением большей массы.

Для бурения с отбором керна применяется магазинный шнек (рис. 9.6), представляющий собой трубу 2 с приваренной спиралью, имеющую с одной стороны шестигранник для соединения с обычной шнековой колонной, а с другой — резьбу для свинчивания с коронкой 1. Керноприемная гильза 3 располагается внутри шнека.

Для колонкового бурения скважин создан также шнековый инструмент, аналогичный снаряду со съемным керноприемником (ССК) и включающий буровую коронку, внутреннюю керноприемную гильзу, опускаемую и извлекаемую на канате по мере наполнения последней керном. Следует заметить, что надежной работоспособной конструкции шнекоколонкового инструмента пока не создано. В то же время такой инструмент позволил бы, помимо получения керна, механизировать доставку ВВ при проходке сейсморазведочных скважин, быстро опробовать вскрытые водоносные пласты при проходке гидрогеологических скважин и т. д.

Установки шнекового бурения — это мотобуры марок Д-10М, КМ-10 и др. Мотобур состоит из бензинового двигателя мощностью 3,5–4,5 кВт и планетарного двухступенчатого редуктора, соединенных хомутом. Мотобур имеет рукоятки, одна из которых является одновременно регулятором частоты вращения двигателя. С редуктором жестко связана штанга, соединяемая со шнеками. Осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент передается рабочим через рукоятки. Снаряд из скважины извлекают вручную.

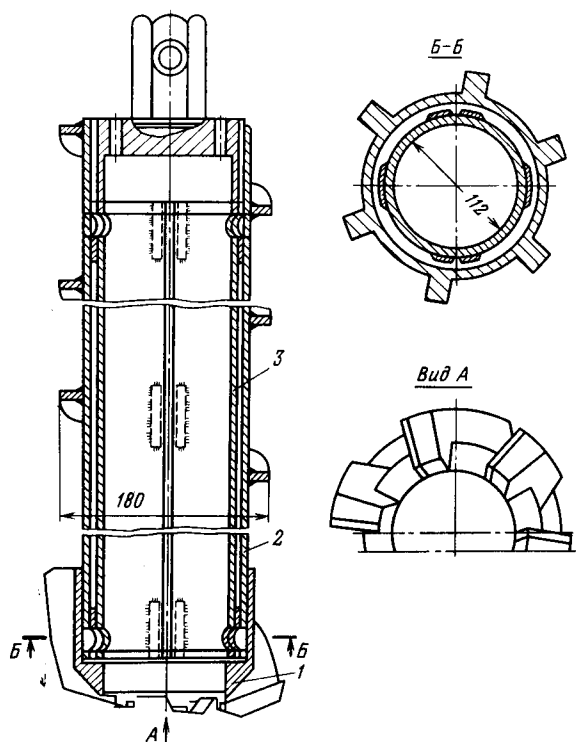


Рис. 9.6. Магазинный шнек

Для бурения более глубоких скважин применяют механизированные установки. В связи с большой скоростью проходки скважин установки оснащаются подвижными вращателями с большой длиной хода; осевая нагрузка на забой создается гидравлической системой; частота вращения снаряда регулируется с помощью коробки передач. Транспортной базой установки служит трактор или автомобиль.

Более подробно рассмотрим устройство установки шнекового бурения УШ-2Т (рис. 9.7). Установка предназначена для проходки скважин глубиной до 60 м конечным диаметром 175 мм. Все механизмы смонтированы на тракторе Т-100МЗБ 1 и имеют привод от ходового двигателя. Трансмиссия бурового станка включает блок привода 8, трехгранный вертикальный вал 4, верхний редуктор 5 и вращатель 9. Блок привода состоит из раздаточного редуктора, обеспечивающего три частоты вращения реверсивному редуктору привода вращателя. Корпус вращателя может поворачиваться вокруг оси трехгранного вала для освобождения устья скважины.

Мачта 3 установки — сварная, с открытой передней гранью. Передние ноги ее служат для перемещения каретки вращателя. Гидравлическая система установки, включающая масляный бак 2, систему масло-

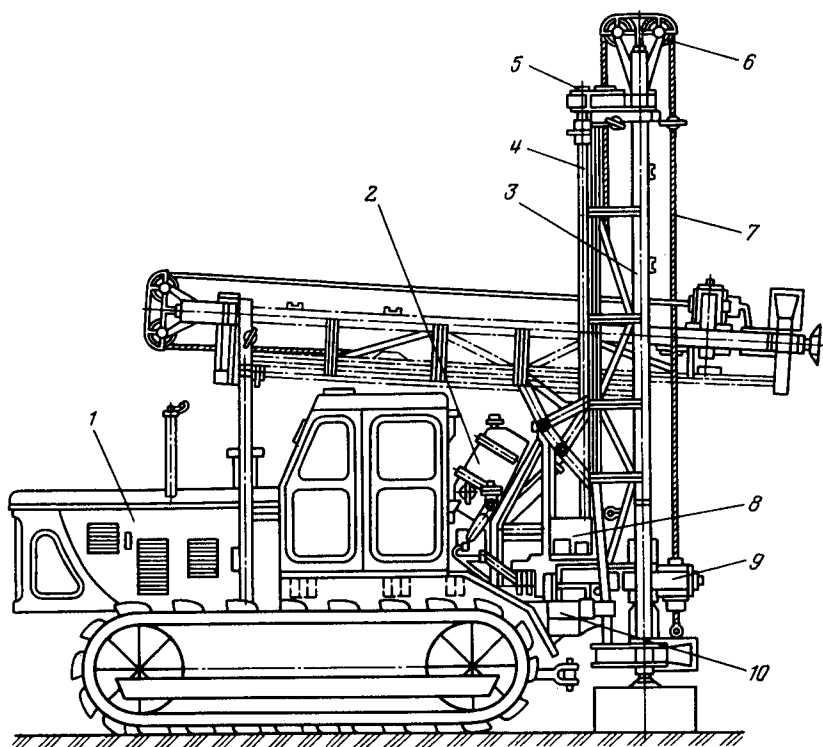


Рис. 9.7. Установка шнекового бурения УШ-2Т

проводов и гидроцилиндров, служит для подачи вращателя вверх—вниз, подъема и опускания мачты и установки опорных домкратов. Для увеличения хода вращателя может быть использована канатная подача (кронблок 6 и канат 7) с гидроцилиндром по такой же схеме, как в установке УРБ-2А-2. Управление всеми операциями, связанными с проходкой скважины, вынесено на пульт 10.

Технология шнекового бурения

Основные параметры технологического режима бурения — осевая нагрузка на долото и частота его вращения. В зависимости от длины рейса различают непрерывное (поточное) и рейсовое бурение. Поточное бурение осуществляется без остановки вращения шнековой колонны, за исключением времени, необходимого для наращивания шнеков по мере углубления скважины. Рейсовое бурение применяется при необходимости детального изучения геологического разреза. Величина разо-

вого углубления составляет 0,2–0,6 м при бурении мелких (до 8–10 м) скважин и 0,5–1,5 м при бурении более глубоких.

Скважину забуривают при пониженных частоте вращения (60–70 об/мин) и осевой нагрузке. Увеличение нагрузки ведет к росту скорости бурения в песчано-глинистых отложениях. Величину нагрузки необходимо поддерживать в пределах 4–6 кН, так как ее дальнейшее повышение может привести к образованию породных пробок на шнеках и прекращению выноса разбуренной породы на поверхность.

Один из основных элементов технологии шнекового бурения – очистка забоя скважины от шлама. Транспортная производительность шнека (в см³/мин) при выносе продуктов разрушения определяется по формуле:

$$Q = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) sn\varphi, \quad (9.4)$$

где D и d – наружный и внутренний диаметры реборды шнека, см; s – шаг реборды шнека, см; n – частота вращения шнека, об/мин; φ = 0,3÷0,8 – коэффициент наполнения шнека.

Частота вращения снаряда назначается, исходя из рациональной величины окружной скорости вращения шнеков, которая изменяется в пределах 0,8–2 м/с. С учетом этого требования для наиболее распространенных диаметров шнеков (135–185 мм) частота вращения составляет 100–200 об/мин, причем нижний предел относится к бурению вязких пород. Уменьшение частоты вращения ниже указанного интервала приводит к ухудшению условий очистки скважины, а ее увеличение вызывает вибрацию снаряда. Последнее обуславливает ухудшение транспортировки шлама и рост мощности, затрачиваемой на бурение.

Сухие и водоносные пески бурят без затруднений, однако следует принять меры, обеспечивающие устойчивость ствола скважины. При проходке маломощных слоев указанных пород (до 2,5–3 м) осуществляют расхаживание снаряда и его реверс для уплотнения стенок скважины. При проходке мощных слоев неустойчивых пород бурение ведут с одновременным укреплением ствола обсадными трубами. Шнековая колонна помещается внутри последних и вращается с частотой 40–60 об/мин. По мере углубления скважины обсадные трубы опускаются под действием собственного веса.

Бурение вязких и плотных глин вызывает значительные трудности вследствие того, что шлам налипает на спираль шнеков и образует породные пробки. Часто диаметр скважины уменьшается до диаметра шнека, что вызывает повышение затрат мощности на вращение или заклинивание снаряда в скважине. Если при поточном бурении ликвидировать возникающие породные пробки не удастся, следует переходить на бурение рейсами, опустив на забой снаряд, составленный из долота, двух-трех шнеков и колонны бурильных труб. После углубления скважины на 1,5–2 м инструмент поднимают на поверхность и очищают его.

Маломощные (до 1,5–2 м) слабообводненные водоносные пласты

проходят успешно, так как при бурении нижележащего водоупорного пласта продукты разрушения последнего втираются в ствол скважины против водоносного горизонта, изолируя и укрепляя его. При бурении песков-плывунов во избежание прихвата снаряда бурить следует с одно-временной обсадкой трубами.

Основное условие реализации процесса углубления скважины в рациональном режиме — оптимальное соотношение частоты вращения снаряда и скорости его подачи. Выполнение этого условия позволяет ликвидировать породные пробки на спирали шнеков, возникающие при высокой осевой нагрузке. Для борьбы с образованием породных пробок практикуется расхаживание и реверс снаряда, повышение частоты его вращения и уменьшение подачи, подлив воды в скважину. Эффективность последней меры объясняется уменьшением трения разрушенной породы о спираль шнека и стенки скважины.

Геологическую документацию при шнековом бурении составляют по продуктам разрушения, поднятым к устью скважины или находящимся на лопастях шнеков, а при необходимости керн отбирают с помощью магазинных шнеков. При поточном бурении истинная глубина залегания слоев пород разреза определяется с точностью до 0,2–0,3 м, причем при глубине скважины свыше 20 м точность снижается до 0,3–0,4 м. При рейсовом бурении точность привязки получаемой при разрушении породы к истинной глубине ее залегания несколько повышается, составляя 0,1–0,3 м. Длина рейса обычно равна длине шнека (1,3–2 м), причем проба отбирается через каждые 0,5–1 м проходки.

При отборе керна с помощью обуривающих грунтоносов (магазинные шнеки) поддерживаются следующие параметры технологического режима бурения: осевая нагрузка — 1,5–2 кН, частота вращения — 60–70 об/мин. Указанные параметры обеспечивают подачу снаряда со скоростью 0,2–0,5 м/мин. Образцы пластичных глин и водонасыщенных песков получают задавливанием тонкостенных грунтоносов внутренним диаметром не менее 100 мм.

§ 4. УДАРНО-КАНАТНОЕ БУРЕНИЕ НЕГЛУБОКИХ СКВАЖИН

При проходке неглубоких (до 30 м) скважин в мягких породах I–IV категорий по буримости широко применяется ударно-канатный способ бурения кольцевым забоем с отбором керна специальными инструментами: забивными стаканами, ударными гильзами, желонками. В основном распространены две разновидности способа: клюющий и забивной.

Клюющий способ (рис. 9.8, а) заключается в том, что подвешенный на канате 4 породоразрушающий инструмент 1 (стакан, грунтонос), жестко соединенный с ударной штангой 2 и канатным замком 3 поднимается с помощью лебедки установки на большую высоту (до 8–10 м) и сбрасывается на забой, углубляясь в него на 0,1–0,25 м. Затем буровой снаряд поднимается на поверхность для извлечения образца породы из стакана.

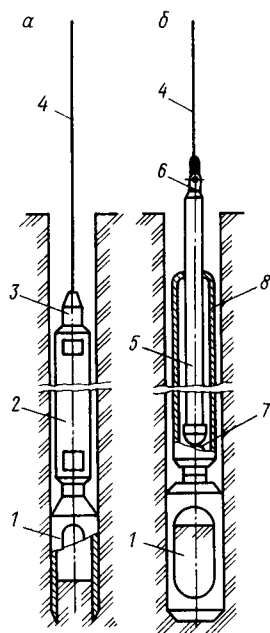


Рис. 9.8. Схема разновидностей ударно-канатного бурения кольцевым забоем

При забивном способе ударно-канатного бурения (рис. 9.8, б) породоразрушающий инструмент 1, установленный на забой, жестко соединен с наковальней 7 ударного патрона, в состав которого входят также ударная штанга 5 и корпус 8. В процессе бурения ударная штанга 5 периодически поднимается с помощью каната 4, проходящего через серьгу 6, и наносит удары по наковальне 7. В результате породоразрушающий инструмент забивается в породу.

Технологический инструмент для ударно-канатного бурения состоит из забивного стакана (зонд, гильза), ударного патрона и штанги, желонки, долота. Забивные стаканы выпускаются с клапаном (для бурения в несвязных грунтах) и без клапана (для бурения связных грунтов). По конструкции они не отличаются от зондов вибрационного бурения (см. рис. 9.3). Стаканы изготавливают из обсадных труб наружным диаметром 73, 89, 108, 127, 146, 168, 210 и 273 мм. Для облегчения очистки инструментов от породы широко распространены разъемные забивные стаканы со съемной керноприемной гильзой. Разборка и сборка такого стакана занимает 1–2 мин.

Ударный патрон используется для нанесения ударов по забивному стакану и погружения обсадных труб. Для бурения скважин в плавучих и несвязных грунтах используются желонки, а для увеличения массы инструмента — ударные штанги. Конструкции указанных инструментов аналогичны таковым при ударно-канатном бурении глубоких скважин.

Буровые установки для ударно-канатного бурения неглубоких скважин делятся на две группы, различающиеся в основном конструкцией механизма подъема и сбрасывания инструмента. В установках первой группы, предназначенных для проходки скважин клюющим способом, инструмент поднимают путем наматывания каната непосредственно на барабан лебедки, а удар по забою наносится под действием силы тяжести снаряда. Буровые установки второй группы, предназначенные для проходки скважин забивным способом, оснащены специальными оттяж-

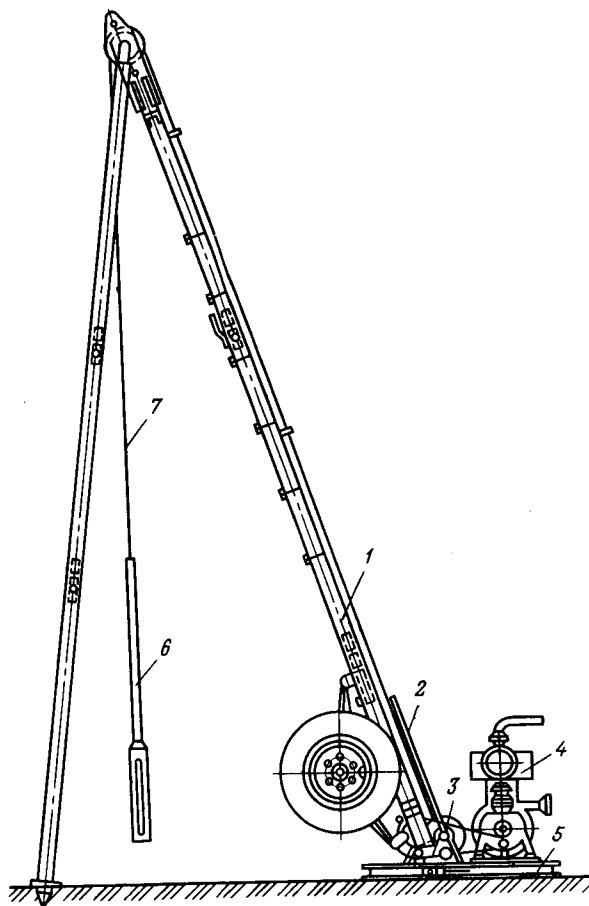


Рис. 9.9. Буровая установка БУКС-ЛГТ:

1 — тренога; 2 — рукоятка управления лебедкой; 3 — лебедка; 4 — двигатель; 5 — рама; 6 — буровой снаряд; 7 — канат

ными устройствами, с помощью которых осуществляется возвратно-поступательное перемещение инструмента с определенной частотой. К таким механизмам относятся кулачковый со свободным сбросом снаряда и кривошипно-шатунный, аналогичный соответствующему узлу станка УГБ-ЗУК (см. рис. 8.1).

Наиболее простую конструкцию имеет установка первой группы, в состав которой входит лебедка грузоподъемностью 0,5–1 т, бензиновый двигатель мощностью 4–6 кВт и мачта высотой 4–6 м. Перечисленные узлы монтируются на одноосном прицепе, который буксируется автомобилем, а на короткие расстояния — вручную. Станки этого

типа отличаются небольшой массой (250–1000 кг). Примером такой установки является БУКС-ЛГТ конструкции Ленгипротранса (рис. 9.9). Станок обслуживает бригада из трех человек: бурильщика и двух рабочих.

Примером станков второй группы является установка БУГ-75. В ее состав входят дизельный двигатель, муфты сцепления и клинопеременная трансмиссия, промежуточный и рабочий валы, оттяжное устройство кулачкового типа и поворотные ключи, служащие для облегчения посадки обсадных труб. Буровая бригада, обслуживающая станок, состоит из трех человек.

Техническая характеристика установок ударно-канатного бурения

Тип буровой установки.	Д-5-25	БУКС-ЛГТ	БУГ-50	БУГ-75
Номинальная глубина бурения, м .	25	30	50	75
Диаметр скважины, мм:				
начальный	127	168	273	325
конечный	73	73	108	127
Высота мачты, м	4,5	5	9,8	9,8
Мощность двигателя, кВт	6	5	8	10
Грузоподъемность лебедки, т	0,5	0,7	3,0	4,0
База.	Одноосный прицеп на колесном ходу		ЗИЛ-157КЕ	Двухосный прицеп
Масса ударного снаряда, кг	370	440	500	750
Тип ударного механизма станка . .	—	—	Кулачковый со свободным сбросом снаряда	
Высота подъема снаряда (длина хода инструмента), м	С лебедки		0,6	0,3
Частота ударов снаряда, уд/мин . .	В зависимости от высоты подъема снаряда		20; 43	40; 70

Технология ударно-канатного бурения

Ключевой способ бурения применяется в мягко-пластичных и лессовидных глинистых породах. Основные параметры режима — масса бурового снаряда и высота сбрасывания его на забой. Масса инструмента доводится до 150–300 кг. Для увеличения энергии удара высота подъема инструмента достигает 5–8 м. При таких параметрах режима бурения стакан при каждом ударе углубляет забой на 0,1–0,25 м.

Забивной способ применяется во всех разновидностях нескальных пород. Параметры режима — масса ударной части забивного патрона, высота его подъема над наковальней, частота ударов в единицу времени и длина рейса.

Рекомендуемые параметры режима забивного способа бурения

Диаметр скважины, мм.	89–127	146–219
Масса ударной части забивного патрона, кг	80–120	120–150

Высота подъема ударной части забивного патрона над наковальней, м	0,6—1	0,6—1
Частота ударов забивного патрона, уд/мин.	20—25	15—20
Длина рейса, м:		
в слабосвязных породах	0,5—0,7	0,6—0,8
в вязких породах	0,3—0,5	0,4—0,6

Не следует забивать грунтонос на величину большую, чем указано выше. Чрезмерная длина рейса вызывает сильный прихват грунтоноса, что затрудняет извлечение последнего из скважины и очистку его от породы.

Несвязные водонасыщенные породы успешно проходят желонкой, утяжеленной ударной штангой. Общая масса такого снаряда должна составлять 50—100 кг, частота ударов 20—30 в 1 мин при высоте подъема 0,15—0,3 м. Желонки используют при бурении пород, как правило, обладающих недостаточной устойчивостью в стенках скважины и требующих закрепления обсадными трубами. Величина выхода желонки из-под башмака обсадной колонны не должна превышать 0,5—1 м во избежание прихвата инструмента.

Проходка валуно-галечниковых отложений осуществляется сплошным забоем с использованием инструмента и технологии ударно-канатного бурения глубоких скважин.

§ 5. КОМБИНИРОВАННОЕ БУРЕНИЕ НЕГЛУБОКИХ СКВАЖИН

Проходка неглубоких скважин часто осуществляется в перемежающихся по буримости горных породах. Наряду с мягкими, рыхлыми встречаются твердые прослойки с включением значительного количества крупных валунов. В то же время способы проходки неглубоких скважин не являются универсальными и эффективны в довольно узком диапазоне горно-геологических условий. В связи с этим не только уменьшается производительность бурения, но и создаются дополнительные трудности для отбора образцов пород, снижается качество получаемой геологической информации.

Наиболее рационально в этих условиях комплексное использование нескольких способов бурения. Широко применяются сочетания следующих способов, используемых последовательно во времени: шнековое с ударно-канатным и колонковым, ударно-канатное с медленно-вращательным, вибрационное с ударно-канатным. Комбинированное бурение применяется также при проходке скважин большого диаметра. Сооружение таких скважин требует специального бурового оборудования и инструмента.

Технологический инструмент для комбинированного бурения выбирают в зависимости от сочетания способов бурения. При комбинации ударно-канатного и медленно-вращательного бурения в качестве породоразрушающих инструментов используют долота, грунтоносы, желонки, забивные снаряды, а также спиральные и ложковые буры (см. рис. 1.4).

Ложковые буры применяют для бурения мягких и рыхлых пород. Продольный вырез этих инструментов служит для очистки и выполняется меньшим при бурении слабых пород и увеличивается с повышением плотности последних. Ложковые буры изготовляют диаметрами 250, 190, 145, 108, 74 и 47 мм при длине 0,5–1 м.

Спиральные буры (змеевики) применяют при проходке вязких плотных пород. Режущие кромки бура закаливают или армируют твердым сплавом. Разрушенная порода удерживается на спирали змеевика при его подъеме на поверхность. Диаметры применяемых спиральных буров – 190, 147, 108, 74 и 47 мм при длине 0,5–0,8 м.

При медленновращательном и ударном бурении скважин большого диаметра (0,5–1 м) используют ковшовые, шнековые, грейферные и забивные буры.

Ковшовые буры предназначены для проходки мягких песчано-глинистых отложений с незначительным включением валунов размером до 200 мм. В качестве примера на рис. 9.10 приведена конструкция ковшового бура установки УБСР-25М.

Корпус 2 бура представляет собой трубу наружным диаметром 600 мм. Кассета является основным рабочим органом бура и состоит из крышки 11, двух боковых стенок 12, днища 1 и штока 13 с опережающим лопастным пилот-долотом. Днище 1 представляет собой конус с двумя овальными отверстиями, к которым приварены такой же формы ножи, армированные твердым сплавом. Для перекрытия овальных отверстий при подъеме внутренняя поверхность днища оснащена клапанами.

На верхней крышке корпуса размещен механизм крепления бура, состоящий из секторных захватов 3 с подвижными плашками 4. Механизм подвески 8 бура представляет собой три угловых рычага 7 и втулку 9 с буртиком и шайбой, на которую опирается распорная пружина 10.

При опускании ковшового бура в скважину распорная пружина 10 под действием его веса сжимается, секторные захваты 3 занимают крайнее верхнее положение, а плашки 4 смещаются к оси бура. Последний свободно опускается внутри обсадных труб. При постановке бура на забой растягивающая сила с каната снимается. Под действием пружины 10

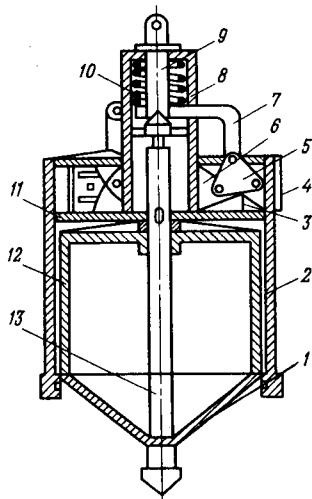


Рис. 9.10. Ковшовый бур с распорами

угловые рычаги 7 смещаются вниз, и с помощью эксцентрика 5, кронштейна 6, а также секторных захватов 3 бур закрепляется внутри обсадной колонны. При вращении последней и создании осевой нагрузки на днище 1 бура реактивная сила со стороны забоя еще больше расклинивает инструмент относительно колонны.

После углубления скважины на длину рейса секторные захваты 3 натяжением каната лебедки поворачивают вверх, освобождая плашки 4 от обсадной трубы. Бур извлекают на поверхность, выбивают клин стягивающего штока 13, корпус 2 снимают с кассеты. Затем выбивают нижний клин, верхнюю крышку и боковые стенки кассеты. Выверенная порода остается на днище бура.

Для бурения скважины в относительно устойчивых породах, допускающих опережение забоя по отношению к башмаку обсадной колонны, применяют ковшовые буры на бурильных трубах. Крутящий момент буру передается от ротора установки через ведущую квадратную трубу, бурильную колонну и специальную вилку. Конструкции ковшовых буров позволяют проходить скважины диаметром до 750 мм, а при необходимости одновременно расширять их до 1050–1250 мм.

Шнековые буры состоят из одно- или двухзаходного шнека и лопастного долота. У буров диаметром более 750 мм нижние кромки шнеков оснащаются ножами или зубьями. Разрушенная порода накапливается на ребрах шнеков и поднимается на поверхность вместе с буром. Наиболее эффективны шнековые буры при бурении песчаных, супесчаных и глинистых пород с незначительным включением гравийно-галечникового материала.

Грейферные буры применяются для бурения скважин в рыхлых отложениях с включением валунов размерами до 500 мм. Рабочий орган их — челюсти, раскрываемые и смыкаемые с помощью полишпаста, связанного со специальной рычажной втулкой.

Забивные буры при проходке скважин большого диаметра ударным способом конструктивно не отличаются от инструмента, применяемого при клюющем или забивном бурении. В водонасыщенных песках забой углубляется желонками, а крупные валуны разрушаются долотами.

Буровые установки для комбинированного бурения выпускаются промышленностью с учетом различных сочетаний способов углубления забоя и удаления продуктов разрушения. Комплекс самоходных буровых установок УГБ-1ВС предназначен для шнекового бурения скважин в породах I–VII категорий на глубину до 50 м, а также для бурения вращательным колонковым и забивным способами на глубину до 100 м. Установку можно использовать для проходки скважин большого диаметра (до 650 мм).

Основные узлы установки монтируют на автомобиле ГАЗ-66 или тракторе ТТ-4. На транспортной базе размещены дизельный привод, трехскоростная коробка передач, лебедка и мачта. По направляющим мачты перемещается подвижный вращатель, получающий вращение от коробки передач через вертикальный трехгранный вал. Вращатель вверх

и вниз перемещается на длину 3250 мм с помощью двух гидроцилиндров. Лебедка установки имеет три частоты вращения барабана (165, 325, 500 об/мин).

К установкам комбинированного бурения относится рассмотренный ранее агрегат вибрационного бурения АВБ-2М (см. рис. 9.4), который позволяет также использовать ударно-канатный способ проходки скважин начальным диаметром 219 мм до глубины 40 м.

СКБ НПО "Геотехника" разработаны установки УБР-1 и УБР-2 для бурения скважин при разведке россыпных месторождений. Установки используют для проходки ударно-канатным и медленновращательным способами с одновременным креплением скважин обсадными трубами. Трубы погружаются при вращении их ротором с одновременными ударами забивного снаряда.

Техническая характеристика установок комбинированного бурения

Тип установки	ЛБУ-50	УБР-1	УБР-2	БУУ-2
Глубина бурения, м	50	15	25	50
Начальный диаметр скважины, мм	200	127	253	273
Способы бурения	Вращательный, ударно-канатный	Ударно-канатный, медленновращательный		Ударно-канатный, вращательный
База.	Автомобиль ЗИЛ-157К	Стационарная	Автомобиль ЗИЛ-131	Гусеничный вездеход
Основной рабочий орган . .	Подвижный вращатель	Ротор, ударное устройство	Устройство	Откидной ротор
Грузоподъемность лебедки, т	2,5	1,0	1,8	2,3
Масса ударного снаряда, кг	500	30	60	1000
Высота мачты, м	8,3	7	9	12
Частота вращения инструмента, об/мин.	14; 38; 63; 101	7; 12	12; 24; 76	43; 83; 125
Частота ударов бурового снаряда, уд/мин	17; 48; 78; 126	27; 45	37	40; 60
Масса, кг.	9475	1025	2000	11 500

Технология комбинированного бурения

Проходка скважин осуществляется по технологии, соответствующей применяемым способам бурения. Мягкие рыхлые породы бурят шнековым, медленновращательным, вибрационным или ударным (забивным или клюющим) способом. Наличие твердых пропластков или валунно-галечниковых отложений требует применения грейферного бурения или ударно-канатного округляющими или крестовыми долотами.

При проходке скважин большого диаметра обычно используется комбинация вращательного и ударно-канатного бурения. Вращательный способ заключается в углублении забоя лезвием шнекового, ложкового или ковшового бура, накопления выбуренной породы в его кассете, подъеме инструмента на поверхность, очистке от грунта и последующем спуске на забой. Забуривание осуществляется при минимальной частоте вращения бура (10–12 об/мин) и осевой нагрузке не более 2–2,5 кН. При переходе на рациональный режим частота вращения увеличивается до 20–50 об/мин, осевая нагрузка доводится до 8–10 кН. При бурении шурфов в крупнообломочных и твердых глинистых грунтах целесообразно первоначально проходить пилот-скважины малого диаметра (250–270 мм) с последующим поэтапным расширением до номинального размера.

Скважины большого диаметра бурят клюющим и забивным способами, технология которых принципиально не отличается от технологии сооружения скважин малого диаметра. В лессовидных грунтах при глубине шурфа более 10 м предпочтительнее применять клюющий способ, так как рациональной высотой сбрасывания инструмента является 5–6 м. Начальный интервал скважины (до 5 м) следует проходить забивным способом.

Крепление скважины осуществляется после бурения определенного интервала ствола или одновременно с углублением забоя (иногда с его опережением). В первом случае обсадные трубы опускают на забой свободно, во втором — принудительно. Применяются следующие методы принудительной посадки труб: вращение колонны (непрерывное, прерывистое или реверсивное), погружение обсадных труб забивными снарядами, вибраторами, гидро- или пневмоударниками, задавливание с помощью механизмов подачи буровых установок.

После сооружения скважины и выполнения в ней необходимого комплекса исследований трубы извлекают. Для этого используют лебедки, талевые системы и механизмы подачи буровых станков, вибромеханизмы, мощные гидравлические домкраты, нанесение ударов по колонне снизу вверх и в обратном направлении, взрывы детонирующего шнура внутри труб в комбинации с применением грузоподъемных устройств. Используются также специализированные трубоподъемники (ТУ-100/8, ТУ-100/10), обеспечивающие автоматическое извлечение и развинчивание труб. Усилия, необходимые для извлечения колонн вследствие их прихвата породой, могут достигать больших величин (до 1–10 МН), поэтому при выборе грузоподъемных средств следует учитывать прочностные характеристики материала извлекаемых труб.

§ 6. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ И ОТБОР ПРОБ ПРИ БУРЕНИИ НЕГЛУБОКИХ СКВАЖИН

Информативность различных способов бурения неглубоких скважин

Работами Б.М. Ребрика установлено, что разные способы бурения обеспечивают различную степень точности отражения истинного геологического разреза (табл. 9.1). Наибольшей информативностью обладают ударно-вибрационный и ударно-канатный (кольцевым забоем) способы, наименьшей — поточное шнековое бурение. Более высокую представительность обеспечивают способы бурения, позволяющие отбирать образцы пород в виде кернов, причем с увеличением диаметра породоразрушающего инструмента представительность повышается. На практике применяются инструменты диаметром 108—168 мм, обеспечивающие достаточную степень соответствия отбираемых образцов опробуемому массиву.

Грунтоносы

Пробы нарушенного строения отбирают непосредственно из породоразрушающего инструмента, предназначенного для проходки скважины. Ненарушенные образцы пород отбирают специальными инструментами — грунтоносами. По способу погружения в скважину выделяют следующие типы грунтоносов: обуривающий, вдавливаемый, забивной (вибрационный) и вращательный.

Таблица 9.1

Оценка точности отражения геологического разреза при использовании различных способов бурения

Способ бурения	Средняя мощность пропущенных при описании пластов, м	Показатель неточности отражения разреза (отношение пропущенных слоев к общему числу слоев)	Степень точности отражения геологического разреза
Ударно-вибрационный	0,1	0,05	Высокая
Ударно-канатный кольцевым забоем	0,18	0,13	Средняя
Колонковый всухую	0,22	0,14	”
Медленновращательный	0,30	0,28	Низкая
Шнековый:			
рейсовый	0,20	0,20	”
поточный	0,38	0,38	Весьма низкая

Обуривающие грунтоносы ГО-1, ГО-2 имеют максимальные диаметры соответственно 160, 185 мм, внутренние диаметры керноприемной гильзы 96 и 115 мм, длина 400 мм. Грунтоносы погружают вращательным способом при частоте вращения до 60 об/мин и осевой нагрузке до 1 кН. Конструкция обуривающих грунтоносов принципиально не отличается от устройства магазинных шнеков (см. рис. 9.6).

Вдавливаемые грунтоносы типа ГВ (рис. 9.11) выпускаются диаметрами 108, 116, 127, 132 и 150 мм. Внутренние диаметры керноприемной гильзы изменяются от 97 до 113 мм. Грунтоносы этой группы погружаются с помощью механизма подачи станков со скоростью 0,5—2 м/мин. В некоторых типах вдавливаемых грунтоносов башмак оснащен проволоочными дугами. После погружения грунтоноса на требуемую глубину инструмент поворачивают на определенный угол. В результате проволоочные дуги, выходя из своих гнезд, подрезают монолит и удерживают его при подъеме.

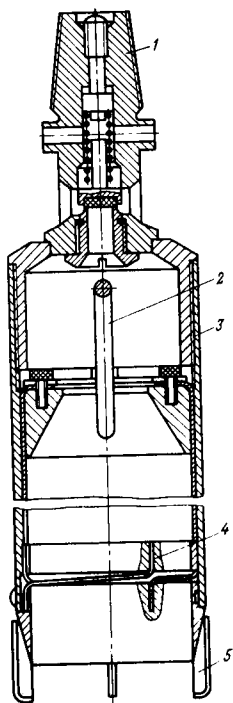


Рис. 9.11. Вдавливаемый грунтонос ГВ-4:

1 — переходник; 2 — ручка; 3 — корпус;
4 — проволоочная дуга; 5 — башмак с тормозными лопатками

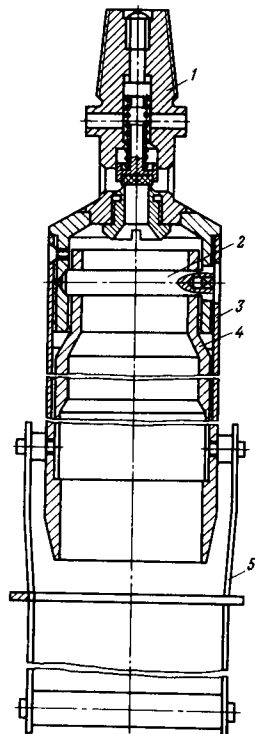


Рис. 9.12. Забивной грунтонос ГЗ-2 с ключом для извлечения полугильзы с монолитом:

1 — переходник; 2 — палец; 3 — корпус;
4 — полугильза; 5 — ключ

При отборе монолитов из водонасыщенных, текучей консистенции грунтов применяются вдавливаемые грунтоносы, оснащенные полиэтиленовой гильзой. При повороте грунтоноса на два-три оборота полиэтиленовая гильза, сползая с керноприемника, скручивается в жгут, подрезая и изолируя отбираемый образец.

Забивные грунтоносы типа ГЗ-1, ГЗ-2 (рис. 9.12) предназначены для отбора монолитов из глин и выпускаются наружными диаметрами 106 и 125 мм, диаметры керноприемной гильзы соответственно 94 и 110 мм. Погружение грунтоносов осуществляется виброударным или забивным способом.

При отборе монолитов из скальных, полускальных и мерзлых грунтов применяются одинарные или двойные колонковые снаряды вращательного бурения. Установлено, что при отборе монолитов любым способом в них нарушается природное сложение грунта. Эти нарушения наиболее существенны в периферийной прилегающей к керноприемной гильзе части монолита. Нарушения характеризуются искривлением слоев и наличием трещин. Их видимое распространение составляет 0,02–0,03 м в продольном и 0,01–0,02 м в поперечном направлениях. Претерпевают некоторые изменения физико-механические свойства отбираемых монолитов (плотность, модуль деформации, влажность, просадочность). С увеличением диаметра монолита более 90 мм эти изменения становятся незначительными.

Контрольные вопросы к гл. 9

1. Сущность пенетрационного статического зондирования.
2. Сущность пенетрационного динамического зондирования.
3. Принцип работы вибратора и вибромолота.
4. Породоразрушающие инструменты при вибрационном бескерновом бурении.
5. Общее устройство и назначение установки АББ-2М.
6. Технологический инструмент при шнековом бескерновом бурении и бурении кольцевым забоем.
7. Устройство установки УШ-2Т.
8. Разновидности ударно-канатного бурения. В чем их сущность?
9. Отличие установок ударно-канатного бурения, использующих ключевой и забивной способы проходки скважины.
10. Породоразрушающие инструменты для бурения неглубоких скважин большого диаметра.
11. Технология бурения неглубоких скважин большого диаметра ударным и вращательным способами.
12. Какие способы бурения неглубоких скважин обладают наиболее высокой информативностью?
13. Основные типы грунтоносов и их устройство.

ОБОРУДОВАНИЕ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Наша страна располагает большими ресурсами подземных вод, которые широко используются для промышленных и питьевых целей. В настоящее время водопотребление на одного городского жителя составляет от 100 до 1000 л/сут. С учетом значительного количества воды, необходимого при производстве различных видов продукции, суммарное водопотребление достигает 6500 л/сут на душу населения.

Технология бурения и оборудование водозаборных скважин имеют особенности. Основное отличие конструкции таких скважин – наличие водоприемной части, которая располагается в пределах водоносного горизонта и служит для очистки и пропуска воды с заданным дебитом. В зависимости от степени устойчивости пород водоносного горизонта водоприемная часть может быть фильтровой и бесфильтровой.

§ 1. ФИЛЬТРОВАЯ ВОДОПРИЕМНАЯ ЧАСТЬ СКВАЖИНЫ

Фильтровая водоприемная часть скважины устраивается в рыхлых, трещиноватых полускальных породах, обладающих недостаточной устойчивостью и склонных к обрушению. Она представляет собой фильтровую колонну (рис. 10.1), состоящую из надфильтровой трубы 3, рабочей части – фильтра 1, устанавливаемого в интервале водоносного пласта, и отстойника 2, закрытого снизу пробкой. Надфильтровая труба со специальным приспособлением 5 служит для спуска и подъема фильтра и герметизации кольцевого зазора между фильтром и колонной обсадных труб. Отстойник предназначен для сбора мелких частиц породы, прошедших через фильтр. Последний, являясь главным элементом фильтровой колонны, должен обеспечить пропуск очищенной воды, иметь небольшие гидравлические сопротивления, обладать достаточной прочностью и коррозионной стойкостью, быть простым в изготовлении и иметь невысокую стоимость. Сальник 4 изолирует затрубное пространство скважины от обсадной колонны.

Фильтры характеризуются скважностью

$$x = F_o / F_6 \cdot 100 \%$$

(F_o , F_6 – соответственно суммарная площадь проходных отверстий и площадь боковой поверхности фильтра).

В зависимости от гранулометрического состава пластов применяются фильтры следующих типов: 1) трубчатые и каркасно-стержневые; 2) с покрытием из проволоки, сетки или просечного листа; 3) гравийные; 4) блочные.

Трубчатые фильтры (рис. 10.2) изготавливают преимущественно из обсадных труб муфтового или ниппельного соединения. В трубах в

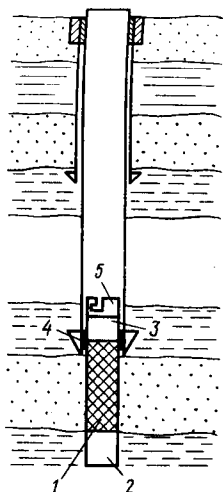


Рис. 10.1. Конструкция скважин с фильтровой водоприемной частью

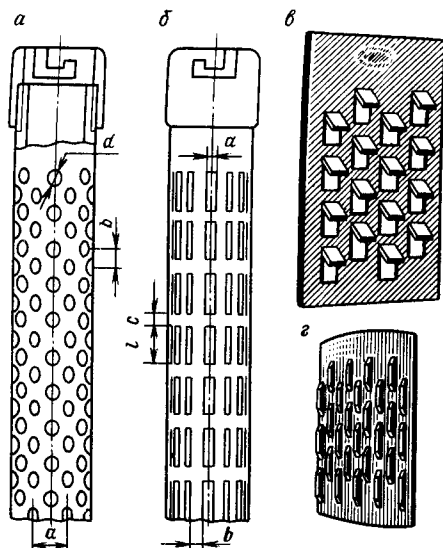


Рис. 10.2. Трубчатые фильтры:

a – дырчатые; *б* – щелевые; *в, г* – форма отверстий в штампованных листовых материалах

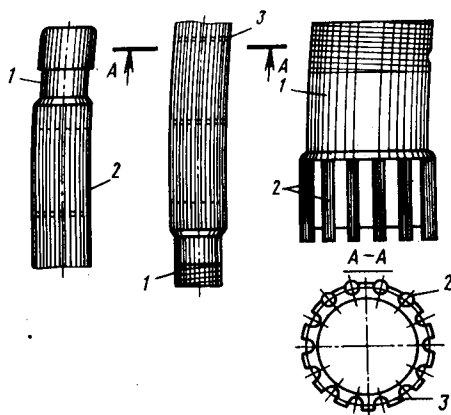
шахматном порядке выполняются круглые или щелевые отверстия. Расстояния между круглыми отверстиями (рис. 10.2, *a*) $a = (1,55 \div 1,7)d$; $b = (2,1 \div 3,5)d$ (d – диаметр отверстий).

Расстояние b между щелями (рис. 10.2, *б*) принимается равным $10a$, длина щелей $l = 25 \div 100$ мм, расстояние между рядами щелей по вертикали $10 \div 20$ мм.

Диаметр отверстий, или ширина щелей, зависит от granulometric composition пород и коэффициента неоднородности K_H , равного отношению $K_H = d_{60}/d_{10}$ (d_{60} , d_{10} – размер частиц, содержание которых в водоносном пласте по массе составляет соответственно 60 и 10 %). В трубчатых фильтрах с круглыми отверстиями диаметр последних принимается равным: $d = (2,5 \div 3)d_{50}$ при $K_H < 2$; $d = (3 \div 4)d_{50}$ при $K_H > 2$ (d_{50} – размер частиц, содержание которых по массе в пласте составляет 50 %). Ширина щелей принимается равной: $a = (1,25 \div 1,5)d_{50}$ при $K_H < 2$; $a = (1,5 \div 2)d_{50}$ при $K_H > 2$. Сквозность трубчатых фильтров составляет 25–35 %.

Для замедления процесса коррозии на фильтры наносятся защитные покрытия: эмалевые, полиэтиленовые, органосиликатные. Для исключения зарастания отверстий при действии минерализованных вод рекомендуется применять фильтры из антикоррозионных материалов: нержавеющей стали, асбоцементных, полиэтиленовых, винипластовых, стеклопластовых, керамических и др.

Рис. 10.3. Каркасно-стержневой
фильтр



В настоящее время изготавливают фильтры из штампованных антикоррозионных листовых материалов с отверстиями различной формы (рис. 10.2, в, г). Такая конструкция улучшает очистку и пропуск воды в скважину. Изготовление фильтров заключается в сворачивании листа в трубу, сварке шва по образующей, приваривании соединительных патрубков и нанесении защитного покрытия. Скважность фильтров из листовых материалов составляет 20–65 %.

Каркасно-стержневые фильтры (рис. 10.3) состоят из двух соединительных патрубков 1, стальных стержней 2 и опорных поясов жесткости 3. Стержни диаметром 10–16 мм приваривают к патрубкам по окружности на расстоянии 30–40 мм друг от друга. Длина звена стержневого фильтра обычно 2,5–3,5 м. Звенья между собой соединяются на резьбе или сваркой. Каркасно-стержневые фильтры имеют скважность до 60 %.

Фильтры с покрытием имеют каркас (трубчатый или каркасно-стержневой фильтр), на который наматывается проволока, сетка или штампованный просечной лист (рис. 10.4).

Сетчатые фильтры (рис. 10.4, а) состоят из перфорированного каркаса 2 и фильтрующей сетки 3. Между каркасом и сеткой продольно расположены отрезки проволоки диаметром 2 мм – проволоочная обмотка 1. Проволока наматывается на каркас с шагом 30–60 мм. Фильтрующая сетка изготавливается из латуни, нержавеющей стали или пластмассы.

По типу плетения сетки бывают квадратные, гладкие (галунные), киперные и сетка "семянка".

Сетки квадратного плетения изготавливают из проволочек одинакового диаметра, переплетающихся под прямым углом (рис. 10.5, а).

Сетки галунного плетения (рис. 10.5, в) наиболее распространены и изготавливаются из продольных проволок увеличенного диаметра – основы и поперечных проволок "утка". Последние огибают одну-две проволоки основы, образуя боковые извилистые отверстия в сетке. Размер сетки указывается дробным числом. Числитель обозначает число

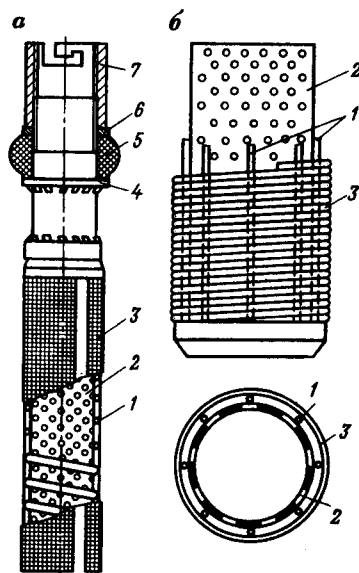
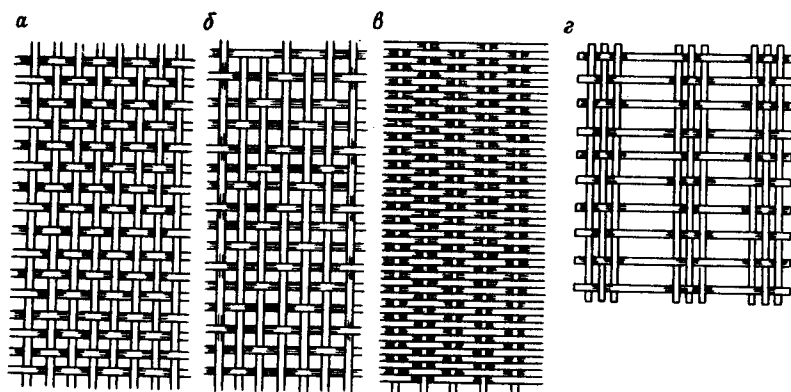


Рис. 10.4. Сетчатые и проволочные фильтры:
а — сетчатый фильтр, 1 — проволочная обмотка, 2 — перфорированная труба, 3 — фильтровая сетка, 4 — неподвижный фланец, 5 — резиновый тампон, 6 — подвижный фланец, 7 — специальная муфта для спуска фильтра на ключе; *б* — фильтр с проволочной обмоткой, 1 — опорные стержни, 2 — трубный каркас с круглыми отверстиями, 3 — проволочная обмотка

Рис. 10.5. Фильтровые сетки



проволок основы, знаменатель — число проволочек "утка", приходящихся на 25,4 мм. Галунная сетка на каркасе располагается так, что проволока "утка" направлена вдоль фильтра.

В сетке киперного плетения (рис. 10.5, б) проволоки "утка" переплетаются с двумя или тремя проволоками основы, причем место переплетения постоянно меняется.

В сетке "семянка" (рис. 10.5, в) проволоки основы расположены группами, причем внутри группы расстояние между проволоками небольшое, а между группами увеличивается.

Галунные сетки используются для мелко- и среднезернистых песков, квадратного плетения — для разно- и крупнозернистых песков, сетки

“семянка” — для гравелистых песков или создания фильтров с гравийной обсыпкой. Сетки укрепляют на каркасах фильтров путем сшивки и пайки.

Сетки из неметаллических материалов используются в условиях агрессивности минерализованных вод. Материалами для их изготовления служат винипласт, капрон, нейлон, стекловолокно.

Фильтры с проволочным покрытием (рис. 10.4, б) изготавливают следующим образом: на каркас через 40–60 мм по его окружности устанавливают продольные ребра из проволоки диаметром 4–6 мм, а затем наматывают проволоку диаметром от 1,5 до 6 мм из нержавеющей стали. Зазор между витками должен соответствовать среднему размеру зерен водоносного пласта. Проволоку припаивают через 0,5 м.

К группе фильтров с покрытием относятся фильтры ФКО, водоприемная поверхность которых изготовлена из просечного листа. Фильтрующая оболочка фильтров ФКО выполнена из оцинкованной или нержавеющей стали толщиной 1 мм и имеет отверстия диаметром 1; 1,5 и 2 мм с коническими выступами высотой 1,5–4 мм. Размеры отверстий подбирают в соответствии с гранулометрическим составом из соотношения $d = (7 \div 16)d_{50}$. Просечный лист свертывается в трубу, пропаивается и укрепляется на каркасе крепежными кольцами.

Фильтры ФКО выпускают для тонкозернистых (ФКО-Т), мелкозернистых (ФКО-М) и среднезернистых (ФКО-С) песков. Длина секции фильтра 4,5 м, диаметр каркаса 89–219 мм, скважность 0,5–8 %. Фильтры ФКО дешевле сетчатых и устойчиво работают при песковании, часто возникающем при остановке и запуске водоподъемника.

Гравийные фильтры состоят из трубчатого каркаса или фильтра с покрытием, окруженного слоем отсортированного крупнозернистого песка или гравия. По месту изготовления различают две группы фильтров: опускаемые, выполняемые на поверхности, и засыпные, создаваемые непосредственно в скважине. В свою очередь опускаемые фильтры делятся на корзинчатые и кожуховые.

Корзинчатые фильтры (рис. 10.6, а) часто применяются при ударном бурении скважин на воду. Чугунные или стальные корзинки 3 закрепляются на каркасе 1 опорными кольцами или сваркой. Засыпку 2 в корзинки делают двух- или трехслойной. На дно засыпается крупнозернистый гравий, последующие слои имеют размер частиц в 2–3 раза меньше. Зерна последнего слоя должны быть в 6–8 раз крупнее среднего размера частиц водоносного пласта. Корзинчатые фильтры рекомендуется использовать в тонкозернистых песках в скважинах глубиной до 50 м диаметром 350–500 мм.

Кожуховые фильтры (рис. 10.6, б) имеют основной трубчатый каркас 1 и удерживающий кожух 4 из штампованного или просечного листа, между которыми размещается уплотненный слой гравия 2 требуемой зернистости. В процессе эксплуатации удерживающий кожух быстро разрушается и порода водоносного пласта непосредственно контактирует с обсыпкой. Длина одного звена фильтра обычно составляет 1 м. Кожуховые фильтры используют при оборудовании глубоких (более 100 м) скважин.

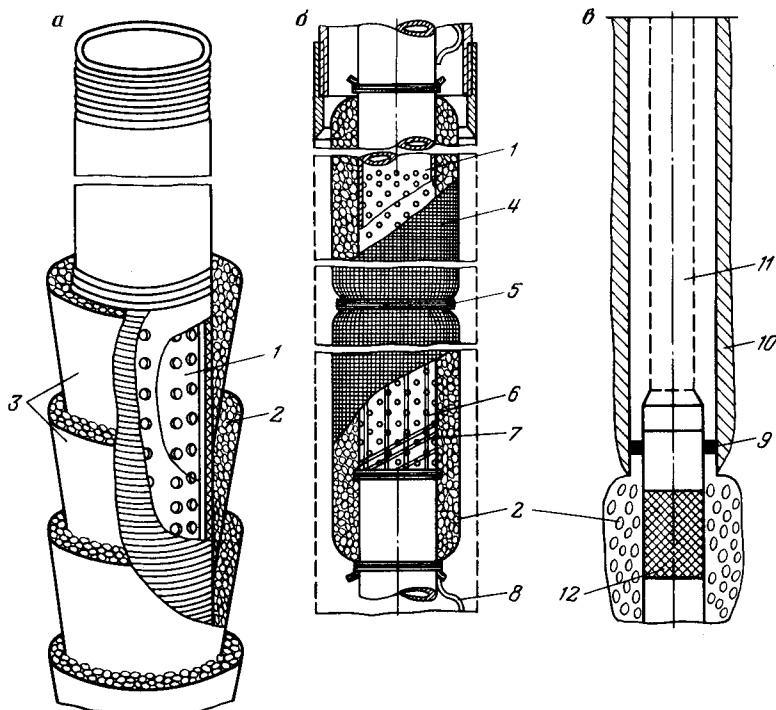


Рис. 10.6. Типы гравийных фильтров:

1 — каркас; 2 — гравийная засыпка; 3 — корзинка; 4 — сетчатый кожух; 5 — проволоочный пояс; 6 — продольные проволоки; 7 — проволоочная обмотка; 8 — центрирующий фонарь; 9 — сальниковое уплотнение; 10 — обсадная труба; 11 — трубы (извлекаемые) с переходником на левой резьбе; 12 — фильтровая колонна

Гравийные засыпные фильтры (рис. 10.6, в) широко применяют при сооружении водозаборных скважин. Существуют два основных способа подачи засыпки: свободное падение гравия в межтрубном пространстве и его осаждение вокруг фильтра; принудительное осаждение гравия путем закачки его на забой потоком промывочной жидкости.

Первый способ наиболее часто реализуется при засыпке гравия в восходящий поток жидкости непосредственно в зазор между стенками скважины и фильтровой (эксплуатационной) колонной. Интенсивность загрузки регулируется в зависимости от размера частиц гравия. Скорость восходящего потока должна быть 0,6–3 м/с. Недостатки способа заключаются в возможности налипания гравия на стенки скважины и образования породных пробок в местах сужения ствола, отсутствии гарантии плотной укладки гравия вокруг фильтра, значительных затратах времени на создание обсыпки. Глубины скважин, в которых можно применять подачу гравия в восходящий поток жидкости, не превышают 200–300 м.

Более эффективным является второй способ – принудительная доставка гравия в нисходящем потоке. Гравий может доставляться при открытом или загерметизированном устье скважины. При такой доставке принудительно осаждающийся гравий перераспределяется вокруг фильтра по размерам частиц: более крупный гравий будет находиться на контакте с фильтром вследствие высоких входных скоростей жидкости.

Схема создания обсыпки при открытом устье заключается в следующем. После спуска фильтровой колонны внутри ее монтируют водоподъемные трубы, нижняя часть которых располагается на 2–3 м выше отстойника. У устья устанавливают сосуд для гравия и воды с подводным желобом. Одновременно с откачкой воды центробежным насосом или эрлифтом к устью подается водогравийная смесь. Последняя нисходящим потоком доставляется в зафильтровое пространство. Гравий осаждается вокруг фильтра, а вода через водоподъемные трубы откачивается из скважины. Основной недостаток описанной схемы – возможность засорения гравийной смеси и профильтровой зоны породами стенок скважины.

Для устранения указанного недостатка практикуется доставка гравия по бурильным трубам, опущенным в зазор между стенками скважины и фильтровой (эксплуатационной) колонной. Внутри последней опускают водоподъемные трубы эрлифта. Одновременно с откачкой подается гравий. Для повышения устойчивости стенок скважины в результате снижения уровня жидкости при откачке гравийная смесь подается в потоке жидкости с помощью эжекторного насоса, установленного на столе ротора буровой установки. Песчано-гравийная смесь поступает из приемного сосуда в камеру смешения и далее в диффузор и бурильные трубы.

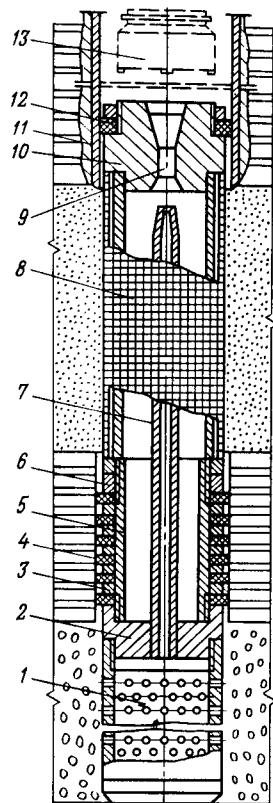


Рис. 10.7. Секционный фильтр:

1 – нижняя секция; 2 – перегородка; 3 – втулка; 4 – резиновые кольца; 5 – труба; 6 – гайка; 7 – патрубок; 8 – верхняя секция; 9 – насадка; 10 – переходник; 11 – эксплуатационная колонна; 12 – сальниковое уплотнение; 13 – погружной насос

Блочные фильтры состоят из кольцевых цилиндрических блоков, которые надевают на трубчатый каркас и соединяют с помощью опорных фланцев капроновыми шнурами или болтами. Стыки между блоками уплотняются резиновыми прокладками. Блоки изготавливают из гравия, щебня или дробленого шамота. Обсыпка связывается склеивающими и цементирующими веществами (битумом, цементом, резиновым клеем, жидким стеклом и т.д.). Блочные фильтры применяют в мелко- и тонкозернистых песках. Надежность их работы повышается при создании дополнительной гравийной обсыпки.

Секционные фильтры устанавливают при эксплуатации нескольких водоносных пластов (рис. 10.7). Для увеличения дебита в условиях, когда нижний пласт является напорным, а верхний – безнапорным, целесообразно оснастить секционный фильтр эжекторной насадкой 9. С этой целью секции разобщаются пакером. С нижней секцией 1 соединяется труба с соплом, а верхняя секция 8 оснащается переходником 10, в котором выполнены конфузор, камера смещения и диффузор. Такая конструкция секционного фильтра позволяет увеличить дебит из безнапорного пласта за счет дополнительного подсоса воды в результате эффекта эжекции.

Выбор и расчет фильтра

Выбор типа фильтра зависит в основном от гранулометрического состава пород водоносного горизонта (табл. 10.1). При этом учитываются проектный дебит, степень агрессивности подземных вод.

Расчет рабочей части фильтра сводится к определению его диаметра и длины, которые в свою очередь зависят от проектного дебита, мощности продуктивного пласта и габаритов применяемого водоподъемника для откачки.

Длина рабочей части фильтра

$$l_p = 7,643 Q / d_{\phi} v_{\phi}, \quad (10.1)$$

где Q – проектный дебит, м³/ч; d_{ϕ} – диаметр фильтра, м; v_{ϕ} – допустимая входная скорость фильтрации воды, м/сут.

Скорость фильтрации

$$v_{\phi} = 65 \sqrt[3]{K_{\phi}}, \quad (10.2)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации пород водоносного пласта, м/сут

$$K_{\phi} = 36 Q / m(h - h_1), \quad (10.3)$$

где m – мощность водоносного пласта, м; h, h_1 – соответственно динамический и статический уровни воды в скважине, м.

Таблица 10.1

Тип и конструкция фильтровой водоприемной части скважины в зависимости от характеристики водоносного пласта

Характеристика пород водоносного пласта	Тип и конструкция фильтров
Полускальные неустойчивые породы, щебенистые и галечниковые с преобладающим размером частиц щебня или гальки от 0,01 до 0,1 м (более 50 %) -	Трубчатые фильтры с круглой или щелевой перфорацией; каркасно-стержневые фильтры без проволоочной обмотки
Гравий, крупный гравелистый песок с размером частиц 0,001–0,01 м, преобладающий размер частиц от 2 до 5 мм (более 50 %)	Трубчатый фильтр с круглой перфорацией, щелевые фильтры, каркасные фильтры с проволоочной обмоткой из нержавеющей стали
Крупнозернистые пески с преобладающим размером частиц от 0,001 до 0,002 м (более 50 %)	Щелевые фильтры всех типов, фильтры с сетками квадратного плетения на трубчатых каркасах
Среднезернистые пески с преобладающим размером частиц от $(0,25 \div 0,5) \times 10^{-3}$ м (более 50 %)	Гравийные фильтры с однослойной обсыпкой с различными каркасами
Мелкозернистые пески с преобладающим размером частиц $(0,1 \div 0,25) 10^{-3}$ м	Фильтры с гравийной обсыпкой (песчано- или песчано-гравийной) с различными каркасами. Кожуховые фильтры с песчано-гравийным дополнением

При расчете l_p по формуле (10.1) в качестве наружного диаметра фильтра d_ϕ в зависимости от его конструкции принимается: 1) в трубчатых фильтрах с круглой и щелевой перфорацией — наружный диаметр фильтровой трубы; 2) в проволоочных, сетчатых и каркасно-стержневых фильтрах — наружный диаметр обмотки; 3) в гравийных фильтрах — наружный диаметр обсыпки.

По условиям ремонта скважины минимальный диаметр каркаса фильтра должен быть не менее 0,1 м, а при больших дебитах принимается 0,15–0,2 м и более.

При мощности водоносного пласта менее 10 м длина рабочей части фильтра принимается равной указанной мощности, а по формуле (10.1) рассчитывается его диаметр d_ϕ .

После расчета фильтр проверяют на водопропускную способность f , которая должна быть не менее запроектированного дебита Q . Указанное условие имеет вид:

$$f = v_\phi F/24 \geq Q \quad (10.4)$$

(F — рабочая площадь фильтра, м^2).

В качестве F следует принимать: в корзинчатом гравийном фильтре — внешнюю поверхность действующих воронок (находящихся ниже

динамического уровня), во всех остальных типах фильтров — всю наружную боковую поверхность, если скважность каркаса превышает 25 %, в других случаях — площадь отверстий каркаса.

Затем устанавливают размеры отстойника и надфильтровой трубы. Длина отстойника зависит от объема частиц породы мелкой фракции, прошедшей через фильтр, и обычно принимается 1–3 м. Надфильтровая труба чаще всего не выводится на поверхность, а располагается "впотай". При этом ее верхняя часть должна заходить внутрь эксплуатационной колонны не менее чем на 5 м. Кольцевое пространство между эксплуатационной колонной и надфильтровой трубой герметизируется сальником.

Рабочая часть фильтра должна быть удалена от кровли и подошвы водоносного пласта не менее чем на 0,5–1 м (при условии защиты водоносного горизонта водоупорными породами, а сам пласт должен быть напорным). В этих условиях фильтр часто располагается также в середине интервала пласта. Если водоносный горизонт слабонапорный, безнапорный или не защищен с поверхности водоупорными породами, то рабочую часть фильтра следует располагать в нижней части пласта. Во всех случаях фильтр должен находиться в зоне наибольшей проницаемости пород.

Установленный диаметр фильтра дает возможность определить конечный диаметр скважины. При использовании гравийных фильтров конечный диаметр равен наружному диаметру обсыпки, а при установке фильтров других типов он должен превышать наружный диаметр последних на 40–50 мм.

Оборудование фильтровой части скважины

Если конструкция скважины предусматривает оборудование фильтра на эксплуатационной колонне, то его установка осуществляется последовательным свинчиванием и спуском обсадных труб. При установке "впотай" фильтр опускают на бурильных трубах с помощью бурового ключа, входящего в Г-образный вырез муфты надфильтровой части (см. рис. 10.1). Для изоляции кольцевого пространства между обсадной колонной и фильтром надфильтровая часть оборудуется пеньковым или резиновым сальником. Распор сальника осуществляется вращением бурильной колонны с буровым ключом. Фильтр можно спускать также на бурильных трубах, соединенных с надфильтровой частью переходником с левой резьбой (см. рис. 10.6, в).

При ударном способе бурения фильтр устанавливается под защитой вспомогательной колонны. Предварительно на забой засыпают гравий для образования подушки. После спуска фильтра поднимают вспомогательную колонну для его обнажения. В процессе подъема нужно следить за тем, чтобы фильтр не поднимался при заклинивании вместе с колонной. Высота каждого слоя засыпки не должна превышать 2 м.

При роторном бурении в благоприятных условиях (слабонапорные пласты, представленные мелкозернистыми песками и залегающие на

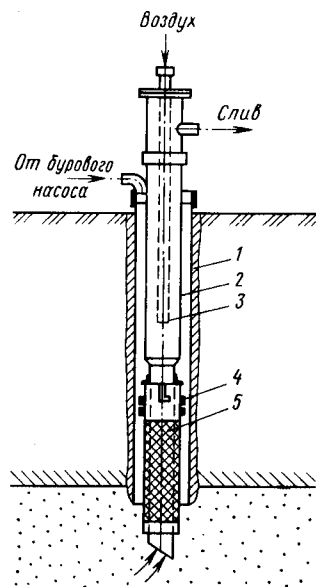
Рис. 10.8. Схема посадки фильтра с применением эрлифта

глубине до 100 м) фильтр устанавливают с одновременным вскрытием пласта. Это позволяет исключить при вскрытии промывку глинистым раствором, отрицательно влияющим на проницаемость водоносных пластов. Посадка фильтра с одновременным вскрытием пласта осуществляется гидровмывом или с применением эрлифта.

Сущность посадки фильтра гидровмывом заключается в том, что в скважину, перекрытую до кровли пласта обсадными трубами, опускают эксплуатационную колонну с фильтром на конце. Внутри колонны спускают бурильные трубы с гидронасадкой, по которым нагнетают воду. Последняя выбрасывается с большой скоростью из гидронасадки, размывает и выносит песок на поверхность. В результате фильтр опускается и устанавливается в водоносном пласте.

Установка фильтра с применением эрлифта осуществляется следующим образом (рис. 10.8). Водоподъемные трубы 2 с фильтром 5 опускают в скважину. Водоподъемная колонна 2 выходит ниже фильтра на 0,2 м. По воздухопроводным трубам 3 нагнетается сжатый воздух, а в кольцевой зазор между обсадными 1 и водоподъемными 2 трубами — вода от бурового насоса. В результате откачки происходит вынос песка с водой и погружение фильтра с водоподъемной колонной. После установки фильтра на требуемую глубину работа эрлифта прекращается. Вращение водоподъемной колонны с муфтой на левой резьбе обеспечивает распор сальника 4. Затем водоподъемные трубы отсоединяют от фильтра и извлекают.

При установке фильтра обоими способами в результате последующей откачки и выноса мелкой фракции создается естественная обсыпка фильтра.



§ 2. БЕСФИЛЬТРОВАЯ ВОДОПРИЕМНАЯ ЧАСТЬ СКВАЖИНЫ

Водоприемная часть скважины создается бесфильтровой при следующих благоприятных гидрогеологических условиях:

водоносный горизонт представлен скальными и полускальными породами, сохраняющими устойчивость при вскрытии;

водоносный пласт представлен мелко- и среднезернистым песком, залегающим на глубине до 200 м; кровля пласта представлена прочными неразмокаемыми породами (опоки, аргиллиты, известняки и т.д.).

В первом случае водоносный горизонт вскрывается долотом, диаметр которого равен конечному диаметру скважины.

Глубина вскрытия пласта (в м)

$$l_{\text{вскр}} = \left[\frac{7,647 Q}{D_{\text{к}} v_{\text{ф}}} + (1 \div 2) \right], \quad (10.5)$$

где $D_{\text{к}}$ — конечный диаметр скважины, м.

Значения Q и $v_{\text{ф}}$ такие же, как в формуле (10.1). Увеличение глубины скважины на 1–2 м обусловлено необходимостью внедрения башмака обсадной колонны на 0,5 м ниже кровли водоносного горизонта и осадением мелких частиц породы на забой.

Бесфильтровая водоприемная часть в песчаном водоносном пласте (рис. 10.9) формируется путем создания в его кровле конусообразной воронки (каверны). Воронка образуется за счет удаления песка водой при откачке эрлифтом, эжекторным насосом, тартанием желонкой или гидравлическим турбинным расширителем. Через боковую поверхность полученной каверны происходит приток воды в скважину.

Бесфильтровые скважины этого типа весьма эффективны, так как фильтрационная поверхность каверн в сотни раз превышает рабочую поверхность трубчатых фильтров. Откачка из таких скважин осуществляется только эрлифтом, потому что вода содержит большое количество песка.

Расчет бесфильтровой скважины в водоносных песках ведется в следующем порядке (рис. 10.9). Высота параболического свода $h_{\text{п}}$ (в м), при котором соблюдается условие устойчивости кровли пласта, опре-

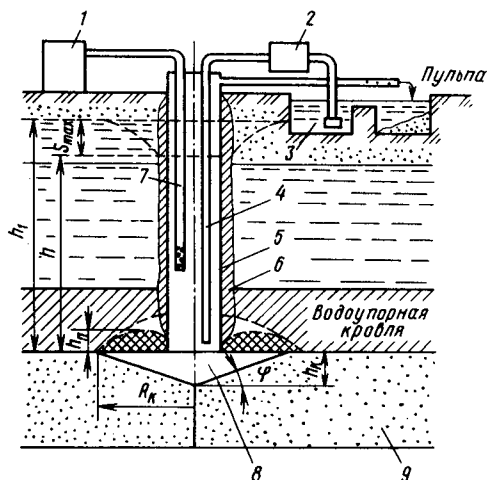


Рис. 10.9. Схема сооружения бесфильтровой скважины:

1 — компрессор; 2 — насос;
3 — отстойник; 4 — трубы для подачи воды; 5 — обсадные трубы; 6 — цементное кольцо; 7 — эрлифтные трубы; 8 — водоподъемная воронка; 9 — водоносный пласт

деляется по формуле:

$$h_{\text{п}} = \frac{\gamma_{\text{в}} (h_1 - S_{\text{max}})}{(1 - m_{\text{к}}) \gamma_{\text{к}} - \gamma_{\text{в}} m_{\text{к}}}, \quad (10.6)$$

где $\gamma_{\text{в}}$ — плотность воды, т/м³; S_{max} — наибольшее понижение уровня воды, м; $S_{\text{max}} = h - h_1$; h и h_1 — соответственно динамический и статический уровни воды, м; $m_{\text{к}}$ — пористость кровли пласта; $\gamma_{\text{к}}$ — плотность породы кровли пласта, т/м³.

Допустимый радиус каверны $R_{\text{к.доп}}$ (в м) вычисляется по формуле:

$$R_{\text{к.доп}} \leq \frac{\gamma_{\text{в}} (h_1 - S_{\text{max}}) \operatorname{tg} \alpha}{(1 - m_{\text{к}}) \gamma_{\text{к}} - \gamma_{\text{в}} m_{\text{к}}}, \quad (10.7)$$

где α — угол внутреннего трения для пород, слагающих кровлю водоносного пласта; усредненная величина $\operatorname{tg} \alpha$ изменяется от 0,78 (пластичные глины) до 7,45 (кварцевые породы).

Допустимый при радиусе $R_{\text{к.доп}}$ дебит (в м³/ч)

$$Q_{\text{доп}} = 3600 \pi v_{\text{ф}} R_{\text{к.доп}}^2 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}, \quad (10.8)$$

где $v_{\text{ф}}$ — допустимая выходная скорость фильтрации, м/с; φ — угол естественного откоса породы водоносного пласта; величина φ изменяется в пределах от 0–15° (пески-пльвуны) до 35° (крупнозернистый песок).

Если допустимый дебит $Q_{\text{доп}}$ больше проектного $Q_{\text{пр}}$, то по формуле (10.8) можно найти при заданном дебите радиус воронки:

$$R_{\text{к.о}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{пр}}}{3600 \pi v_{\text{ф}} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}}. \quad (10.9)$$

Если принять, что каверна имеет форму круглого прямого конуса, то ее радиус в процессе формирования

$$R_{\text{кф}} = \sqrt{3V_{\text{п}} / \xi \pi h_{\text{к}}}, \quad (10.10)$$

где $h_{\text{к}}$ — глубина каверны, м; $V_{\text{п}}$ — объем вынесенного песка, м³; $\xi = 1,05 - 1,15$ — коэффициент разрыхления песка.

Для обеспечения требуемого дебита и предотвращения обрушения кровли пласта должно выполняться условие:

$$R_{\text{к.о}} \leq R_{\text{кф}} \leq R_{\text{доп}}.$$

§ 3. ВОДОПОДЪЕМНИКИ

Воду из скважин откачивают после окончания бурения (предварительная или пробная откачка) и в процессе эксплуатации (эксплуатационная откачка). В первом случае скважина оборудуется временной водоподъемной установкой, во втором — постоянной. Работа насосных установок определяется подачей (расход воды, подаваемой на поверхность) и напором, равным высоте нагнетания (в метрах водяного столба). Желательно, чтобы водоподъемник мог откачивать воду с примесью песка. В зависимости от положения уровня воды при откачке используют различные типы насосов, которые размещают на поверхности или в самой скважине.

Центробежные насосы с горизонтальной осью

Центробежные насосы с горизонтальной осью монтируют на поверхности и применяют при откачке воды, если ее динамический уровень не снижается более 6–7 м от уровня разлива.

Центробежные насосы всасывают и нагнетают воду за счет центробежной силы, возникающей при вращении рабочего колеса 1 (рис. 10.10). Перед пуском насос заполняют водой. При быстром вращении колеса вода под действием центробежной силы отбрасывается к периферии в спиральный диффузор 4, из которого она отводится по нагнетательному патрубку 3. Непрерывность подачи воды обеспечивается за счет ее всасывания по патрубку 2 в результате разрежения, возникающего в центральной зоне рабочего колеса. Наибольшее распространение при откачках получили одноступенчатые центробежные насосы типа К, обеспечивающие подачу 4–360 м³/ч при напоре 8–95 м вод. ст.

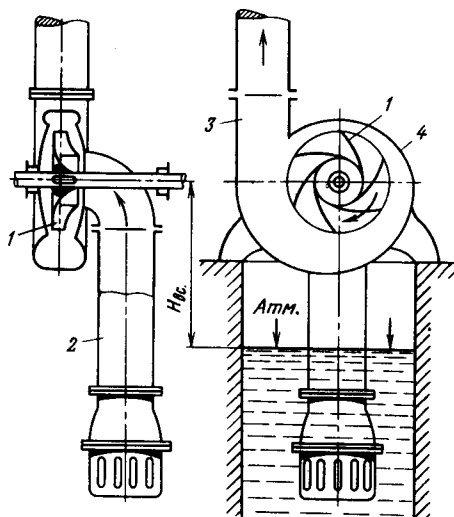


Рис. 10.10. Схема центробежного насоса с горизонтальной осью

Погружные центробежные насосы

Погружные центробежные насосы бывают двух типов: с двигателями, расположенными на поверхности, и с погружными двигателями. К первому типу относятся насосы типа АТН (артезианский, турбинный), предназначенные для откачки чистой воды с подачей до $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором до 115 м вод. ст. Насос типа АТН (рис. 10.11) спускают в обсадную колонну 9. Он состоит из следующих узлов: сетки всасывания 8 с всасывающей трубой, рабочего узла, напорного трубопровода 6 с отводом 2, трансмиссионного вала 3 и приводной головки с электродвигателем 1.

Рабочий узел — это многоступенчатый центробежный насос 7, состоящий из одинаковых звеньев, каждое из которых представляет собой рабочее колесо и направляющий аппарат. Все рабочие колеса закреп-

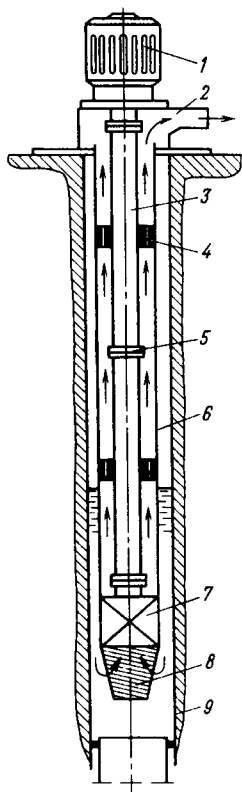


Рис. 10.11. Принципиальная схема насоса АТН

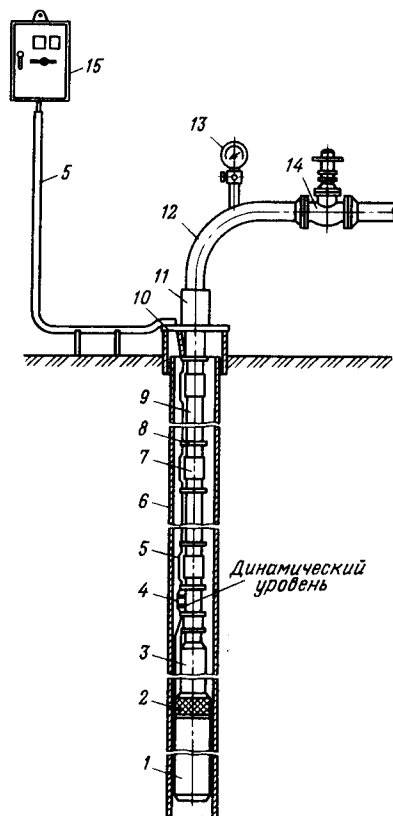


Рис. 10.12. Схема электрического центробежного насоса с погружным двигателем

ляются на общем валу. Напорный трубопровод 6 собирается из отдельных стандартных секций, представляющих собой трубу с отрезком трансмиссионного вала 3. При стыке двух секций отрезки валов соединяются резьбовой муфтой 5 и центрируются подшипником 4. Насос работает при передаче вращения от электродвигателя 1 через трансмиссионный вал рабочим колесам.

К недостаткам насосов АТН относятся сложность конструкции и особая чувствительность при их монтаже в искривленных скважинах из-за длинного трансмиссионного вала.

Эти водоподъемники заменяются центробежными насосами с погружными двигателями более совершенных конструкций (рис. 10.12). Насосный агрегат этого типа состоит из насоса 3 с сеткой 2 и электродвигателя 1 влагостойкого исполнения, соединенных между собой жесткой муфтой сцепления 4. Агрегат опускается в скважину, обсаженную колонной 6, на водоподъемных трубах 9. Для электропитания двигателя к трубам с помощью хомута 8 и муфты 7 крепится кабель 5. В комплект агрегата входят опорное устройство 10, специальная муфта 11, колено с фланцем 12, манометр 13, задвижка 14 и система автоматического регулирования 15.

Наибольшее распространение получили насосы ЭЦВ, которые предназначены для подъема чистой воды общей минерализацией до 1500 мг/л с содержанием механических примесей не более 0,01 %. Подача насосов 4—375 м³/ч, напор 50—300 м вод. ст. 0,01 %. Подача насосов 4—375 м³/ч, напор 50—300 м вод. ст.

Основная рабочая характеристика указана в самом названии насоса. Например, марка насоса 3ЭЦВ6-10-80 означает: 3 — третья модификация; Э — с приводом от погружного электродвигателя; Ц — центробежный; В — для подачи воды; 6 — минимально допустимый для монтажа насоса диаметр скважины в мм, уменьшенный в 25 раз и округленный; 10 — подача в м³/ч; 80 — напор в м вод. ст.

Отечественная промышленность выпускает насосы ЭЦВ следующих марок: ЭЦВ-4-125; ЭЦВ-6,3-80; 1ЭЦВ-4-130; 1ЭЦВ-6-4-190; 3ЭЦВ-6,3-60; 4ЭЦВ-6,3-85; 3ЭЦВ-6,3-125; 3ЭЦВ-6,3-125; 1ЭЦВ-10-50; 3ЭЦВ-10-80; 1ЭЦВ-10-110; 1ЭЦВ-10-140; 1ЭЦВ-10-185; ЭЦВ-10-235; 3ЭЦВ-16-50; 3ЭЦВ-16-75; ЭЦВ-25-140ХТрГ; 3ЭЦВ-16-140; 3ЭЦВ-25-100; 2ЭЦВ-8-25-150; ЭЦВ-8-25-300; 1ЭЦВ-8-40-60; 1ЭЦВ-8-40-20; ЭЦВ-40-180; 2ЭЦВ-10-63-65; 2ЭЦВ-10-63-110; 2ЭЦВ-10-63-150; 1ЭЦВ-10-63-180; 1ЭЦВ-10-63-270; 1ЭЦВ-10-120-60; ЭЦВ-160-15Г; ЭЦВ-10-160-35Г; ЭЦВ-12-160-65; 1ЭЦВ-12-160-65; 1ЭЦВ-12-160-100; 1ЭЦВ-12-255-30Г; 2ЭЦВ-12-375-30Г; ЭЦВ-12-375-30ХТр; ЭЦВ-14-210-300Х; ЭЦВ-16-375-175Х. Для насосов, работающих в химически активной воде, в условиях повышенной температуры или на воде с повышенным содержанием механических примесей, в условное обозначение соответственно добавляются буквы Х, Тр или Г.

Винтовые насосы

Винтовые насосы (рис. 10.13) получили название по основному элементу их конструкции – винту 1, расположенному в обойме 2, которая имеет профилированную поверхность. При вращении винта (он обкатывается по двухзаходной поверхности обоймы) между ним и обоймой образуются полости, в которые засасывается жидкость и подается под давлением в напорный трубопровод. Привод винта осуществляется через трансмиссионный вал от двигателя, находящегося на поверхности.

Винтовые насосы типа ВАН и ВЭ имеют небольшие подачи (до $40 \text{ м}^3/\text{ч}$) и напор (до 40 м вод. ст.). В то же время они имеют высокий к.п.д. и способны откачивать воду с повышенным содержанием песка.

Поршневые штанговые насосы

Поршневой штанговый насос (рис. 10.14) состоит из цилиндра 2 с клапаном 1 и возвратно-поступательно двигающегося в нем поршня 3 с клапанами 4. Движение поршня осуществляется через колонну штанг

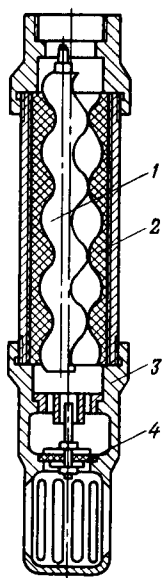


Рис. 10.13. Схема винтового насоса:

1 – винт; 2 – обойма; 3 – нижняя крышка; 4 – клапан

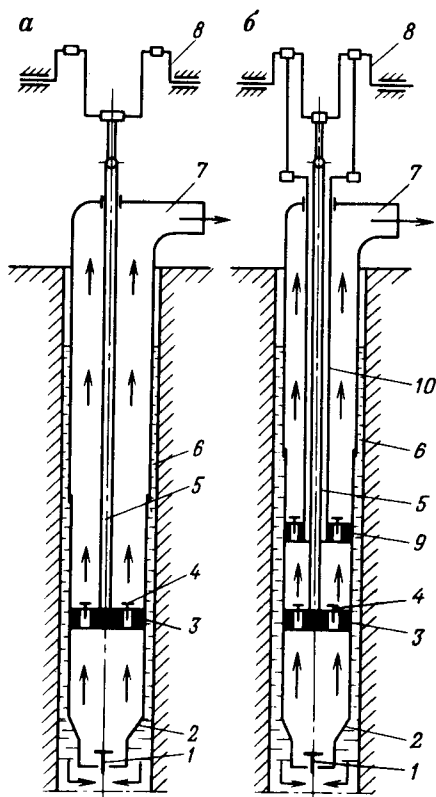


Рис. 10.14. Схема работы поршневого штангового насоса

(штоков) 5, соединенных с качалкой 8, расположенной на поверхности. Качалка кинематически представляет собой кривошипно-шатунный механизм. Вода по водоподъемным трубам 6 поступает в сливной патрубок 7.

Насос, показанный на рис. 10.14, а, относится к поршневым насосам одинарного действия. С целью увеличения подачи применяется насос двойного действия (рис. 10.14, б), в котором за один цикл происходит одновременно всасывание и нагнетание воды. Этот насос имеет дополнительно верхний поршень 9 и наружную колонну штанг 10. Наиболее широко распространены штанговые поршневые насосы Бурвод III ШНД, а также лебедки для привода насосов ВЛЗМ и НД.

Преимущество штанговых насосов — возможность откачки воды с высоким содержанием песка и создание высоких напоров (до 150 м вод. ст.); недостатки — громоздкость конструкции, низкий к.п.д. и малая подача ($10\text{--}30\text{ м}^3/\text{ч}$).

Эрлифты

Эрлифты широко применяются при проведении прокачек (предварительная откачка с целью очистки воды от песка), пробных откачек, при бурении скважин с обратно-всасывающей промывкой. Основное эксплуатационное преимущество эрлифтов — отсутствие при работе движущихся механизмов, что дает возможность откачивать воду с высоким содержанием песка. Эрлифты имеют большую подачу (до $200\text{ м}^3/\text{ч}$) и поднимают воду на 60–70 м (при использовании компрессоров, рассчитанных на рабочее давление 0,6–0,7 МПа). Недостатки эрлифта — низкий к.п.д. (20–25 %) и необходимость значительного заглубления ниже динамического уровня воды h (рис. 10.15).

Принцип действия эрлифта основан на законе сообщающихся сосудов. В скважину опущены две трубы: воздухопроводная диаметром d_1 и водоподъемная диаметром d . На практике применяют два основных варианта относительного расположения указанных колонн: параллельное — трубы расположены по схеме "рядом" (рис. 10.15, а) и концентричное — трубы расположены по схеме "внутри" (рис. 10.15, б).

При параллельном расположении воздухопроводная труба в нижней части соединяется с водоподъемной с помощью смесителя. Последний перфорирован для прохода сжатого воздуха в водоподъемную колонну. При концентричном расположении труб роль смесителя выполняет нижняя часть эрлифта в месте перфорации, выполненной в воздухопроводной колонне. Функцию сообщающихся сосудов выполняет подопъемная колонна и скважина, которая при вскрытии водоносного пласта заполняется водой до отметки статического уровня h_1 .

Работа эрлифта происходит следующим образом. Сжатый воздух от компрессора подается в воздухопроводную трубу и, проходя через перфорированные отверстия смесителя, который находится на глубине H , смешивается с водой, имеющейся в водоподъемной колонне.

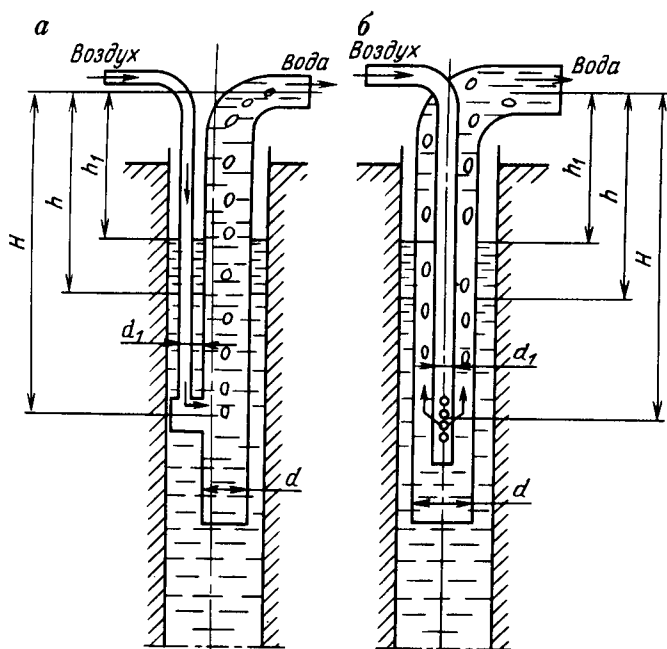


Рис. 10.15. Схема работы эрлифта

До подачи сжатого воздуха в колонну первоначальный уровень воды в ней равен статическому h_1 . При насыщении воды пузырьками воздуха ее плотность уменьшается, а уровень жидкости в водоподъемной колонне повышается вплоть до излива из скважины.

Наиболее часто применяется схема эрлифта с концентрическим расположением труб, как более простая при монтаже.

При необходимости подъема воды из скважин с низким динамическим уровнем (до 100–120 м) используются спаренные эрлифты, выполненные по смешанной схеме: в водоподъемную колонну эрлифта, выполненного по схеме "рядом", опускается дополнительная колонна воздухопроводных труб. Воздух, поступающий из смесителя последней, дополнительно снижает плотность поднятой на определенную высоту воды в результате работы эрлифта, выполненного по схеме "рядом". Откачка воды из скважины происходит при низком динамическом уровне. Другой путь повышения напора эрлифта — применение для его привода компрессоров высокого давления и производительности.

Для работы эрлифта важное значение имеет коэффициент погружения его смесителя $k = H/h$. При использовании компрессоров с рабочим давлением 0,6–0,7 МПа величина $k \leq 3,5$. Чем больше k , тем эффективнее работает эрлифт.

Расчет эрлифта проводится в следующем порядке.

Глубина погружения смесителя эрлифта под динамический уровень (в м)

$$H = kh. \quad (10.11)$$

Расход воздуха V_0 , необходимый для подъема на поверхность 1 м³ воды, в зависимости от принятой системы расположения труб определяется по следующим формулам:

при расположении труб "рядом"

$$V_0 = \frac{h}{c \lg \frac{h(k-1) + 10}{10}}; \quad (10.12)$$

при расположении труб "внутри"

$$V_0 = \frac{k_{\text{попр}} h}{c \lg \frac{h(k-1) + 10}{10}}. \quad (10.13)$$

Здесь c — опытный коэффициент, зависящий от коэффициента погружения k ; $k_{\text{попр}}$ — поправочный коэффициент, зависящий от диаметров водоподъемных и воздухопроводных труб.

Зависимость коэффициента c от коэффициента погружения k

k	4	3,35	2,85	2,5	2,2	2	1,8	1,7	1,55
c	14,3	13,9	13,6	13,1	12,4	11,5	10,0	9,0	8,0

Зависимость $k_{\text{попр}}$ от диаметров труб эрлифта

Диаметр водоподъемных труб d , мм	400	350	300	250
Диаметр воздухопроводных труб d_1 , мм	100; 76	76; 65	76; 65	65; 50
Поправочный коэффициент $k_{\text{попр}}$	1,08; 1,05	1,06; 1,09	1,08; 1,06	1,09; 1,06
Диаметр водоподъемных труб d , мм	150	125	100	80
Диаметр воздухопроводных труб d_1 , мм	50; 38	38; 32	32; 25	25; 19
Поправочный коэффициент $k_{\text{попр}}$	1,06; 1,10	1,25; 1,11	1,18; 1,11	1,20; 1,13

Полный расход воздуха (в м³/мин)

$$W = QV_0/60, \quad (10.14)$$

где Q — проектный дебит, м³/ч.

Пусковое давление воздуха (в МПа)

$$p_0 = 0,01 (kh - h_0 + 2). \quad (10.15)$$

Рабочее давление воздуха (в МПа)

$$p_p = 0,01 [h(k-1) + 5]. \quad (10.16)$$

Расход эмульсии q (вода + воздух) непосредственно выше смесителя (в м³/с)

$$q = \frac{Q}{3600} + \frac{Q V_0}{3600 \{0,1 [h(k-1) + 5] - 1\}}. \quad (10.17)$$

Расход эмульсии при изливе (в м³/с)

$$q_2 = \frac{Q}{3600} (1 + V_0). \quad (10.18)$$

Необходимая площадь сечения ω_1 водоподъемной трубы у смесителя (в м²)

$$\omega_1 = q/v_1. \quad (10.19)$$

Необходимая площадь сечения ω_2 водоподъемной трубы у излива (в м²)

$$\omega_2 = q_2/v_2. \quad (10.20)$$

Здесь v_1 и v_2 — скорости движения эмульсии (воды + воздух) соответственно к смесителю и на изливе.

Зависимости скорости движения эмульсии v_1 и v_2 от глубины динамического уровня воды

Глубина динамического уровня h , м	20	40	60
Скорость движения эмульсии, м/с:			
к смесителю v_1	1,8	2,7	3,6
на изливе v_2	6	7–8	9–10

Внутренний диаметр d_0 (в м) водоподъемной трубы в зависимости от расположения последней относительно воздухопроводной:
при расположении труб "рядом"

$$d_0 = 2\sqrt{\omega_2/\pi}; \quad (10.21)$$

при расположении труб "внутри"

$$d_0 = (4\omega_2 + \pi d_1^2)/\pi. \quad (10.22)$$

При расчете d_0 по формуле (10.22) диаметр воздухопроводных труб d_1 выбирается (см. ниже).

Производительность компрессора (в м³/мин)

$$W_K = 1,2 W. \quad (10.23)$$

Зависимость диаметра воздухопроводных труб от производительности компрессора

Производительность компрессора W_K , м ³ /ч	10–30	30–60	60–100	100–200
Диаметр воздухопровода d_1 , мм	15–20	20–25	25–32	32–40
Производительность компрессора W_K , м ³ /ч	200–400	400–700	700–1000	1000–1600
Диаметр воздухопровода d_1 , мм	40–50	50–70	70–80	80–100

Рабочее давление компрессора (в МПа)

$$p_K = \left\{ 0,01 [h(k-1) + 5] + 0,05 \right\}. \quad (10.24)$$

Расчетная мощность на валу компрессора (в кВт)

$$N_K = 10 N_0 p_K W_K \quad (10.25)$$

(N_0 – удельная мощность на валу компрессора).

Зависимость удельной мощности N_0 от давления p

Рабочее давление, МПа . . .	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Удельная мощность на валу компрессора, кВт	1,47	1,4	1,25	1,18	1,1	1,03	1,03

Действительная мощность N_d на валу компрессора (в кВт)

$$N_d = 1,1 N_K. \quad (10.26)$$

Коэффициент полезного действия эрлифта

$$\eta_э = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{Qh}{N_d}. \quad (10.27)$$

Водоструйные насосы

Водоструйные насосы (гидроэлеваторы) приводятся в действие за счет энергии рабочей (первичной) жидкости. Насосы просты по конструкции, надежны, не имеют трущихся частей и клапанов, могут откачивать за-

грязненную воду с глубины до 75 м. Недостатки водоструйных насосов — невысокий к.п.д. (до 35 %), небольшая подача (до 15 м³/ч) и необходимость иметь дополнительный насос для нагнетания первичной жидкости.

Схема водоструйной установки показана на рис. 10.16. Электродвигатель приводит в действие центробежный горизонтальный насос 8, расположенный у устья скважины. Первичная вода q_p нагнетается насосом в напорный трубопровод 7 и далее поступает в эжекторный аппарат. Истечение из сопла 3 жидкости с большой скоростью (до 5 м/с) обуславливает разрежение в смесительной камере 4. В результате часть жидкости из скважины q_n , открывая клапан 1, поступает в смесительную камеру 4 и через канал 2 смешивается с первичной водой и пода-

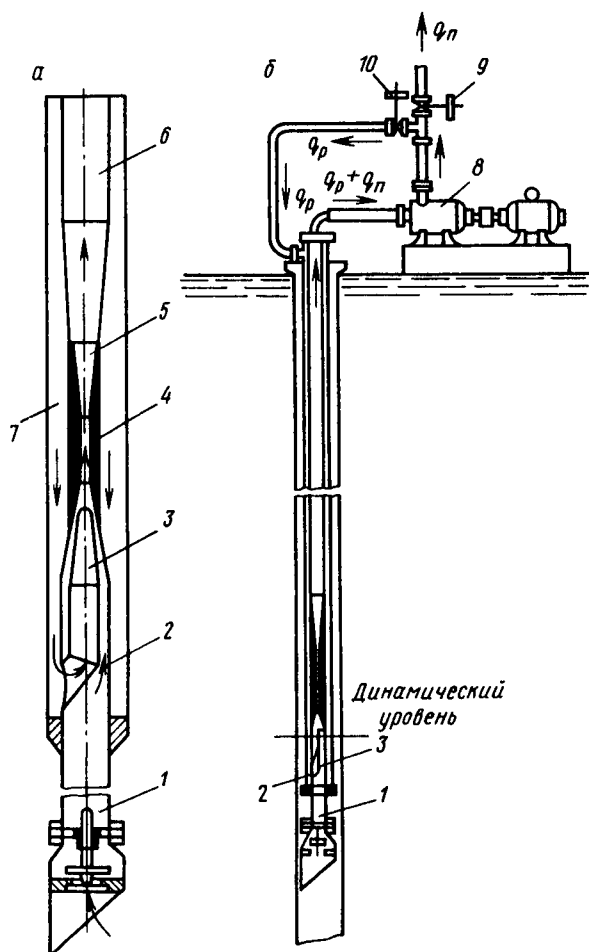


Рис. 10.16. Схема работы водоструйной установки

ется через диффузор 5 по водоподъемным трубам 6 на поверхность. Поднятая из скважины вода идет на слив, а первичная вода вновь нагнетается центробежным насосом в напорный трубопровод.

Количество откачиваемой жидкости регулируется краном 9, а жидкости, подаваемой в скважину, — краном 10.

Конструкция водоструйных установок бывает двухколонной и одноколонной. При двухколонной конструкции в скважину опускают напорный трубопровод и водоподъемные трубы. При одноколонной конструкции водоструйный насос снабжается резиновым пакером. В этом случае вода поднимается по колонне труб, на которой опущен насос, а нагнетается между этой колонной и обсадными трубами.

Контрольные вопросы к гл. 10

1. В каких условиях водопримная часть скважины выполняется фильтровой и бесфильтровой?

2. Основные типы фильтров и их устройство.

3. Выбрать тип фильтра, его диаметр и рассчитать длину рабочей части, если водоносный пласт представлен гравийно-галечниковыми отложениями, мощность его 50 м, ожидаемый дебит воды 110 м³/ч.

4. В каких условиях при откачке применяют центробежные насосы с горизонтальной осью?

5. Принципы действия и область применения насосов типа АТН.

6. Принцип действия и область применения электрических погружных центробежных насосов.

7. Принцип действия и область применения эрлифта.

Глава 11

СПОСОБЫ БУРЕНИЯ, ВСКРЫТИЯ, ОПРОБОВАНИЯ И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН НА ВОДУ

§ 1. СПОСОБЫ БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА ВОДУ

В настоящее время применяют следующие способы сооружения скважин на воду: роторный с прямой и обратной промывкой, а также с продувкой; ударно-вращательный с применением пневмоударников; шнековый; ударно-канатный; комбинированный. Роторный способ наиболее распространен и составляет до 80 % общего объема буровых работ. Колонковое бурение осуществляется редко, так как не обеспечивает получения больших диаметров скважин.

Роторное бурение с прямой промывкой применяется при хорошо изученном разрезе и обеспечивает высокие скорости бурения, проходку на большую глубину в породах различной твердости, небольшой расход обсадных труб. Основной недостаток роторного способа с промывкой глинистым раствором — глинизация (кольматация) водоносного пласта

и вследствие этого снижение дебита. Значительные трудности вызывает бурение этим способом валуно-галечниковых отложений, в особенности залегающих близко к поверхности. Основной недостаток роторного бурения можно в ряде случаев устранить, используя при вскрытии пласта в качестве промывочной жидкости техническую воду, специальные растворы, оказывающие минимальное кольматирующее воздействие на стенки скважин.

Роторное бурение с обратной промывкой эффективно при бурении скважин большого диаметра (до 1500 мм) и обеспечивает получение больших дебитов воды. Скорость бурения этим способом возрастает в 1,5–2 раза по сравнению с роторным бурением с прямой промывкой. Недостатки роторного бурения с обратной промывкой — бурение только в мягких породах I–IV категорий и ограниченная глубина скважин (до 200 м).

Роторное бурение с продувкой имеет скорость проходки скважин в 1,5–2 раза превышающую аналогичный показатель при бурении с прямой промывкой. При этом способе упрощается организация работ, обеспечивается качественное вскрытие и опробование пластов. Область применения способа ограничивается глубиной скважин до 200 м (при использовании компрессоров, рассчитанных на рабочее давление 0,6–0,7 МПа). Бурение с продувкой применяется лишь в устойчивых породах и при наличии водопритоков в скважину до 3–5 л/с.

Ударно-вращательное бурение с использованием пневмоударников обеспечивает рост производительности в породах высокой и средней твердости в 2–2,5 раза по сравнению с вращательным бурением с продувкой и имеет аналогичную область применения. Следует отметить, что при использовании компрессоров СД 15/25, развивающих давление до 2,5 МПа при производительности 15 м³/мин, возможно бурение скважин глубиной до 400–500 м.

Вращательное шнековое бурение эффективно при сооружении скважин глубиной до 50 м в мягких песчано-глинистых породах. Недостатки способа — невысокое качество информации о параметрах вскрываемого водоносного пласта и ограничения по крепости пород и глубине скважины.

Ударно-канатное бурение применяется при бурении скважин глубиной до 150 м в основном в рыхлых неустойчивых породах. Хорошие результаты получаются при проходке валуно-галечниковых отложений. Ударно-канатное бурение обеспечивает возможность качественного вскрытия и опробования водоносных пластов и буримых пород, что обуславливает его использование в малоизученных районах. Вместе с тем для ударно-канатного способа характерны более низкие скорости бурения и сложность конструкции скважины, значительно возрастающая с увеличением глубины.

Комбинированный способ бурения позволяет соединить преимущества применяемых последовательно во времени методов, что повышает качество опробования водоносных пластов. Широко применяются сочетания роторного бурения с прямой и обратной промывкой с ударно-канатным или последнего со шнековым.

При выборе способа бурения следует руководствоваться целевым назначением скважины, гидрогеологической характеристикой водоносного пласта и глубиной его залегания, объемом работ по освоению пласта. Объективную оценку выбранного способа бурения дают его технико-экономические показатели (коммерческая скорость бурения, стоимость 1 м проходки и 1 м³ добываемой воды) и их сравнение с аналогичными показателями других способов в тех же условиях. Такая оценка возможна только после выполнения расчетов сметной стоимости работ по сооружению скважины несколькими способами бурения.

§ 2. КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИН НА ВОДУ ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ И УДАРНО-КАНАТНОМ БУРЕНИИ

По целевому назначению скважины на воду делятся на поисковые, поисково-разведочные, разведочно-эксплуатационные и эксплуатационные. Конструкции поисковых и поисково-разведочных скважин предусматривают оборудование их временными водоподъемниками. После выполнения необходимых исследований эти скважины ликвидируются. Наиболее часто сооружаются разведочно-эксплуатационные скважины, которые после выполнения комплекса исследований передаются для эксплуатации.

Необходимо, чтобы конструкция разведочно-эксплуатационной скважины удовлетворяла следующим требованиям: 1) водоприемная часть должна обеспечивать приток воды, равный запроектированному дебиту; в нее не должны проникать частицы из окружающих пород; 2) диаметр эксплуатационной колонны должен быть достаточным для размещения в ней как временного водоподъемника, так и насоса, предназначенного для откачки; 3) эксплуатируемый водоносный горизонт должен быть надежно изолирован от неиспользуемых водоносных пластов; 4) в ствол скважины не должны проникать поверхностные воды и воды из других водоносных горизонтов; 5) конструкция должна быть несложной, удобной в эксплуатации и при проведении работ по ее восстановлению и ремонту.

Конструкция скважины зависит от выбранного способа бурения, гидрогеологических параметров водоносного пласта и технологии его вскрытия, характеристики пород разреза, глубины скважины и других показателей.

При вращательном бурении наиболее часто используются конструкции скважин, показанные на рис. 11.1. Схема, показанная на рис. 11.1, а, предназначена для эксплуатации водоносного пласта, представленного устойчивыми трещиноватыми породами, поэтому водоприемная часть выполняется бесфильтровой. Вмещающие породы до кровли водоносного пласта перекрываются эксплуатационной колонной, в которой размещается насос для откачки. Верхняя часть разреза, представленная рыхлыми породами, перекрывается кондуктором.

При глубине скважины более 300 м и неблагоприятных условиях

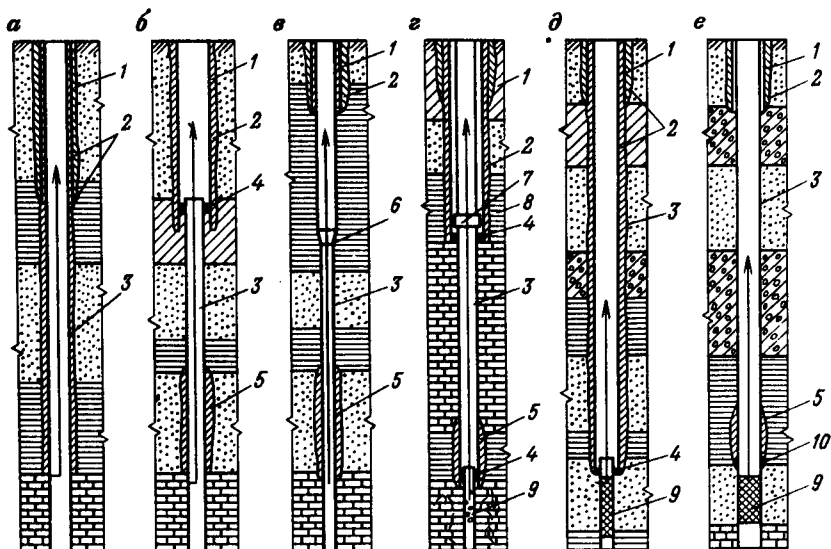


Рис. 11.1. Схемы конструкций скважин при роторном бурении:

1 – кондуктор; 2 – затрубное цементирование; 3 – эксплуатационная колонна; 4 – сальник; 5 – подбашмачное цементирование; 6 – переводник; 7 – муфта с левой резьбой; 8 – промежуточная колонна; 9 – фильтровая колонна (фильтр); 10 – манжета для цементирования

(сильное поглощение промывочной жидкости, неиспользуемый пласт с аномально высоким давлением) между кондуктором и эксплуатационной колонной устанавливают промежуточную колонну. Затрубное пространство кондуктора и эксплуатационной колонны цементируют, как правило, на полную глубину. При больших глубинах в ряде случаев цементирование можно не доводить до устья, однако это делается лишь тогда, когда исключена гидравлическая связь водоносных горизонтов и, как следствие, смешивание и загрязнение подземных вод.

В случае эксплуатации напорных пластов с большим дебитом, предопределяющим монтаж насоса больших габаритов, эксплуатационная колонна устанавливается в верхней части разреза, выполняя также функцию кондуктора (рис. 11.1, б). Часть разреза, расположенная ниже башмака, до кровли водоносного пласта перекрывается хвостовиком (потайная колонна, не выходящая на поверхность).

Другой схемой конструкции скважины при эксплуатации устойчивых водоносных пластов является установка кондуктора и ступенчатой эксплуатационной колонны с подбашмачным цементированием выше кровли водоносного пласта (рис. 11.1, в). Поперечный размер верхней части колонны должен позволять размещать насос для откачки. Длина эксплуатационной колонны и верхней части ступенчатой колонны должна быть такой, чтобы ниже динамического уровня воды можно было разместить насос.

В неустойчивых водовмещающих породах в конструкции скважины предусматривается фильтровая водопримная часть. Чаще всего фильтр устанавливается "впотай" (рис. 11.1, з, д), так как в случае выхода из строя его можно поднять и заменить. Кроме того, потайное расположение фильтра позволяет использовать эксплуатационную колонну большого диаметра, в которой можно разместить насос повышенной подачи. Реже применяется монтаж фильтра на эксплуатационной колонне, часть затрубного пространства которой, расположенная выше фильтра, изолируется манжетным цементированием (рис. 11.1, е). Замена такого фильтра практически исключается.

Большая глубина, характерная при бурении на термальные или минеральные воды, частое переслаивание пород по твердости, агрессивность подземных вод вызывают необходимость создания фильтровой части путем спуска колонны с затрубной ее цементацией в пределах пласта и последующим прострелом гидropескоструйным способом или перфораторами.

При проектировании фильтров с гравийной обсыпкой конструкция скважины должна учитывать необходимость расширения ствола в пределах водоносного пласта для размещения гравия. При проектировании бесфильтровой конструкции скважины в мелкозернистых песках эксплуатационная колонна устанавливается с цементацией затрубного пространства, причем ее нижний торец находится на 0,5 м ниже водоупорной кровли.

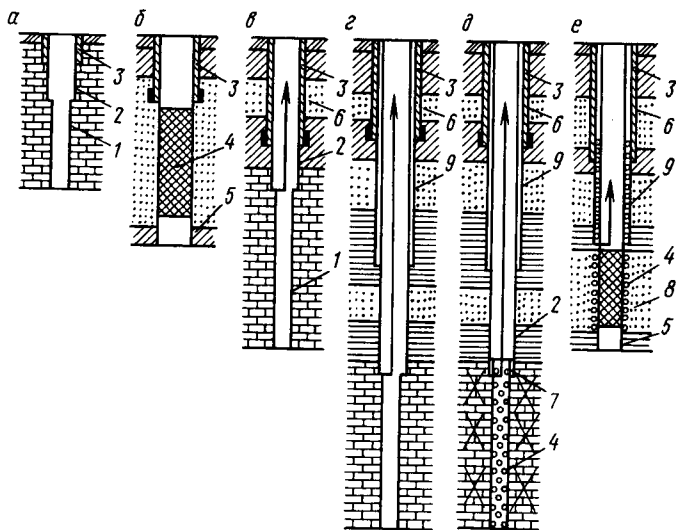


Рис. 11.2. Схемы конструкций скважин при ударно-канатном бурении:

1 — водопримная часть; 2 — эксплуатационная колонна; 3 — кондуктор; 4 — фильтровая колонна; 5 — отстойник; 6 — межтрубное цементирование; 7 — сальник; 8 — гравийная обсыпка; 9 — промежуточная колонна

При ударно-канатном бурении применяются конструкции скважин, приведенные на рис. 11.2. Конструкция, представленная на рис. 11.2, а, используется в том случае, когда разрез представлен устойчивыми скальными породами и отсутствуют верховодки. При сооружении скважины в аллювиальных отложениях, содержащих грунтовые воды, скважина крепится кондуктором и фильтровой эксплуатационной колонной, выведенной на поверхность (рис. 11.2, б).

Конструкция, приведенная на рис. 11.2, в, применяется при необходимости изоляции кондуктором первого от поверхности неиспользуемого водоносного пласта. В конструкции на рис. 11.2, г помимо кондуктора и эксплуатационной колонны предусмотрена техническая колонна, перекрывающая второй от поверхности неэксплуатируемый водоносный пласт. Конструкция на рис. 11.2, д применяется в случае установки фильтра в зоне пласта, представленного неустойчивыми породами. При необходимости гравийной обсыпки фильтр устанавливается на эксплуатационной колонне под защитой вспомогательных труб (рис. 11.2, е).

Таким образом, при ударно-канатном бурении любая колонна, за исключением эксплуатационной, перекрывает лишь один водоносный горизонт и устанавливается башмаком в водоупорные породы.

§ 3. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ СКВАЖИН НА ВОДУ

Проектирование конструкции скважин при вращательном бурении

При вращательном бурении проектирование конструкции осуществляется в следующем порядке.

1. По заданному дебиту и динамическому уровню выбирают водоподъемники для проведения временной и эксплуатационной откачки и определяют их поперечные размеры.

2. По габаритам выбранных водоподъемников вычисляют внутренний диаметр эксплуатационной колонны, в которой они будут размещаться, а по нему — наружный диаметр колонны и диаметр соединительных муфт.

3. Вычисляют наружный диаметр долота под эксплуатационную колонну и затем округляют его до стандартного.

4. Выбирают тип водоприемной части скважины, рассчитывают ее основные размеры и глубину вскрытия пласта.

5. С учетом поперечных размеров водоприемной части определяют конечный диаметр скважины.

6. Определяют общую глубину скважины с учетом глубины залегания кровли водоносного пласта и глубины его вскрытия.

7. В зависимости от положения динамического уровня воды, типа применяемого водоподъемного оборудования и свойств вмещающих пород находят длину эксплуатационной колонны.

8. По характеристике пород разреза устанавливают количество обсадных колонн, их поперечные размеры и длину.

9. По диаметрам соединительных муфт обсадных труб определяют диаметры долот, обеспечивающие свободный спуск колонн в скважину.

10. Устанавливают интервалы затрубной цементации обсадных колонн для надежного разобщения пластов.

Ниже приводятся более подробные рекомендации по проектированию конструкции водозаборных скважин.

При проведении откачек из разведочно-эксплуатационных скважин наиболее широко применяются водоподъемники двух типов: первый — для предварительной, пробной и опытной откачек, второй — для постоянной эксплуатации. Одно из основных требований к водоподъемникам первого типа — способность откачивать воду с большим содержанием механических примесей. В качестве временных водоподъемников используются желонки, водоструйные и штанговые насосы, однако наиболее часто применяются эрлифты. Таким образом, для определения необходимого внутреннего диаметра эксплуатационной колонны из условия размещения в ней водоподъемников обоих типов необходимо по проектному дебиту и динамическому уровню рассчитать или выбрать их поперечные размеры.

При использовании эрлифта его поперечные размеры рассчитывают. При выборе временных водоподъемников других типов и насоса для постоянной эксплуатации первоначально устанавливают требуемый манометрический напор H_M (в м вод. ст.), необходимый для подъема воды из скважины:

$$H_M = [(h + h_n) + (0,08 \div 0,1)(h + h_n + h_d)], \quad (11.1)$$

где h — динамический уровень воды, м; h_n — расстояние от устья скважины до излива воды, обычно $h_n = 0,7 \div 1$ м; $h_d = 2 \div 5$ — заглубление насоса под динамический уровень, м.

По проектному дебиту и величине напора H_M определяют типы водоподъемников, а по их техническим характеристикам — поперечные размеры или минимальный внутренний диаметр обсадной колонны, в которой они могут быть размещены. Для установки эрлифта расчетный внутренний диаметр колонны $D_{вн.э}$ определяется по следующим формулам:

при расположении труб эрлифта по схеме "рядом"

$$D_{вн.э} = D_M + d_M + 2\delta; \quad (11.2)$$

при расположении труб эрлифта по схеме "внутри"

$$D_{вн.э} = d_M + 2\delta. \quad (11.3)$$

Здесь D_M и d_M — диаметры соединительных муфт соответственно водоподъемной и воздухопроводной колонн; δ — зазор между трубами эрлифта и обсадной колонной, необходимый для спуска приборов при проведении гидрогеологических исследований; обычно $2\delta = 25 \div 30$ мм.

Полученный расчетный внутренний диаметр эксплуатационной ко-

лонны из условия размещения эрлифта сравнивается с аналогичным диаметром колонны, необходимым для размещения погружного насоса. Больший из указанных диаметров дает возможность определить по приведенным на стр. 188 данным остальные поперечные размеры эксплуатационной колонны.

Необходимый расчетный диаметр скважины под эксплуатационную колонну вычисляют по формуле (7.1) и округляют до стандартного в соответствии с нормальным рядом диаметров применяемых долот. Затем в соответствии с рекомендациями (см. гл. 10, § 1 и 2) выбирают тип водоприемной части скважины. После выбора типа фильтра по формуле (10.1) вычисляют его длину. Конечный диаметр скважины и внутренний диаметр эксплуатационной колонны должны быть на 40–50 мм (при отсутствии гравийной обсыпки) больше диаметра фильтра. Если установленный конечный диаметр скважины окажется больше ранее определенного внутреннего диаметра эксплуатационной колонны, то следует скорректировать последний в сторону увеличения или расширить интервал скважины в пределах водоносного пласта лопастными или гидротурбинными расширителями.

Конечный диаметр скважины при бесфильтровой водоприемной части в устойчивых породах определяют по условию проходимости долота через внутренний диаметр эксплуатационной колонны. При сооружении бесфильтровой водоприемной части в песчаных пластах конечным диаметром будет диаметр скважины под эксплуатационную колонну. В этом случае рассчитывают основные размеры водоприемной каверны по формулам (10.6), (10.10).

Глубина проектируемой скважины (в м)

$$L_{\text{скв}} = l_{\text{к}} + l_{\text{вскр}}, \quad (11.4)$$

где $l_{\text{к}}$ — расстояние от поверхности до кровли водоносного пласта, м; $l_{\text{вскр}}$ — глубина вскрытия пласта для оборудования водоприемной части скважины, м.

При расположении рабочей части фильтра в середине интервала пласта глубина вскрытия последнего

$$l_{\text{вскр}} = 0,5(l_{\text{м}} + l_{\text{р}}) + l_{\text{о}}, \quad (11.5)$$

где $l_{\text{м}}$ — мощность водоносного пласта, м; $l_{\text{р}}$ — длина рабочей части фильтра, м; $l_{\text{о}}$ — длина отстойника, м.

При расположении фильтра в нижней части водоносного горизонта и большей мощности последнего глубина вскрытия будет ориентировочно равна указанной мощности ($l_{\text{вскр}} = l_{\text{м}}$). При эксплуатации слабого пласта ($l_{\text{м}} < 10$ м) глубина скважины

$$L_{\text{скв}} = l_{\text{к}} + l_{\text{м}} + l_{\text{о}}.$$

При сооружении бесфильтровой скважины в устойчивых скальных

породах глубина вскрытия пласта вычисляется по формуле (11.5), а при оборудовании бесфильтровой водоприемной части в песках глубина разрабатываемой каверны составляет ориентировочно 0,8–1 м. Минимальная длина эксплуатационной колонны при расположении фильтра впотай определяется из необходимости монтажа водоподъемника на требуемой глубине. При использовании в качестве водоподъемника эрлифта минимальная расчетная длина эксплуатационной колонны

$$L_{\text{min э}} = H + (5 \div 10)$$

(H — глубина погружения смесителя эрлифта, м).

При использовании насоса с погружным двигателем

$$L_{\text{min э}} = h + L_{\text{н}} + (3 \div 5)$$

($L_{\text{н}}$ — длина рабочей части выбранного электронасоса, м).

Для окончательного установления длины эксплуатационной колонны следует также учитывать характер ожидаемого геологического разреза. Если выше кровли водоносного горизонта залегают размываемые породы и неиспользуемые водоносные пласты, то эксплуатационная колонна перекрывает всю мощность вмещающих пород с углублением башмака на 0,3–0,5 м ниже кровли (см. рис. 11.1, б). В случае залегания устойчивых пород выше кровли водоносного горизонта и отсутствия неиспользуемых водоносных пластов длину колонны выбирают с учетом требуемого заглубления обоих водоподъемников под динамический уровень и необходимости установки башмака обсадных труб в водоупорные породы. Часть разреза, расположенная между башмаком колонны и кровлей водоносного горизонта, перекрывается верхней частью фильтровой колонны.

Определив размеры водоприемной части скважины, эксплуатационной колонны и соответствующие диаметры скважины, из анализа геологического разреза можно выяснить необходимость установки кондуктора и промежуточных колонн. Зная ранее найденный наружный диаметр эксплуатационной колонны, можно найти поперечные размеры последующих, больших по диаметру обсадных колонн (промежуточной и кондуктора).

В соответствии с технологией вращательного бурения расчетный наружный диаметр последующей колонны $D_{\text{п.н}}$ определяется из соотношения:

$$D_{\text{п.н}} = D_{\text{н.э}} + (80 \div 100)$$

($D_{\text{н.э}}$ — наружный диаметр эксплуатационной колонны, мм).

Вычисленный диаметр $D_{\text{п.н}}$ округляется до стандартного. Соблюдение указанного соотношения вызвано необходимостью бурения нижних интервалов ствола и спуском обсадных колонн муфтового соединения с зазором для цементации затрубного пространства. Установленные

наружные диаметры обсадных колонн дают возможность по данным на стр. 122 найти их внутренний диаметр и диаметр муфт.

Независимо от конструкции скважины ее устье закрепляют на глубину 2–3 м направлением с последующим цементированием.

Диаметр долота D_d для бурения под обсадную колонну определяют по формуле (7.1) с округлением величины D_d до ближайшего стандартного значения нормального ряда долот. Затем устанавливают интервалы цементирования обсадных колонн. Следует иметь в виду, что промежуточная колонна цементируется в интервале, позволяющем ликвидировать возможное осложнение (самоизлив при вскрытии пласта с высоким давлением, катастрофическое поглощение и др.).

Пример составления конструкции скважины на воду. Исходные данные: заданы ожидаемый геологический разрез и гидрогеологическая характеристика водоносного пласта (табл. 11.1).

Требуется выбрать способ бурения разведочно-эксплуатационной скважины и составить ее конструкцию.

1. Выбор способа бурения. Анализ ожидаемого геологического разреза позволяет установить, что кровля намеченного к эксплуатации пласта залегает на отметке 200 м, т.е. с учетом глубины его вскрытия ожидаемая глубина скважины будет более 200 м. Из задания следует, что район работ в гидрогеологическом отношении хорошо изучен, т.е. нет необходимости уточнять его путем отбора образцов из вмещающих пород. Поэтому для бурения проектируемой скважины предусматривается применить роторный способ, обеспечивающий высокую производительность и небольшую металлоемкость конструкции скважины.

2. Проектирование конструкции скважины при вращательном бурении. Проектом предусматривается после сооружения скважины проведение пред-

Таблица 11.1

Номер слоя	Характеристика пород разреза	Мощность, м	Гидрогеологические условия
1	Суглинки и глины с отдельными валунами	0–10	Проектный дебит $Q = 79,2 \text{ м}^3/\text{ч}$
2	Суглинки и пески с отдельными валунами	10–25	Ожидаемый статический уровень воды – 29 м
3	Плотные голубовато-серые глины	25–50	Динамический уровень воды при откачке – 37 м
4	Переслаивание трещиноватых водоносных песчаников и гравелитов с редкими прослоями глин; минерализованная вода	50–120	Район хорошо изучен
5	Плотные глины	120–200	
6	Мелкозернистый водоносный песок, пресная вода	200–230	
7	Голубовато-серая глина	230–260	

варительной и пробно-эксплуатационной откачки. При получении положительных результатов скважина оборудуется водоподъемником, предназначенным для эксплуатационной откачки, и передается заказчику. Поэтому предусматривается использовать два типа водоподъемников: при проведении предварительной и пробной откачки – эрлифт, при эксплуатационной откачке – электронасос с погружным двигателем. Выбор эрлифта в качестве временного водоподъемника обусловлен тем, что он способен откачивать загрязненную воду с большим дебитом (до 200 м³/ч) при динамическом уровне до 50–60 м, т.е. вполне обеспечивает получение запроектированного дебита и необходимого напора. Выбор для эксплуатационной откачки насоса с погружным двигателем обосновывается высоким к.п.д. водоподъемников этого типа, их компактностью и простотой обслуживания.

Для определения внутреннего диаметра эксплуатационной колонны нужно установить поперечные размеры водоподъемников.

Результаты расчета параметров эрлифта, трубы которого расположены по схеме внутри, приведены ниже: коэффициент погружения смесителя $k = 2$; глубина погружения смесителя под динамический уровень $H = 72$ м; полный расход воздуха $W = 6,336$ м³/мин; пусковое давление воздуха $p_0 = 0,478$ МПа, рабочее давление воздуха $p = 0,412$ МПа; внутренний расчетный диаметр водоподъемной трубы $d = 147$ мм; внутренний расчетный диаметр воздухопроводной трубы $d_1 = 50$ мм; расчетная производительность компрессора $W_k = 7,58$ м³/мин; рабочее давление компрессора $p_p = 0,462$ МПа; мощность на валу компрессора $N_k = 47,3$ кВт; коэффициент полезного действия $\eta_z = 0,169$. По расчетным диаметрам d и d_1 выбираем стандартные размеры насосно-компрессорных и обсадных труб:

Колонна	Водоподъемная	Воздухопроводная
Диаметр колонны, мм:		
наружный	168	60,3
внутренний	154,3	50,3
Диаметр муфты, мм.	188	78

По давлению p_p , расчетному расходу W_k и мощности N_k выбираем для привода эрлифта компрессор ДК-9М.

Для выбора погружного насоса предварительно по формуле (11.1) вычисляем требуемый манометрический напор:

$$H_M = (37 + 1) + 0,1(37 + 1 + 5) = 42,3 \text{ м вод. ст.}$$

По проектному дебиту $Q = 79,2$ м³/ч, напору $H_M = 42,3$ м и данным на стр. 188 выбираем погружной электронасос марки 1ЭЦВ10-120-60, имеющий следующую техническую характеристику: подача – 120 м³/ч; напор – 60 м вод. ст.; минимальный диаметр эксплуатационной колонны, необходимый для размещения насоса, – 250 мм.

Минимальный расчетный внутренний диаметр эксплуатационной колонны для размещения эрлифта определяем по формуле (11.3):

$$D_{\text{вн. н}} = 188 + 30 = 218 \text{ мм.}$$

По большему диаметру, равному 250 мм, и данным на стр. 000 выбираем стандартные обсадные трубы для эксплуатационной колонны, имеющие следующие параметры: $D_n = 273$ мм; $D_{\text{вн}} = 259,1$ мм; $D_M = 299$ мм. По формуле (7.1) определяем расчетный диаметр долота: $D_{\text{д.р}} = 299 + 2 \cdot 20 = 339$ мм. Полученная величина округляется по нормальному ряду диаметров применяемых долот до стандартного, равного 349 мм.

Водоносный пласт представлен рыхлыми породами (мелкозернистые пески), поэтому предусматривается оборудование скважины фильтром. В соответствии с рекомендациями табл. 10.1 выбираем сетчатый фильтр с двухслойной гравийной

обсыпкой. В качестве каркаса фильтра принимаем обсадную трубу диаметром 146 мм. С учетом толщины стержней и сетки диаметр сетчатого фильтра будет около 155 мм. Для надежной работы фильтра толщина обсыпки принимается равной 150 мм. Тогда наружный диаметр фильтра по контуру обсыпки

$$D_{\text{ср}} = 155 + 2 \cdot 150 = 455 \text{ мм.}$$

По формуле (10.3) находим коэффициент фильтрации пород водоносного пласта:

$$K_{\text{ф}} = \frac{36 \cdot 79,2}{30(40 - 29)} = 8,66 \text{ м/сут,}$$

по формуле (10.2) вычисляем скорость фильтрации:

$$v_{\text{ф}} = 65 \sqrt[3]{8,66} = 133,2 \text{ м/сут.}$$

Длина рабочей части фильтра вычисляется по формуле (10.1):

$$l_{\text{р}} = 7,643 \frac{79,2}{0,455 \cdot 133,2} \approx 10 \text{ м.}$$

Водопропускная способность фильтра проверяется по формуле (10.4):

$$f = 133,2 \pi 0,455 \cdot 10 : 24 = 79,7 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Так как запроектированный дебит равен $79,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, то условие $f \geq Q$ выполнено. В каркасе фильтра (обсадной трубе диаметром 146 мм) сверлим 720 отверстий на 1 м длины, диаметр отверстий 18 мм. Вдоль каркаса устанавливаем восемь прутков диаметром 3 мм, затем каркас обматываем сеткой квадратного плетения.

Материал обсыпки состоит из двух слоев. Наружный слой толщиной 70 мм представлен крупными частицами гравия размером $D_1 = 10d_{50}$. Внутренний слой толщиной 80 мм состоит из частиц гравия размером $D_2 = 5d_{50}$. Так как в задании отсутствуют данные о среднем размере частиц d_{50} водоносного пласта, то этот параметр будет определен после вскрытия горизонта и оценки его гранулометрического состава. Гравийная обсыпка будет создаваться после спуска каркаса фильтра на забой путем доставки с поверхности в нисходящем потоке жидкости. Отстойником фильтра будет служить обсадная труба диаметром 146 мм и длиной 3 м. Надфильтровая часть устанавливается впотай с входждением внутрь эксплуатационной колонны на 5 м и герметизацией кольцевого зазора сальником.

Проверяем условие соблюдения необходимого зазора между эксплуатационной колонной и опускаемым фильтром:

$$D_{\text{вн.з}} = d_{\text{ф}} + 50 = 155 + 50 = 205 \text{ мм.}$$

Так как внутренний диаметр выбранной эксплуатационной колонны 259 мм, то условие выполнено. Для расширения ствола под гравийную обсыпку предусматривается применить гидротурбинный расширитель.

Фильтр будет установлен в средней плоскости пласта. Тогда в соответствии с формулой (11.5) глубина вскрытия

$$l_{\text{вскр}} = 0,5(30 + 5) + 3 \approx 20 \text{ м,}$$

а проектная глубина скважины

$$L_{\text{скв}} = 200 + 20 = 220 \text{ м.}$$

Глубина, м	Породы	Категория пород по буримости	Мощность слоя, м	Статистический уровень воды, м	Конструкция скважины			Особые условия производства работ
					технический разрез	диаметр долота, мм	диаметр обсадных колонн, мм	
10	Суглинки и глины с отдельными валунами	III	10	29 м ↑		445	377	Фильтр сетчатый с двухслойной гравийной обсыпкой. Длина рабочей части фильтра 10 м. В качестве каркаса используется обсадная труба диаметром 146 мм. Каверна диаметром 455 мм создается гидравлическим турбинным расширителем
25	Суглинки и пески с отдельными валунами	III	15					
50	Плотные глины голубовато-серые	IV	25					
120	Переслаивающиеся трещиноватые водоносные песчаники и гравеллиты с редкими прослоями глин, вода минерализованная	IV	70			349	273	
200	Плотные глины	IV	80					
230	Мелкозернистый водоносный песок, вода пресная	III	30			455		
260	Голубовато-серые глины	IV	30					

Рис. 11.3. Технический разрез разведочно-эксплуатационной скважины на воду

Так как разрез представлен слабоустойчивыми размываемыми породами, эксплуатационная колонна должна перекрыть всю их мощность с углублением башмака на 0,3 м ниже кровли. Следовательно, длина колонны составит 201 м (с учетом ее возвышения над устьем на 0,7 м).

Учитывая относительно небольшую глубину скважины, предусматриваем установку только кондуктора. Последний перекрывает первые два слоя неустойчивых пород (суглинки и пески с валунами) с углублением в глины на 5 м. Таким образом, длину кондуктора принимаем равной 30 м. Расчетный диаметр кондуктора

$$D_{\text{к.н}} = 273 + 100 = 373 \text{ мм.}$$

В качестве кондуктора используются обсадные трубы следующих размеров: $D_n = 377$ мм; $D_{вн} = 359$ мм; $D_m = 402$ мм. Учитывая небольшую глубину спуска кондуктора, можно принять соответствующий диаметр скважины $D_d = 455$ мм.

Устье скважины закрепляется направлением, представляющим отрезок обсадной трубы диаметром 508 мм (внутренний диаметр 486 мм), который опускается в шурф глубиной 2,5 м с последующим бетонированием. Затрубное пространство кондуктора цементируется на всю длину. Так как в разрезе присутствует пласт песчаников с минерализованной водой, то для исключения перетоков эксплуатационную колонну также цементируем от башмака до устья. На основании расчетных данных выполняется технический разрез проектируемой скважины (рис. 11.3).

Проектирование конструкции скважин при ударно-канатном бурении

Общий порядок проектирования конструкции скважины при этом способе такой же, как при вращательном бурении, однако имеются некоторые особенности. Последние заключаются в широко применяемом при ударно-канатном бурении принудительном спуске обсадных колонн, что обуславливает их небольшой выход. Для надежной изоляции пересекаемых пластов необходимо обеспечить внедрение башмаков обсадных труб в водоупорные породы. Исключение составляет эксплуатационная колонна, башмак которой должен входить в водоносный пласт на 1–2 м ниже кровли.

При ударно-канатном бурении для уменьшения поперечных размеров конструкции скважины и свободного прохода труб меньшего диаметра в колонны предыдущего диаметра рекомендуется применять обточенные соединительные муфты. При проектировании конструкции в сложных и слабоизученных геологических условиях следует планировать резерв диаметра, т.е. конечный диаметр скважины должен быть на один очередной номер больше расчетного.

Внутренний диаметр колонны, в которую опускается фильтр, должен быть больше наружного диаметра последнего на 50 мм, а при создании гравийной обсыпки — на 100–150 мм. В песчано-глинистых отложениях с целью упрощения конструкции скважины рекомендуется применять технологию спуска обсадных труб под защитой тиксотропной рубашки и вибропогружатели (гл. 8, § 6).

§ 4. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД И ВСКРЫТИЯ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Для сооружения скважин на воду в зависимости от способа бурения наиболее широко используются следующие установки:

при роторном бурении с прямой промывкой (продувкой): УРБ-3АМ, УРБ-3А2, 1БА-15В, УБВ-600;

при роторном с обратной промывкой и ударно-канатном бурении: *Fa*-12, УГБ-ЗУК-ОП, 1БА-15К, УРБ-3АМ-ОП;

при ударно-канатном бурении: БУГ-100М, УГБ-ЗУК, УГБ-4УК;

при шнековом и ударно-канатном бурении: УГБ-50М, ЛБУ-50, УГБ-1ВС.

При выборе буровой установки учитывают конструкцию скважины и возможность реализации технологии вскрытия водоносных пластов с минимальной кольматацией.

За рубежом для сооружения водозаборных скважин широко используют установки ударного и комбинированного (сочетание ударного и вращательного) способов бурения. Гидрофикация механизмов станков позволяет задавливать и извлекать обсадные трубы с большим усилием. В ряде установок для этой цели используются полиспастные системы. Для выполнения трудоемких вспомогательных операций широко применяются средства малой механизации.

Технология вскрытия водоносных горизонтов

На выбор способа вскрытия влияют гидрогеологические характеристики пласта: гранулометрический состав, проницаемость и устойчивость пород; интенсивность водопроявлений; глубина залегания; проектный дебит. Способ вскрытия должен оказывать минимальное кольматирующее влияние на водоносный пласт, т.е. сохранять его естественную проницаемость. В то же время технология вскрытия должна позволять оборудовать водоприемную часть скважины. В неустойчивых и слабоустойчивых породах это требование заключается в предотвращении их обрушения в период монтажа фильтра.

В зависимости от указанных параметров Г.П. Квашиным разработана классификация рациональных способов вскрытия водоносных пластов. Один из основных классификационных принципов — степень устойчивости стенок скважины при ее заполнении водой до устья, т.е. при различных соотношениях гидростатического и пластового давления. В зависимости от устойчивости стенок и интенсивности водопроявлений применяются два основных способа вскрытия водоносных горизонтов: ударно-канатный; вращательный и его разновидности.

Вскрытие водоносных пластов ударно-канатным способом рекомендуется при глубине залегания горизонта 100–150 м, катастрофическом поглощении промывочной жидкости и в случае, если вскрываемые пласты неустойчивы в стенках скважины. Для предотвращения обрушения пласта последний чаще всего перекрывается вспомогательной колонной, под защитой которой устанавливается фильтр. Затем вспомогательная колонна извлекается, обнажая фильтр. При бурении песчано-глинистых пород с применением тиксотропной "рубашки" пласт вскрывается фильтровой колонной с конусным башмаком-расширителем.

Вращательный способ рекомендуется при большой глубине скважины и вскрытии пластов с различной степенью устойчивости в стенках скважины. Предотвращение стенок скважины от обрушения достигается созданием гидростатического противодействия столба промывочной жидкости, заполняющей ствол. В результате появляются условия для установки фильтра. В то же время применяемый буровой раствор должен оказывать минимальное кольматирующее влияние на пласт. В этой связи правильный выбор промывочной жидкости является ре-

шающим фактором, от которого зависит эффективность вскрытия и освоения водоносных горизонтов.

Техническая вода применяется при вскрытии водоносных пластов, представленных мелко- и среднезернистыми песками, по прямой и обратной схеме циркуляции. Вскрываемые пласты должны быть слабонапорными или напорными без проявления самоизлива. Промывка водой не рекомендуется при бурении пластов с прослоями глин и подошвы водоносных горизонтов, сложенной глинистыми породами, вследствие колюматации стенок скважины наработанным глинистым раствором. Необходимое условие успешного вскрытия пласта с промывкой водой – поддержание постоянного избыточного гидростатического противодавления на пласт, величина которого должна превышать пластовое на 0,03–0,04 МПа.

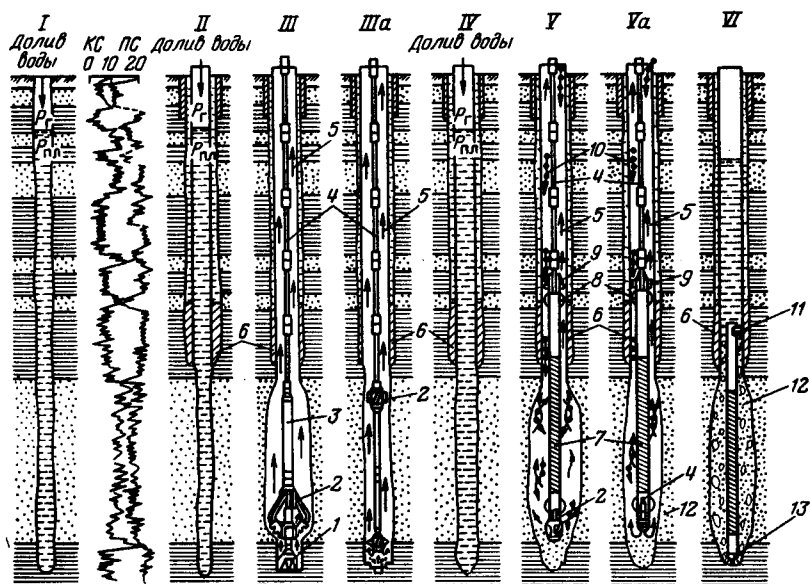


Рис. 11.4. Схема проведения технологических операций при вскрытии водоносных песков с прямой промывкой водой и устройством гравийной обсыпки:

I – бурение, каротаж, определение интервала для установки рабочей части фильтра; *II* – разбуривание с промывкой глинистым раствором до кровли водоносного пласта, спуск и цементирование обсадной колонны, замена глинистого раствора водой; *III* и *IIIa* – расширение ствола в интервале установки фильтра с промывкой водой; *IV* – извлечение инструмента с одновременным доливом воды; *V* и *Va* – спуск фильтровой колонны, промывка и устройство гравийной обсыпки; *VI* – извлечение буровых труб, установка герметизирующего сальника

1 – пилот-долото; 2 – расширитель; 3 – колонна УБТ; 4 – буровые трубы; 5 – направление потока промывочной воды; 6 – эксплуатационная колонна; 7 – фильтровая колонна; 8 – центрирующие фонари; 9, 10 – сальниковые устройства; 11 – переводник с левой резьбой и обратным клапаном; 12 – гравийная обсыпка; 13 – пробка с клапаном

Одна из технологических схем вскрытия пласта при прямой промывке показана на рис. 11.4. Для вскрытия и оборудования фильтровой части скважины по указанной схеме на буровой должен быть запас воды

$$Q_{\text{в}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (11.6)$$

где Q_1 — объем воды, необходимый для замены глинистого раствора перед вскрытием пласта, м^3 ; Q_2 — объем воды, необходимый для заполнения скважины в интервале водоносного пласта после его вскрытия, м^3 ; Q_3 — объем воды, восполняемый при вскрытии пласта с поглощением; Q_4 — объем воды, необходимый для восполнения поглощения при проработке пласта, м^3 ; Q_5 — объем воды, используемый при загрузке гравия в процессе формирования гравийного фильтра, м^3 .

Последовательность технологических операций при вскрытии водоносного пласта с применением обратной промывки водой и оборудовании водоприемной части скважины показаны на рис. 11.5. Ориентировочный расход воды на 1 м вскрываемого пласта составляет 0,5–2 (мелкозернистые глинистые пески) до 50 л/с (гравелистые пески и гравийно-галечниковые отложения).

Глинистые растворы следует применять для вскрытия в исключительных случаях, так как они вызывают колюматацию пласта и значи-

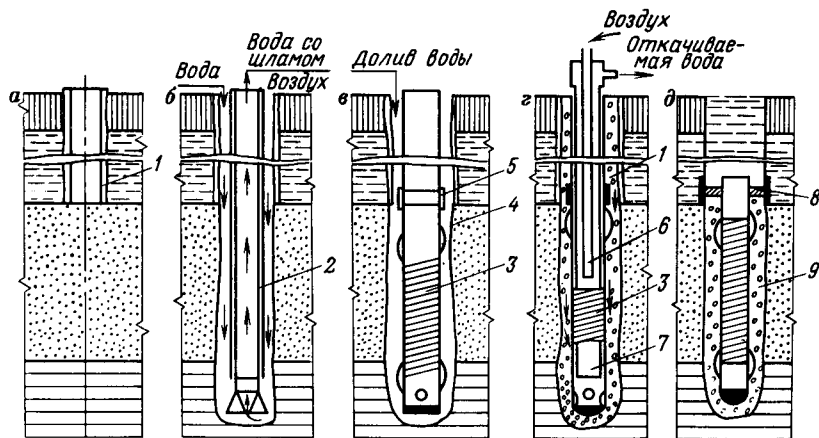


Рис. 11.5. Схема проведения технологических операций при вскрытии водоносного пласта с применением обратной промывки:

а — бурение до кровли пласта с обратной промывкой глинистым раствором; б — вскрытие водоносного пласта с промывкой водой при избыточном противодавлении; в — спуск фильтровой колонны; г — откачка эрлифтом с одновременной отгрузкой гравия в нисходящем потоке; д — установка герметизирующего сальника

1 — эксплуатационная колонна; 2 — буровая колонна; 3 — фильтровая колонна; 4 — центрирующие фонари; 5 — переводник с левой резьбой; 6 — воздухопроводные трубы эрлифта; 7 — водоподъемные трубы эрлифта; 8 — сальник; 9 — гравийная обсыпка

тельное снижение дебита скважины. Обычно растворы применяются при вскрытии водоносных пластов с аномально высоким пластовым давлением и возможным газопроводением.

К специальным растворам относятся водогипановые, аэрированные, меловые, полимерные и самораспадающиеся, обладающие рядом преимуществ по сравнению с глинистыми. Специальные растворы оказывают минимальное коагулирующее влияние на вскрываемые водоносные горизонты и улучшают в ряде случаев очистку скважины от бурового шлама.

§ 5. ОПРОБОВАНИЕ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

При бурении гидрогеологических скважин проводят различные наблюдения и исследования, цель которых — оценка параметров вскрываемых водоносных пластов, установление их гидравлической взаимосвязи, уточнение литологических слоев и т.д. Для уточнения разреза и определения свойств пород отбирают пробы в виде керн или шлама из отдельных интервалов или по всему стволу скважины.

Признаком вскрытия водоносного пласта является изменение уровня воды в скважине. Статический уровень воды при бурении с промывкой замеряют путем добавления в скважину или откачки из нее 50—100 л воды. При этом углубление забоя прекращается. Если через 1—3 ч уровень воды установится на той же глубине, то его можно принять за статический уровень вскрытого водоносного горизонта. Другой признак вскрытия водоносного пласта — изменение количества жидкости в зумпфах циркуляционной системы. Например, резкое уменьшение объема промывочной жидкости свидетельствует о большой проницаемости вскрытого пласта и его небольшом напоре.

Исследование интенсивности поглощения промывочной жидкости по стволу скважины целесообразно проводить скважинными расходомерами. Вскрытие водоносного пласта может быть зафиксировано по изменению параметров промывочной жидкости. Например, увеличение содержания песка и уменьшение вязкости раствора свидетельствуют о вскрытии пласта рыхлых пород, поэтому регулярно (два-три раза в смену) следует измерять плотность, вязкость, содержание песка и водоотдачу раствора.

Наблюдение за температурой промывочной жидкости целесообразно проводить, если в разрезе возможны термальные воды. Контроль минерализации промывочной жидкости, осуществляемой резистивиметрами и солемерами, проводится при бурении соленосных толщ или в районах распространения соленых вод.

Качественная информация о водоносности вскрываемых пластов может быть получена при вращательном бурении с продувкой. Наиболее полную информацию получают при исследовании пластов специальными опробователями.

Опережающий метод опробования, разработанный Д.Н. Башкатовым, В.И. Блажковым, А.Г. Теслей и другими, используется для водоносных пород, представленных песками с включением небольшого количества щебня и гальки. В комплект оборудования (рис. 11.6) входят фильтр-опробователь 1, уровнемер, оборудование для эрлифтной откачки через бурильные трубы 7. При достижении фильтром-опробователем 1 забоя скважины в бурильные трубы 7 нагнетается чистая вода, с большой скоростью выбрасываемая через сопло, которым оканчивается фильтр. Расхождение колонны с одновременным размывом песков обеспечивает внедрение фильтра-опробователя в пласт обычно за 3–5 мин на глубину 1,2–1,5 м. Расход воды для посадки фильтра составляет 0,2–0,8 м³.

Фильтр от глинистого раствора изолируется массой заглинизированного песка, осевшего после прекращения подачи воды для размыва. После введения фильтра-опробователя в пласт через бурильные трубы осуществляется откачка эрлифтом или поршневым насосом. В процессе откачки с помощью уровнемера измеряется понижение уровня воды, а после прекращения откачки — его восстановление.

Метод опережающего опробования позволяет получить пробу воды на анализ и положение пьезометрического уровня подземных вод. В результате обработки результатов откачки определяется коэффициент фильтрации водоносных пород. Применение описанного метода особенно эффективно при последовательном опробовании нескольких водоносных горизонтов.

Испытатели пластов на трубах с пакерующими элементами успешно применяются для поинтервального исследования вскрываемых водоносных горизонтов. В качестве примера на рис. 11.7 показан комплект ИИВ (испытательный инструмент ВСЕГИНГЕО). Он включает фильтр-хвостовик 1 с глубинным манометром 2, секционный пакер 3, испытатель пластов 4 с приемным и уравнильным клапаном и запорный поплавковый клапан 5. В фильтре-хвостовике и выше приемного клапана установлены глубинные самопишущие манометры, фиксирующие процесс исследования в координатах давление — время. Расшифровка указанного графика позволяет определить основные параметры водоносного горизонта (дебит, водопроницаемость, коэффициент фильтрации и т.д.). Комплект ИИВ можно применять в различных компоновках. Он выпускается диаметрами 65 и 110 мм при диаметрах сменных пакерующих элементов 65, 75, 110, 145 и 170 мм. Комплект ИИВ используется в скважинах глубиной до 2000 м.

Процесс исследования водоносного горизонта заключается в следующем. Инструмент спускается в скважину на пустых бурильных трубах. Приток жидкости в последние предотвращается с помощью приемного клапана испытателя пластов 4, а уравнильный клапан обеспечивает выравнивание давления под и над пакером. Глубинный манометр фиксирует при этом рост гидростатического давления.

При создании осевой нагрузки на пакер уравнильный клапан закрывается, а резиновые элементы пакера изолируют опробуемый пласт.

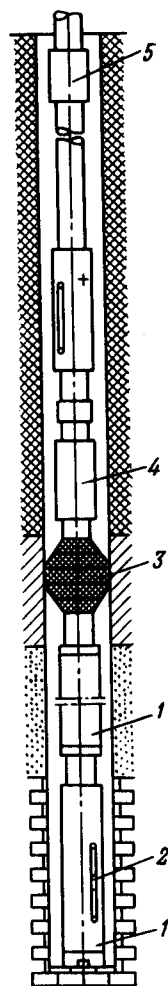
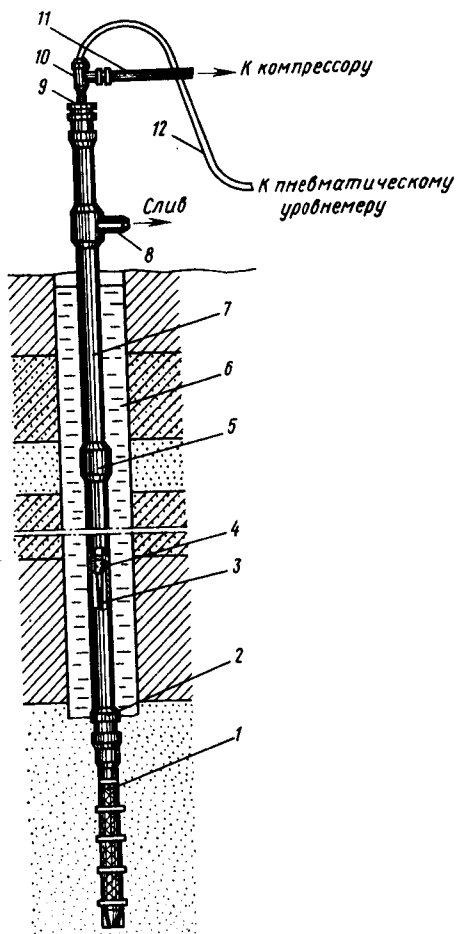


Рис. 11.6. Схема опережающего опробования водоносных горизонтов: Рис. 11.7. Испытательный снаряд ИИВ

1 – фильтр-опробователь; 2 – переходник; 3 – датчик; 4 – воздушные трубы со смесителем; 5 – ниппель; 6 – глинистый раствор; 7 – бурильные трубы; 8 – тройник для слива воды; 9 – хомут; 10 – тройник; 11 – шланг; 12 – резиновая трубка

В то же время открывается приемный клапан и жидкость поступает в бурильные трубы, заполняемые до запорного клапана. Глубинные манометры фиксируют изменение давления в процессе притока жидкости.

Затем оба манометра записывают кривую восстановления давления в пласте. При необходимости через бурильные трубы можно провести микрооткачку. Для этого в узле запорного клапана имеется специальная втулка, открывающаяся сбросом в трубы штыря.

При бурении глубоких скважин на минеральные и термальные воды успешно применяются комплекты испытательных инструментов (КИИ), разработанные для нефтяных и газовых скважин. Нормальный ряд КИИ ГрозУфНИИ предназначен для исследования в скважинах диаметром от 75 до 265 мм.

Опробователи пластов на кабеле в последнее время все шире применяют в связи с ростом глубин скважин и необходимостью детализации исследований по разрезу. Спуск прибора на каротажном кабеле обеспечивает экономичность и оперативность исследований. Время опробования даже в глубоких скважинах занимает 1–2 ч.

Каротажные опробователи пластов ОПГ-4-9 и ОПГ-4-7 предназначены для работы в гидрогеологических скважинах диаметрами соответственно 112–243 мм и 112–196 мм. Опробователи обеспечивают герметизацию участка стенки скважины, отбор пластовой жидкости и газа и подъем пробы на поверхность с сохранением герметичности. Объем отбираемой пробы не превышает 15–20 л. Зона исследования пласта по глубине составляет 0,4–0,5 м, а погрешность установки опробователя – 25–30 см.

Приборы типа ОПГ рассчитаны для работы с трехжильным каротажным кабелем в комплекте с серийными каротажными станциями. Опробователь состоит из глубинного прибора и наземных пультов управления. После установки ОПГ в интервале опробования включают электродвигатель, прибор прижимается к стенке скважины и герметизируется. Проба отбирается в два пробосборника под действием разности пластового и атмосферного давления. Герметичность отобранной пробы контролируется датчиками давления и притока.

Разработаны также опробователи ОПУ-92 и ОПУ-76 для исследования в скважинах диаметрами соответственно 92 и 76 мм.

§ 6. ОСВОЕНИЕ ВОДОНОСНЫХ ПЛАСТОВ

Освоение скважин на воду — заключительный этап их сооружения, заключающийся в восстановлении водоотдачи пласта, нарушенной при вскрытии. Колматация происходит за счет частичной закупорки трещин и пор водоносного горизонта продуктами разрушения горных пород и главным образом за счет глинизации стенок скважины. Степень уменьшения проницаемости пласта зависит от применяемого способа вскрытия. Если при ударном и вращательном бурении с промывкой водой или продувкой колматация минимальна, то при вскрытии с промывкой глинистым раствором она резко повышается.

Глинизация ствола, проникновение фильтрата бурового раствора на значительное расстояние вызывают заиливание фильтрационных

каналов и вследствие этого снижение дебита. Уменьшению последнего способствует также замазывание фильтра глиной при его спуске. Применяемые методы восстановления водоотдачи основаны на физическом, химическом или физико-механическом воздействии.

Физические методы восстановления водоотдачи

В эту группу входят методы, основанные на гидравлической и механической очистках фильтров, и импульсные методы.

Гидравлические методы основаны на размыве глинистой корки струей воды и создании перепада давлений в системе пласт – скважина. В результате происходит обрушение заглинизированной зоны ствола. Гидравлические методы применяются для разглинизации высоконапорных пластов и осуществляются по следующим технологическим схемам.

Промывка зафильтрового пространства через башмак отстойника фильтра заключается в том, что вода нагнетается по буровым трубам, соединенным с крышкой отстойника, в которую вмонтирован обратный клапан. В результате поток воды устремляется в кольцевой зазор между фильтром и стенками скважины, размывая и удаляя глинистую корку. По окончании разглинизации буровые трубы вывинчивают, а дно отстойника засыпают гравием.

Метод разглинизации пластов обратновсасывающей промывкой, разработанный ВСЕГИНГЕО, заключается в удалении породы (обрушенной в зафильтровом пространстве) через специальные окна в период откачки (рис. 11.8). Для этого в обсаженную кондуктором 3 скважину между фильтром 4 и отстойником монтируют устройство, состоящее из насадки 9 с упорным кольцом 8, промывочных окон 7, скользящей втулки 5, которая фиксируется срезными штифтами 6. В процессе откачки эрлифтом 1 вследствие понижения уровня воды создается перепад давления в системе пласт – скважина. В результате происходит обрушение стенок и удаление породы вместе с жидкостью через промывочные окна 7 и водоподъемную колонну 2 на поверхность. После окончания разглинизации ударом водоподъемной колонны 2 по скользящей втулке 5 срезают штифты 6. Втулка перемещается вниз, перекрывая окна 7.

Гидроерши также используют для удаления глинистого раствора из пространства между рабочей частью фильтра и водоносным пластом и размыва глинистой корки. Гидроерш Ф.И. Письменского и И.Р. Мельникова (рис. 11.9) состоит из следующих узлов: верхнего 1 и нижнего 4 поршней с грузом для создания гидравлического удара в рабочей части фильтра, приемного клапана 3, механического ерша 5 для очистки внутренней поверхности фильтра и гидравлических насадок 2.

Устройство на буровых трубах опускают в скважину без верхнего поршня 1 и придают ему возвратно-поступательное перемещение. Нижний поршень с приемным клапаном представляет собой сваб, с помощью которого жидкость перемещается в надпоршневое пространство и созда-

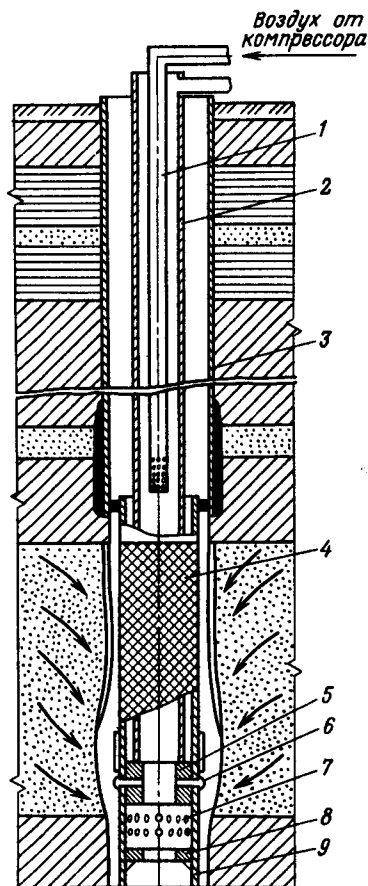
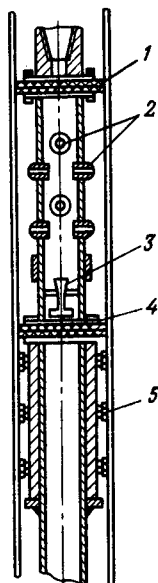


Рис. 11.8. Схема разглинизации пластов обратновсасывающей промывкой (метод ВСЕ-ГИНГЕО)

Рис. 11.9. Гидроерш



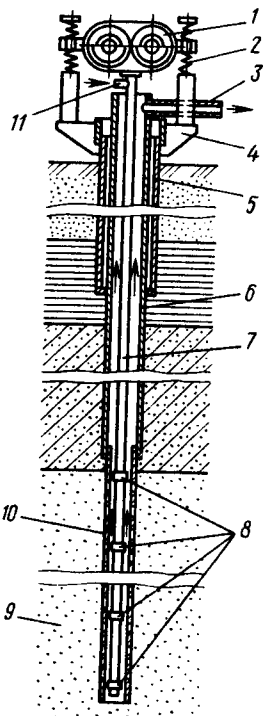
ется перепад давления в системе пласт — скважина. С установленным верхним поршнем устройство используется для промывки рабочей поверхности фильтра и стенок скважины в пространстве между поршнями высоконапорными струями воды, выбрасываемыми через гидронасадки.

Импульсные методы освоения скважин заключаются в воздействии ударных волн на вскрытый водоносный пласт. Средства для создания гидроимпульсов давления могут быть самыми различными: вибрации, откачка эрлифтом с прерывателем потока жидкости, электровзрыв, пневмовзрыв, взрыв заряда твердых ВВ, свабиrowание и т. д.

Вибрационный метод заключается в том, что одновременно с промывкой или откачкой на водоносный пласт и фильтр воздействуют гидравлические импульсы, которые возбуждаются в столбе жидкости рабочим органом (рис. 11.10), представляющим собой трубу 7 с дисками 8. Рабочий орган совершает продольные колебания с амплитудой 5–10 мм

Рис. 11.10. Схема вибрационного метода восстановления водоотдачи водоносных пластов:

1 – вибратор; 2 – амортизационные пружины; 3 – патрубок для вывода со шламом; 4 – опорная рама; 5 – обсадная труба; 6 – эксплуатационная труба; 7 – насосно-компрессорная труба; 8 – диски; 9 – водоносная порода; 10 – фильтр скважины; 11 – патрубок для подачи воды или воздуха



при частоте 10–14 Гц с помощью вибратора. Возникающие перепады давления в пределах 0,2–0,5 МПа достаточны для эффективной разглинизации зоны водоносного пласта и фильтра. Вибрационный метод используется при глубине залегания водоносного пласта до 200 м.

Метод залегания путем возбуждения гидроимпульсов с помощью прерывателя при откачке эрлифтом применяется для освоения водоносных горизонтов в трещиноватых породах. Эрлифт с концентрическим расположением труб опускают в скважину. Затрубное пространство между эксплуатационной колонной и водоподъемными трубами выше пласта герметизируют пакером. На выходе в трубопроводе для откачиваемой воды монтируют заслонку с приводом, обеспечивающим перекрытие потока с частотой 0,2–1 Гц. В результате на водоносный пласт действуют знакопеременные давления, способствующие раскрытию трещин, очистке их от шлама и глинистого раствора.

Электровзрывной (электрогидравлический) метод обработки скважин основан на импульсном выделении электрической энергии в виде искрового разряда. Для реализации метода используются генераторы импульсов тока с накопителем электрической энергии в виде конденсаторной батареи. При высоковольтном электрическом разряде внутри фильтра возникает ударная волна, которая, распространяясь в радиальном направлении, разрушает осадки на поверхности фильтра и стенках скважины. Последующее движение воды при захлопывании парогазового пузыря вызывает отделение разрушенных осадков и глинистых частиц и их вынос в ствол скважины.

Преимущества электровзрывного метода заключаются в возможности многократного воспроизведения электрических разрядов и плавного регулирования гидродинамических параметров путем изменения емкости и напряжения конденсаторов. Недостаток метода – сложность применяемого оборудования.

Пневмовзрывной способ освоения водоносных пластов основан на применении скважинных пневмоснарядов, обеспечивающих быстрый выпуск сжатого до высокого давления (10–12 МПа) воздуха. В результате в жидкости возникают волны давления, разрушающие глинистые и химические осадки на фильтре и стенках скважины. Существенное преимущество пневмовзрывного способа – возможность регулирования частоты и интенсивности выхлопов сжатого воздуха, доступность и безопасность рабочего тела – воздуха.

Взрыв заряда твердых взрывчатых веществ применяется для освоения водоносных горизонтов, представленных как неустойчивыми, так и крепкими трещиноватыми породами. Возникающая при взрыве ударная волна очищает рабочую поверхность фильтра и, распространяясь далее в пространстве за фильтром, деформирует глинистую зону водоносного пласта. При разрыве газового пузыря возникает депрессия на пласт, и смесь глинистого раствора с песком устремляется внутрь фильтра. Пульсация газового пузыря способствует интенсивной разглинзации пласта.

Для проведения взрывных работ изготавливают специальные торпеды, представляющие собой цилиндр с центрирующими фонарями. Внутри цилиндра находится заряд взрывчатого вещества. Для разглинзации водоносных песков в качестве ВВ используется детонирующий шнур. Торпеду опускают в скважину на электрическом кабеле. С помощью электродетонатора торпеда взрывается, и скважина очищается от разрушенной породы.

Свабирование заключается в том, что при возвратно-поступательном перемещении сваба (поршень 4 с клапаном 3 на рис. 11.9) жидкость порциями перемещается в надпоршневое пространство. В результате создается депрессия на водоносный пласт, вызывающая приток воды из пласта в скважину, очистку фильтра и стенок скважины от глинистой корки, осадков и загустевшего раствора. Свабирование наиболее эффективно при освоении напорных водоносных пластов при глубине их залегания свыше 100 м.

Механические методы освоения водоносных пластов заключаются в разрушении зоны глинизации лопастным расширителем, установленным под башмаком фильтра. Образовавшаяся каверна заполняется гравийной обсыпкой. Для очистки рабочей поверхности фильтра от осадков применяются механические ерши.

Химические методы восстановления водоотдачи

Эти методы широко распространены в отечественной и зарубежной практике. Сущность их заключается в воздействии на фильтр и прифилтровую зону реагентов, растворяющих колюматизирующие вещества. Кроме того, реагенты могут воздействовать на более удаленную зону пласта, формируя в породе новые фильтрационные каналы. В качестве химических реагентов применяют соляную кислоту, глинокислоту (смесь пла-

виковой и соляной кислот), дитионит натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, триполифосфат натрия $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ и др.

Наиболее часто применяется солянокислотная обработка пластов, представленных карбонатными породами. В результате химической реакции образуются растворимые в воде соли CaCl_2 и MgCl_2 , которые удаляются из пор и трещин пласта при откачке воды. Для разглинizations используется 10–15 %-ный раствор HCl , нагнетаемый в скважину по трубам, перфорированным в нижней части. Химическая обработка закольматированных водоносных горизонтов может осуществляться по трем технологическим схемам: создание реагентной ванны в водоприемной части скважины; обработка прифильтровой зоны с однократным вытеснением реагентного раствора из ствола в пласт; многоциклическая схема с периодическим перемещением раствора от ствола в прифильтровую зону и в обратном направлении.

Для химической обработки скважин используется типовое химическое оборудование (резервуары, насосы), защищенное специальными покрытиями. Работы с химическими реагентами ведутся после инструктажа по технике безопасности в спецодежде: резиновый костюм, перчатки, сапоги, противогаз. Химическую обработку скважины следует выполнять в строгом соответствии с проектом работ и требований охраны природы.

Физико-химические методы восстановления водоотдачи

К этой группе относятся термореагентный, кислотоструйный, виброреагентный, термовиброреагентный и другие методы.

Термореагентный метод основан на интенсификации процесса растворения когельмирующих соединений путем использования разогретого раствора, поступающего в водоприемную часть скважины. При солянокислотной обработке в качестве термореагента (вещество, взаимодействующее с химическим реагентом с выделением тепла) обычно используется металлический магний.

Кислотоструйный метод основан на сочетании химической активности реагента и действия струи химического раствора, выбрасываемых с большой скоростью из гидромониторных насадок. Кислотоструйная обработка применяется в скважинах с открытой (бесфильтровой) водоприемной частью.

Виброреагентный метод основан на одновременном воздействии химической активности реагента и вибрационного воздействия на прифильтровую зону. В результате интенсифицируется процесс растворения в зоне контактирования реагента с когельматом. Технологическая схема декогельматации этим методом заключается в том, что в скважину, оборудованную вибратором с рабочим органом обычного типа (см. рис. 11.10), через устье подается реагентный раствор, затем осуществляется вибрирование. Применение виброреагентного метода позволяет увеличить удельные дебиты скважин в 1,5–1,7 раза. Метод весьма

перспективен для широкого использования в практике восстановления водоотдачи водозаборных скважин.

Термовиброреагентный метод усиливает эффект применения виброреагентной обработки скважин за счет подогрева реагентного раствора в призабойной части до температуры 60–80 °С. Подогрев осуществляется скважинными электронагревателями или с помощью терморегентов.

Пневмореагентный метод представляет собой рациональное сочетание химической обработки и пневмовзрыва. В результате пульсирующее воздействие газовой полости на закольматированную зону дополняется растворяющим воздействием химического реагента.

§ 7. ПРИБОРЫ ДЛЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СКВАЖИНАХ

При бурении и откачках в скважинах отбирают пробы, измеряют уровень, температуру и дебит воды. Пробы воды отбирают пробоотборниками, использование которых дает возможность установить химический и газовый состав воды в любой точке скважины.

Пробоотборник ГПП (рис. 11.11) представляет собой поддон 4 с кольцевым уплотнением 5, имеющий осевой канал, перекрываемый краном 6. Поддон опускается в скважину на мерном тросике 1 на требуемую глубину. Затем с поверхности последовательно сбрасывают корпус 3 и пробку 2, изолирующие воду в приборе от боковой поверхности и верхнего торца. Пробоотборник поднимают на поверхность, поворотом крана вода из прибора сливается, образуя пробу.

Для отбора проб воды и растворенного в ней газа используют бесклапанные поршневые пробоотборники ППБ, двухклапанные герметичные пробоотборники ПГ и др. Объем отбираемой пробы составляет 2,5–3 л.

Уровень воды в скважине изменяют хлопушками, световыми датчиками, электроуровнемерами. Хлопушка представляет собой корпус с торцевой полостью и ушком, опускаемым в скважину на мерном шнуре. При контакте торца прибора с водой раздается характерный хлопок.

Световой датчик имеет корпус, внутри которого размещены лампочка и батарейка, снизу контактирующая с легким полым шариком. В момент достижения датчиком уровня воды шарик всплывает, перемещая батарейку вверх и замыкая ее контакты с лампочкой. Длина мерного шнура в момент появления света укажет уровень воды.

Электроуровнемер (рис. 11.12) представляет собой контактный стержень 2, опускаемый в скважину с помощью гидрогеологической рулетки 4 на одножильном кабеле 3 с мерными метками. В электрическую цепь входят также батарейка 5, лампочка 6 и второй токопровод, соединенный с обсадной колонной 1. При контакте стержня с водой электрическая цепь замыкается. В результате загорается лампочка, а длина кабеля в этот момент показывает положение уровня воды.

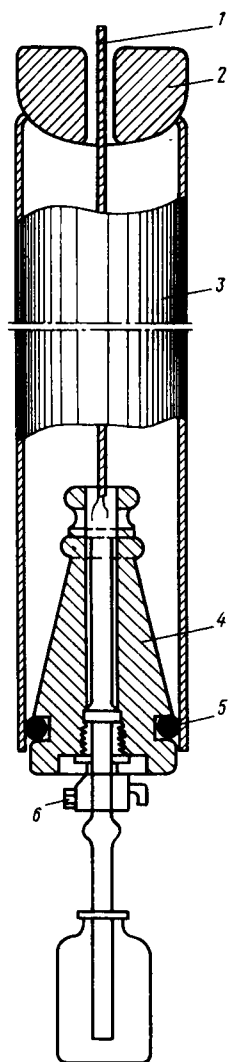
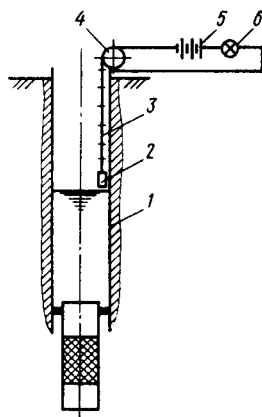


Рис. 11.11. Глубинный пробоотборник ГПП

Рис. 11.12. Схема работы электроуровнемера



Уровнемеры марок УЭ и ПУ имеют диапазон измерений от 0–50 до 0–500 м при допустимой погрешности от $\pm 0,2$ до $\pm 0,3$ см.

Описанные уровнемеры относятся к приборам дискретного действия. Непрерывное измерение уровня воды осуществляется пневматическими, мембранными, поплавковыми, звукометрическими, пружинно-поршневыми уровнемерами.

Заслуживает внимания уровнемер УГ-2М, разработанный в Свердловском горном институте совместно с трестом "Востокбурвод" и

используемый для регистрации режима откачки по изменению динамического уровня воды. В комплект уровнемера входят скважинный снаряд, наземный каротажный регистратор для непрерывной записи изменения уровня и лебедка с двухжильным каротажным кабелем. Уровнемер УГ-2М обеспечивает измерение уровня воды в диапазоне 0–100 м при погрешности измерения 0,5 % от верхнего предела. Диаметр скважинного снаряда составляет 50 мм.

Температуру воды в скважине измеряют ртутными термометрами, показания которых в момент отсчета мало отличаются от температуры измеряемой жидкости. Существуют также электрические термометры, позволяющие вести непрерывную регистрацию температуры воды в скважине с передачей соответствующей информации на наземный пульт и записью самописцем на диаграмме. Погрешность измерения температуры указанными приборами составляет $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Дебит гидрогеологических скважин измеряют следующими способами: объемным, методом водослива, с помощью водяных счетчиков и диафрагменных расходомеров.

Объемный способ измерения дебита широко распространен и заключается в фиксировании времени t наполнения откачиваемой водой сосуда измеренного объема V . Дебит $Q = V/t$. Для уменьшения погрешности измерения объем емкости должен быть таким, чтобы при ожидаемом дебите она заполнялась водой не менее чем за 1 мин.

Метод водослива заключается в измерении средней скорости $v_{\text{ср}}$ движения откачиваемой воды по желобу и площади поперечного сечения потока F . Дебит $Q = v_{\text{ср}} F$.

Принцип работы водяных счетчиков основан на измерении частоты вращения n крыльчатки, помещенной в трубопровод. Предварительно с помощью объемного метода строят тарировочную кривую вида: $Q = f(n)$.

Принцип работы диафрагменного расходомера основан на измерении перепада давления Δh в потоке воды до и после гидравлического сопротивления (диафрагмы), помещенной в трубопровод. Предварительно строят тарировочную кривую вида: $Q = f(\Delta h)$.

§ 8. РЕМОНТ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Срок эксплуатации водозаборных скважин зависит от применяемого метода их освоения и химического состава подземных вод, влияющего на время службы обсадных колонн, фильтра и водоподъемника. Среднее время эксплуатации водозаборной скважины составляет 20–30 лет. При добыче химически агрессивных вод стальные элементы конструкции скважины подвергаются быстрой коррозии и время нормальной эксплуатации сокращается до нескольких лет. В этом случае желательно применять обсадные трубы и фильтры из неметаллических или антикоррозионных металлических материалов.

В процессе эксплуатации периодически проверяют техническое со-

стояние скважины и водоподъемного оборудования. На неисправность работы скважины указывают изменение качества воды, уменьшение дебита, понижение статического и динамического уровней жидкости. Один из часто встречающихся видов неудовлетворительной работы – некачественное цементирование обсадных колонн. В результате возникают перетоки подземных вод. В эксплуатируемый пласт могут попасть загрязненные грунтовые воды, что приводит к снижению качества добываемой воды. Неудовлетворительное состояние фильтровой части скважины связано с накоплением на фильтре отложений, заиливанием гравийной обсыпки или ее размывом. Обсадные трубы под действием воды также покрываются отложениями и продуктами коррозии.

Для восстановления дебита и качества воды скважину ремонтируют. Трубы чистят скребками и металлическими щетками. Изношенные обсадные трубы заменяют, если они не зацементированы, или перекрывают новой колонной, которую цементируют от башмака до устья. Для надежного цементирования старую колонну простреливают. Для восстановления производительности водозаборных скважин широко используют импульсные методы воздействия на фильтр и призабойную зону. Из этих методов предпочтительнее электро- и пневмовзрыв, хороший эффект дает кислотная обработка фильтра.

Старый пришедший в негодность фильтр извлекают труболовкой с применением талевой системы, гидродомкратов или вибраторов. Если не удастся извлечь фильтр, его разрушают торпедированием или разбуривают. Затем водоносный пласт перебуривают и устанавливают новый фильтр.

§ 9. ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРИ СООРУЖЕНИИ СКВАЖИН НА ВОДУ

Водозаборные скважины сооружают на основании проектно-сметной документации. Основанием для разработки проекта служат письмо заказчика, утвержденное задание на проектирование с обоснованной потребностью в воде, акт выбора участка для сооружения скважины, выкопировка из генерального плана объекта, подлежащего водоснабжению, с нанесением всех существующих и проектируемых скважин, согласование условий водопользования с органами геологической службы, разрешение на специальное водопользование, выдаваемое органами по регулированию, использованию и охране вод. В отдельных случаях требуется дополнительно получить специальное разрешение на водопользование от органов Госгортехнадзора, Государственной ветеринарной службы, коммунального хозяйства или территориального курортного управления.

При выборе места заложения скважины должны учитывать санитарные, экономические и геологические требования. Санитарные требования заключаются в недопустимости загрязнения подземных вод поверхностными стоками, экономические – в максимальном приближении

скважины к потребителю, геологические — в исключении возможности взаимодействия проектируемой скважины с действующими скважинами или подсасывании вод из неиспользуемых минерализованных водоносных пластов.

После получения исходных данных составляют технический проект на сооружение скважинного водозабора подземных вод. Проект состоит из пояснительной записки, специальной и технологической частей, схемы устройства и расчета зоны санитарной охраны, графического оформления и сметной документации. Пояснительная записка включает введение, геоморфологическую, геологическую и гидрогеологическую характеристики района и выводы. В этой части проекта на основе анализа и оценки всех факторов обосновывается целесообразность бурения скважин и рекомендуется к эксплуатации перспективный водоносный горизонт.

В специальной части дается предварительный разрез, обосновываются способ бурения, конструкция скважины, комплекс геофизических и гидрогеологических исследований, расчетно-эксплуатационная производительность скважины. В технологической части обосновывается выбор буровой установки, оборудования и инструмента для сооружения проектируемой скважины, разрабатывается технология бурения, вскрытия и освоения водоносного горизонта, режимы прокачки и пробной откачки, рекомендуются типы водоподъемных установок. В следующей части проекта приводится расчет размеров зон санитарной охраны строгого режима (1-й пояс) и ограничений (2-й пояс).

Графическая часть проекта включает проектный геолого-технический разрез (см. рис. 11.3), схемы монтажа водоподъемного оборудования и обвязки устья скважины, конструкцию ограждения и генплан участка заложения скважин с нанесенными границами зоны санитарной охраны.

Сметная часть проекта составляется на основе проектных данных по Сборникам, ценам и другим действующим нормативным документам Госстроя СССР. Разработанная проектно-сметная документация подлежит согласованию с органами санитарного надзора и органами по регулированию, использованию и охране вод. После указанных согласований республиканскими территориальными органами геологической службы выдается разрешение на бурение проектируемых скважин. На основании утвержденной проектно-сметной документации с заказчиком заключается договор на сооружение водозабора с приложением особых условий и графика работ. Службы буровой организации, производящей работы, для буровой бригады составляют следующие документы: геолого-технический наряд, лимитно-заборную карту, комплексный наряд на заработную плату. Указанные документы выдают бригаде до начала работ (как правило, за 10 дней) для изучения и подготовки.

В лимитно-заборной карте указывают все необходимые материалы для сооружения скважины в соответствии с нормами и расчетами, определяют сроки доставки материалов на буровую.

Прораб буровых работ составляет комплексный наряд, бухгалтерия проверяет и бригадир буровой бригады принимает его. После заверше-

ния сооружения скважины комплексный наряд сдают прорабу, он утверждается руководством буровой организации. Все работы по сооружению водозаборной скважины фиксируются ежемесячно бригадой в буровом журнале, а вопросы безопасного ведения работ — в журнале техники безопасности.

После окончания монтажа бурового оборудования прораб проверяет готовность установки к забуриванию скважины с оформлением соответствующего акта, в котором указываются обнаруженные недостатки и сроки их устранения. После проверки проводят пусковую конференцию с оформлением акта готовности бригады к бурению. После устранения всех обнаруженных недостатков буровая бригада приступает к забуриванию скважины. В буровом журнале обязательно фиксируются: глубина залегания водоносного пласта, описание пород и их категория по буримости, положение уровня воды в скважине в начале и конце смены, характер поглощения, виды работ и затраты времени на их выполнение, количество пробуренных и обсаженных за смену метров, параметры промывочной жидкости.

Параллельно с буровым журналом оформляют промежуточные акты на спуск обсадных колонн, цементирование, установку фильтра и водоподъемника. Соответствующие документы составляют на ликвидацию осложнений и аварий. При проходке водоносных пластов отбирают пробы в объеме 1000 см^3 желонками или грунтоносами для определения granulометрического состава водоносной породы.

По окончании всех работ по бурению скважину опробуют откачкой для определения ее дебита, установления химико-бактериологических свойств воды и подготовки к постоянной эксплуатации. Скважина принимается в эксплуатацию с оформлением соответствующего акта комиссией с обязательным участием в ней представителей заказчика, подрядчика, райкомхоза и санэпидстанции. На основании акта приемки-сдачи скважины составляют акт-процентовку на фактически выполненные работы.

На основании первичной документации, ведущейся при сооружении скважины, составляют исполнительную документацию, включающую паспорт и учетную карточку водозаборной скважины. В паспорте содержится акт приемки-сдачи скважины в эксплуатацию, геолого-технический разрез скважины, результаты откачки, химико-бактериологический анализ воды, заключение по эксплуатации скважины, электрокаротажные диаграммы с заключением об интервале залегания водоносных пластов и инструкция по эксплуатации скважины. Учетные карточки заполняют по типовым формам и высылают в геологические фонды и вышестоящую организацию.

§ 10. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ БУРЕНИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Сооружение скважин осуществляется по утвержденным проектам. Выполнение предписаний геолого-технического наряда (ГТН) является обязательным для буровой бригады. Любые отклонения от проекта должны отражаться в ГТН и утверждаться главным инженером буровой организации. Сооружение скважины может вестись круглосуточно или в две смены. Состав смены (звена) зависит от применяемой буровой техники. Например, при использовании буровых установок 1БА-15В, УРБ-ЗАМ, УГБ-ЗУК, УГБ-4УК смена состоит из двух человек: бурильщика и его помощника, которые должны владеть профессиями водителя автомобиля, компрессорщика, электросварщика, стропальщика, радиста.

Буровое оборудование размещают по типовым схемам в зависимости от марки применяемой установки. Точку заложения скважины определяют по координатам, указанным в проекте, и она подтверждается актом на заложение скважины. Расстояние от буровой установки до жилых и производственных помещений и дорог должно быть не менее полуторной высоты ее мачты. В стесненных условиях (территория населенных пунктов, предприятий и т.д.) допускается размещать установку на меньшем расстоянии, но при этом проводят дополнительные мероприятия по безопасному ведению работ (установка дополнительных растяжных канатов, ограждений, сигнального освещения и т.д.).

Перед монтажом буровой установки размечают площадку под оборудование, инструмент и материалы. Вокруг буровой установки в радиусе 50 м должна быть выкошена трава, а территория очищена от пожароопасных материалов. При размещении установки на территории предприятий или населенных пунктов рабочая площадка должна быть ограждена и должен быть обеспечен свободный доступ транспортных и погрузочных средств к местам размещения инструментов и материалов.

Земляные работы выполняют, как правило, механизированным способом (шурфобуром, экскаватором и т.д.). Объем котлованов для промывочной жидкости должен быть не менее полуторного объема скважины. Погрузочно-разгрузочные работы следует производить механизированным способом с использованием средств малой механизации. Все смонтированное оборудование должно иметь защитные заземления. Члены буровой бригады в соответствии с графиком выполняют планово-предупредительный ремонт бурового оборудования и ежемесячно смазывают механизмы и узлы буровой установки. Чрезвычайно важно квалифицированно, качественно и в срок решать вопросы снабжения буровой необходимыми материалами и запасными частями, а также вопросы социальной сферы (организация отдыха, быта и питания рабочих).

Оперативное управление технологическим процессом сооружения скважин значительно повышается при использовании диспетчерской службы. Наличие радиосвязи с буровыми бригадами делает диспетчерскую службу весьма оперативной системой управления. Диспетчерская

система позволяет выяснить состояние буровых работ, обеспеченность материальными ресурсами, оперативно контролировать выполнение основных плановых показателей, перераспределять материально-технические ресурсы в случае возможных осложнений, аварий, простоев и оказывать при необходимости квалифицированную помощь буровым бригадам.

§ 11. ОХРАНА ПРИРОДЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БУРОВЫХ РАБОТ

Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов — одна из важнейших проблем нашего времени. В СССР работы в этом направлении возглавляет Государственный комитет по охране окружающей среды СССР. В обязанности геологической службы входят максимальное восстановление и сохранение окружающей природы и недр, нарушенных при проведении геологоразведочных работ. Необходимо принимать тщательные меры по предупреждению пожаров, неоправданных порубок леса, потрав посевов, загрязнения земельных участков, поверхностных и подземных вод.

При проектировании буровых работ в обязательном порядке разрабатывают мероприятия по охране природы. При планировании площадки для размещения бурового оборудования верхний плодородный слой земли срезают и складировуют. Смонтированное буровое оборудование должно обеспечивать пожарную безопасность. В процессе бурения не допускается загрязнять землю продуктами использованных горючесмазочных материалов, промывочными жидкостями, химическими реагентами. Указанные отходы надо собирать и захоронять на глубину не менее 2 м. Место захоронения должно обеспечить надежную локализацию и изоляцию отходов от подземных вод.

После окончания бурения поисково-разведочных скважин проводят их ликвидационный тампонаж, основной целью которого является устранение возможности перетока подземных вод, вскрытых стволом скважины после извлечения обсадных труб. Неглубокие скважины, ствол которых не вскрыл водоносные пласты, заливают густым глинистым раствором. Скважины, вскрывшие слабонапорные водоносные пласты, тампонируют глиной, доставляемой на забой колонковым набором, с последующим уплотнением. Скважины, вскрывшие высоконапорные пласты, вызывающие самоизлив, заливают цементным раствором. Предварительно из них извлекают обсадные трубы, а для исключения фонтанирования скважину заглушают утяжеленным раствором. Цементирование осуществляется через бурильные трубы, которые по мере заполнения ствола цементным раствором поднимают.

На устье скважины ставят репер, на котором указаны номер скважины, ее глубина, название организации и дата окончания бурения. При демонтаже бурового оборудования засыпают котлованы (отстойники, приемные емкости и т.д.), рекультивируют землю. При сооружении раз-

ведочно-эксплуатационных и эксплуатационных скважин следует тщательно цементировать обсадные колонны с целью изоляции водоносных пластов. Особое внимание уделяется надежной изоляции водоносного пласта, намеченного к эксплуатации.

Для исключения поверхностных загрязнений водозаборные скважины должны иметь зоны санитарной охраны, состоящие из двух поясов. Назначение первого пояса зоны (пояс строгого режима) — ограждение водозабора от непосредственного попадания поверхностных и грунтовых вод и загрязнений, обусловленных деятельностью людей. Для надежно защищенных с поверхности водоносных пластов расстояние первого пояса от водозабора составляет не менее 30 м, для незащищенных горизонтов — не менее 50 м. Во втором поясе (зоне ограничений) ограничивается деятельность людей, которая может повлечь за собой ухудшение воды эксплуатируемого водоносного горизонта. Границы второго пояса устанавливают исходя из санитарных и гидрогеологических условий и определяют расчетом.

Скважины, не пригодные к эксплуатации, ликвидируют путем санитарно-технической заделки. Последовательность работ следующая. Ствол прорабатывают долотом на всю глубину, освобождают от ила и посторонних предметов, чистят обсадные трубы от коррозии металлическими щетками. Скважину промывают до осветления воды, проводят дезинфекцию раствором хлорной извести, доставляемым по бурильным трубам в интервал водоприемной части скважины. Затем водоприемную часть засыпают песчано-гравийной смесью, поверх которой на высоту не менее 10 м заливают песчано-цементным раствором. На ликвидацию скважины составляют соответствующий акт.

Контрольные вопросы к гл. 11

1. Выбрать и обосновать способ бурения скважины на воду, если проектная глубина скважины 80 м, ожидаемый дебит $180 \text{ м}^3/\text{ч}$, водоносный пласт — безнапорный, разрез представлен песчано-глинистыми породами.
2. Основные отличия конструкций скважин на воду при ударно-канатном и вращательном бурении.
3. Выбрать тип водоподъемника, если из скважины откачивается чистая вода с дебитом $130 \text{ м}^3/\text{ч}$ при динамическом уровне воды 80 м.
4. Выбрать способ вскрытия пласта, если глубина залегания водоносного пласта 800 м, ожидаемый дебит $150 \text{ м}^3/\text{ч}$; водоносный пласт — высоконапорный (ожидается самоизлив).
5. Сущность импульсных методов освоения пластов.
6. Сущность метода разглинзации водоносных пластов обратновсасывающей промывкой.
7. Сущность химических методов восстановления водоотдачи водоносных пластов.
8. Методы и приборы, которыми измеряют дебит скважины.
9. Документы, служащие основанием для разработки проекта на сооружение водозаборных скважин.
10. Состав и содержание проекта на сооружение водозаборных скважин.
11. Документы, оформляемые в процессе проходки скважины и при передаче ее заказчику.
12. Мероприятия, осуществляемые при сооружении водозаборных скважин с целью исключения загрязнения подземных вод.
13. Последовательность работы по ликвидации скважин.

ЧАСТЬ II

ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

Глава 12

ОСНОВЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

§ 1. ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Напряжения в нетронутом массиве до проведения выработок возникают от гравитационного воздействия горных пород. Принято считать, что напряжения определяют только плотностью пород и глубиной их залегания, при этом массив условно рассматривают как однородный и находящийся в равновесном объемном напряженном состоянии.

Поля напряжений в массиве горных пород развиваются по законам гидростатического давления в жидкости и характеризуются тем, что напряжения в элементарном объеме породы равны во всех направлениях и определяются плотностью и глубиной залегания пород:

$$\sigma_z = \sigma_x = \sigma_y = \rho g H, \quad (12.1)$$

где σ_z — вертикальная составляющая напряжений; σ_x и σ_y — горизонтальные составляющие напряжений; ρ — средневзвешенная объемная плотность пород, кг/см³; H — глубина залегания элементарного объема, м; g — ускорение свободного падения, см/с².

Такое распределение напряжений наблюдается в большинстве случаев при глубине залегания более 1000 м, но в некоторых осадочных породах оно прослеживается и с глубины 300–500 м (Львовско-Волынское и Кузнецкое угольные месторождения). Для наиболее часто встречающихся условий проведения горно-разведочных выработок вертикальная составляющая напряжений

$$\sigma_z = \rho g H; \quad (12.2)$$

горизонтальные составляющие

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1 - \mu} \sigma_z = \lambda \rho g H, \quad (12.3)$$

где $\lambda = \mu/(1 - \mu)$ — коэффициент горизонтального распора, показывающий, какую долю вертикального давления составляет сила бокового давления; μ — коэффициент Пуассона.

При проведении горных выработок (открытых или подземных) про-

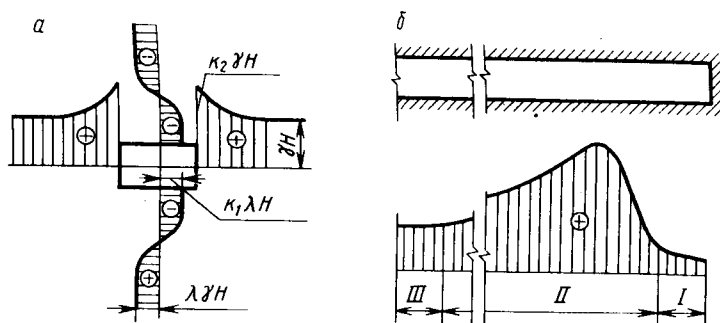


Рис. 12.1. Эпюры напряжений в массиве после проведения горизонтальной горной выработки:

а — в поперечном сечении; *б* — вдоль горной выработки

исходит перераспределение напряжений в окружающих их породах и возникает сложнапряженное состояние массива. Для оценки устойчивости выработок, расчета размеров крепи необходимо знать распределение напряжений и их численные значения. Для упрощения принимаем горизонтальную выработку прямоугольного сечения (рис. 12.1, *а*), напряжение — не выше предела упругости пород, а коэффициент Пуассона $\mu = 0,1 \div 0,4$. После проведения выработок сжимающие вертикальные напряжения на их контуре

$$\sigma_{zк} = K_2 \rho g H$$

(K_2 — коэффициент концентрации напряжений, величина которого может достигать 5).

В кровле и почве выработки возникают растягивающие напряжения

$$\sigma_{хк} = \sigma_{ук} = K_1 \lambda \rho g H,$$

которые по мере удаления от контура уменьшаются до нуля, а затем переходят в сжимающие, постепенно достигающие $\sigma_x = \sigma_y$.

В углах выработок возникает наибольшая концентрация напряжений, при их сглаживании напряжения снижаются. В этом отношении наиболее рациональна круглая форма поперечного сечения горных выработок. Зона влияния выработок на состояние нетронутого массива практически не превышает трех-пяти максимальных линейных размеров ее сечения. Если выработки расположены на небольшом расстоянии друг от друга, то поля напряжений сливаются и концентрация напряжений повышается.

Для вертикальных выработок круглого сечения (наиболее распространенная форма) величины напряжений в окружающих породах можно представить в следующем виде:

$$\sigma_z = \rho g H, \quad (12.4)$$

$$\sigma_r = \frac{\mu}{1 - \mu} \rho g H \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right), \quad (12.5)$$

$$\sigma_t = \frac{\mu}{1 - \mu} \rho g H \left(1 + \frac{r^2}{R^2}\right), \quad (12.6)$$

где σ_r — радиальные напряжения, Па; σ_t — нормальные напряжения, Па; r — радиус ствола, м; R — расстояние от центра ствола до точки, для которой определяются напряжения, м.

Для контура выработки при $r = R$

$$\sigma_r = 0; \quad \sigma_t = \frac{2\mu}{1 - \mu} \rho g H. \quad (12.7)$$

Горное давление вокруг выработок определяется величиной напряжений и прочностью окружающих пород. Если напряжения выше предела упругости пород, то в них начинается пластическая деформация, вызывающая разрушение кровли и стенок выработок. В этом случае необходимо проводить дополнительные работы по упрочнению пород или возведению крепи. При этом начинает воспринимать нагрузки вновь образованная система крепь — порода, и зона максимальных напряжений передвигается вглубь массива, благодаря чему ее сопротивление нагрузкам возрастает.

Таким образом, под термином горное давление понимается напряжение (давление) в массиве пород вокруг выработок или в системе крепь — порода, вызванное природными и технологическими факторами в результате сдвижения горных пород. Горное давление проявляется в разных формах: упругое, упруговязкое или пластическое смещение в сторону выработки без разрыва сплошности; разрушение сплошности и вывалообразование под влиянием высоких напряжений по контуру выработки.

При проведении горно-разведочных выработок, особенно на больших глубинах, можно выделить три зоны развития напряжений (рис. 12.1, б): I — зона слабого влияния горного давления; II — зона развивающегося давления; III — зона установившегося давления. По мере проходки выработки процессом перераспределения напряжений управляют следующим образом: у забоя на расстоянии до 10 м породы не крепят, в зоне развивающегося давления устанавливают временную крепь или податливую постоянную, а в зоне установившегося давления — постоянную жесткую крепь.

С увеличением глубины залегания горных выработок напряженное состояние массива возрастает и возникают качественно новые проявления горного давления — шелушение, стреляние, горные удары, внезапные выбросы пород и газов. Такие процессы требуют качественно новых методов изучения напряженного состояния пород вокруг горных выработок и разработки способов и средств предотвращения этих опасных процессов.

§ 2. РАСЧЕТ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

В настоящее время разработано достаточно много методик расчета горного давления, основывающихся на различных гипотезах процесса разрушения пород и учитывающих свойства горных пород, глубину заложения выработок. Все они применимы для определенных условий, но универсальный метод расчета до сих пор не разработан. Рассмотрим методики, наиболее простые и пригодные для расчета горного давления на выработки, пройденные в твердых, монолитных породах, без учета глубины их залегания от поверхности земли.

Методика проф. М.М. Протодяконова. Согласно гипотезе проф. М.М. Протодяконова, в кровле выработки образуется параболический свод естественного равновесия, который устойчив, воспринимает давление вышележащей толщи пород и распределяет его на породы в пристеночной части выработки. Порода кровли разрушается только в объеме внутреннего свода и при этом нагружается крепь выработки (рис. 12.2, а). Принято считать, что данная методика приемлема для пород с $f > 5$ по шкале проф. М.М. Протодяконова.

Величина горного давления на 1 м длины кровли выработки (в Па)

$$p = S g \rho, \quad (12.8)$$

где S — площадь поперечного сечения внутренней части свода естественного равновесия, м^2 ; ρ — плотность горных пород, кг/см^3 ;

$$S = \frac{2}{3} 2a b = \frac{4}{3} a b; \quad (12.9)$$

$2a$ — ширина выработки, м; b — высота свода, м;

$$b = a/f. \quad (12.10)$$

Следовательно,

$$p = \frac{4}{3} g \rho \frac{a^2}{f}. \quad (12.11)$$

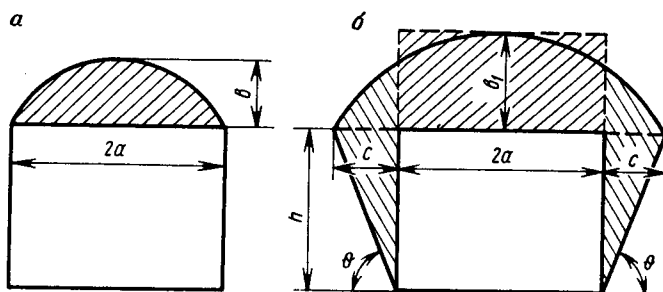


Рис. 12.2. Схема к расчету горного давления на горизонтальную выработку:

a — по методике проф. М.М. Протодяконова; b — по методике проф. П.М. Цимбаревича

Методика проф. П.М. Цимбаревича. Формулы, предложенные проф. М.М. Протодяконовым, были уточнены проф. П.М. Цимбаревичем с учетом того, что свод естественного равновесия пятами опирается на массив в бортах выработки и создает опорное давление (рис. 12.2, б). При коэффициенте крепости пород $f > 5$ они не способны стоять вертикальной стенкой, а деформируются и образуют по бокам выработки треугольные призмы сползания.

Пролет свода естественного равновесия B_1 при прямоугольном сечении выработки

$$B_1 = 2a + 2c = 2a + 2h \operatorname{tg} \theta, \quad (12.12)$$

где h — высота выработки, м; θ — угол откоса призмы сползания, градус;

$$\theta = (90 - \varphi)/2; \quad (12.13)$$

$\varphi = \operatorname{arctg} f$ — кажущийся угол внутреннего трения пород, градус.

Высота свода естественного равновесия (в м)

$$b_1 = B_1/(2f). \quad (12.14)$$

Давление со стороны кровли на 1 м длины выработки (в Па).

$$p = \frac{2ag\rho}{f} \left(a + h \operatorname{tg} \frac{90 - \varphi}{2} \right). \quad (12.15)$$

Давление со стороны бортов выработки (при неустойчивых боках) определяется как давление сыпучих пород на подпорную стенку (в Па):

$$p_6 = \frac{g\rho}{2} (2b_1 + h) h \operatorname{tg}^2 \frac{90 - \varphi}{2}. \quad (12.16)$$

Методика проф. М.М. Протодяконова наиболее часто используется при расчете горного давления в вертикальных выработках. По этой методике крепь ствола рассматривается как подпорная стенка, поэтому полное давление на нее рассчитывают по теории давления грунтов (рис. 12.3, а):

$$D = \frac{\rho g H^2}{2} \operatorname{tg}^2 \frac{90 - \varphi}{2}. \quad (12.17)$$

Давление на 1 м² стенки в любом сечении (в Па)

$$\Delta D = \rho g H \operatorname{tg}^2 \frac{90 - \varphi}{2}. \quad (12.18)$$

При пересечении стволом неоднородных пород средневзвешенное значение угла внутреннего трения (в градусах) проф. П.М. Цимбаревич

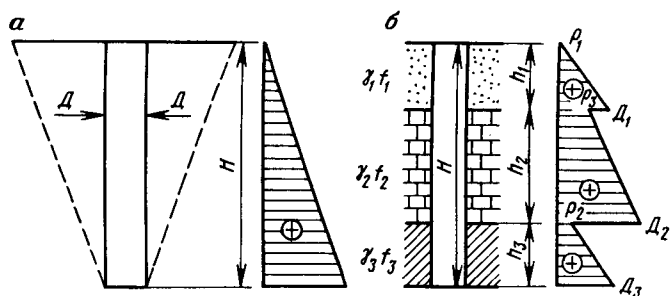


Рис. 12.3. Схема к расчету горного давления на вертикальную выработку:
 а – по теории давления грунтов; б – с учетом пересечения пород с различными крепостью и плотностью

рекомендует подсчитывать по средневзвешенному коэффициенту крепости пород и плотности (рис. 12.3, б):

$$\varphi_{\text{ср}} = \arctg f_{\text{ср}}; \quad (12.19)$$

$$f_{\text{ср}} = \epsilon h f / \epsilon h. \quad (12.20)$$

Коэффициент горизонтального распора

$$A = \tg^2 \frac{90 - \varphi}{2}. \quad (12.21)$$

Таким образом, при проведении вертикальных горных выработок в неоднородных породах формула проф. М.М. Протодяконова для любого слоя пород принимает вид:

$$\Delta D = \rho_{\text{ср}} g H \tg^2 \frac{90 - \varphi_{\text{ср}}}{2}. \quad (12.22)$$

Формула проф. М.М. Протодяконова пригодна только для однородных пород, что на практике встречается крайне редко. Методика проф. П.М. Цимбаревича позволяет наиболее точно определить давление в любой точке ствола, пройденного в неоднородных породах.

Горное давление со стороны кровли на крепь наклонной выработки можно разложить на две составляющие:
 нормальную к оси выработки (в Па)

$$N = p \cos \alpha; \quad (12.23)$$

тангенциальную – вдоль оси выработки в направлении наклона (в Па)

$$T = p \sin \alpha \quad (12.24)$$

(α – угол наклона выработки к горизонту, градус).

Тангенциальная составляющая T стремится сдвинуть крепь по падению, поэтому в наклонных выработках применяют специальную конструкцию крепи. Горное давление на крепь наклонных выработок для углов $0-75^\circ$ рекомендуется определять по действительному значению угла α , а при углах $>75^\circ$ так же, как для вертикальных выработок.

Методы определения горного давления. В реальных условиях горное давление в выработках часто отличается от расчетного вследствие изменения характера залегания пород, строения массива, тектонических процессов, технологии ведения горных работ, площади сечения выработок и др. Поэтому расчетные данные уточняются в реальных условиях методами разгрузки керна, измерением смещений, давления на гидростойки, зондированием массива различными физическими полями или моделированием горного давления в лабораторных условиях.

§ 3. КЛАССИФИКАЦИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Накопление и обобщение геологических данных по разрабатываемым и разведываемым месторождениям, составление прогнозных карт, широкое привлечение инструментальных методов разведки позволили превратить поисково-разведочные работы в довольно точную науку. Однако основными методами установления запасов месторождения и изучения качественной характеристики руд и вмещающих пород являются бурение скважин и проведение горно-разведочных выработок.

Горные выработки — это полости (пустоты), образованные в недрах земли в результате ведения горных работ. Горные выработки, проведенные в недрах земли, называются подземными, а проведенные на поверхности земли — открытыми. По назначению выработки делятся на разведочные, проводимые в целях геологических поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, и эксплуатационные, которые предназначены для добычи полезных ископаемых. Часто выработки, пройденные вначале с целью разведки, впоследствии используются как эксплуатационные.

Поверхностные (открытые) горно-разведочные выработки

Расчистка — выработка в виде выемки, проводимая с целью обнажения коренных пород. Расчистки проводят вручную при мощности наносов $(0,5-0,6 \text{ м})$. Размеры расчисток: по низу — $0,2 \times 0,2 \text{ м}$, по верху — $0,4 \times 0,4 \text{ м}$.

Копуша — выработка в виде выемки, проводимая для взятия пробы коренных пород. Размеры копуши: по верху — до $1 \times 1 \text{ м}$, по низу — $0,5-0,6 \text{ м}$, глубина до 1 м .

Разведочная канава — выработка, проводимая с целью поисков выходов полезных ископаемых на поверхность земли при небольшой мощности наносов, перекрывающих коренные породы. Глубина канавы

в пределах 1,5–3 м, редко достигает 5 м, ширина по низу – 0,5–0,7 м, протяженность от нескольких метров до сотен метров. При длине более 50 м канава называется магистральной.

Разведочная траншея – выработка, имеющая по сравнению с канавой большие размеры поперечного сечения. Размеры траншей изменяются в широких пределах. Имеются примеры, когда длина траншеи превышает 100 м, ширина – 70 м, а глубина – 20 м.

Подземные горно-разведочные выработки

Ствол разведочной шахты – вертикальная или наклонная выработка, имеющая непосредственный выход на земную поверхность, предназначенная для обслуживания подземных работ, которые проводят с целью разведки месторождений полезных ископаемых. Ствол оборудуется подъемной установкой для спуска и подъема людей и грузов; по нему прокладывают кабели и трубы для водоотлива и других целей, подают свежий или отводят загрязненный воздух.

Слепой ствол разведочной шахты проводится из подземной выработки (т.е. не имеет выхода на земную поверхность) для вскрытия и обслуживания нижележащих горизонтов.

Разведочный шурф – вертикальная горная выработка, проводимая с поверхности, прямоугольного или круглого сечения размером от 1,25 до 4 м², глубиной до 5–10 м, реже до 30–40 м.

Штольня – горная выработка, проводимая с поверхности горизонтально или с небольшим уклоном в местности с гористым рельефом, предназначена для обслуживания горных работ при разведке или эксплуатации месторождения.

Квершлаг – горизонтальная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на поверхность, проводимая по вмещаемым породам, как правило, вкрест простирания месторождения. Назначение ее – обеспечить доступ к полезному ископаемому, транспортирование грузов, передвижение людей, вентиляция и др.

Штрек – горизонтальная (с наклоном 0–3°) выработка, проводимая по простиранию наклонно залегающего месторождения или в любом направлении при горизонтальном залегании. Назначение ее – передвижение людей, транспортирование грузов, проветривание и др.

Восстающая – вертикальная или наклонная горная выработка, проводимая с нижнего горизонта на верхний с целью разведки полезного ископаемого или для вентиляции, спуска руды и породы, доставки материалов и других вспомогательных целей.

Уклон – подземная наклонная выработка, не имеющая непосредственного выхода на поверхность, проводимая по полезному ископаемому сверху вниз для обслуживания горно-разведочных работ на нижележащем горизонте и подъема полезного ископаемого.

Разведочная рассечка – подземная горизонтальная выработка, проводимая из других выработок (штолен, шурфов, штреков, восстаю-

щих) для установления границ оруденения, поисков и разведки отдельных тел полезных ископаемых.

Камерные выработки — подземные горные выработки, которые при сравнительно больших поперечных размерах имеют небольшую длину и предназначены для размещения оборудования, материалов, различных служб. Названия камер зависят от их назначения, например: камера ожидания, диспетчерская, ремонтные мастерские, депо и т. д.

Подземные горные выработки по периметру ограничены поверхностями горных пород. Начало подземной выработки, которым она примыкает к поверхности земли или к другой выработке, называют ее устьем. Поверхность, ограничивающая выработку в противоположном устью конце и перемещающаяся в результате выемки полезного ископаемого (породы), называется забоем выработки.

Кровля выработки — это поверхность горных пород, ограничивающая подземную горизонтальную или наклонную выработку сверху. Поверхности, ограничивающие такие выработки снизу, называются почвой, а сбоку — стенками или боками выработки. Участок горно-разведочной выработки у забоя, где размещаются проходческое оборудование и рабочие, называется призабойным пространством. Место пересечения двух или более подземных горных выработок и участков этих выработок, примыкающих к этому месту, называется сопряжением.

§ 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Горные выработки можно проводить на всех стадиях разведки: для оконтуривания запасов полезных ископаемых, корректировки результатов буровых работ, отбора технологических проб. Удельный вес разведки горными выработками тем больше, чем сложнее геологические условия месторождения. Информация, получаемая при этом с 1 м выработки, в десятки раз превышает информацию, получаемую при бурении. Несмотря на то, что стоимость 1 м выработки в 10–12 раз превышает стоимость 1 м скважины, объемы горных работ продолжают возрастать. Поэтому повышение эффективности проведения горно-разведочных выработок за счет внедрения комплексной механизации, новых технологических схем и передовой организации труда приобретает важное значение.

Ежегодно в стране проводят около 300 тыс. м подземных горно-разведочных выработок, 98 % которых приходится на долю горизонтальных. С увеличением объемов проведения подземных разведочных выработок возрастают стоимость работ и общая численность работающих. При этом темпы прироста стоимости и численности несколько опережают темпы прироста выполняемых объемов работ. Это обусловлено специфичностью условий ведения горно-разведочных работ. Работы выполняются большей частью в экономически неосвоенных и отда-

ленных районах. Снабжение объектов работ оборудованием, материалами, электроэнергией, сжатым воздухом, технической водой связано с большими трудностями. Характерны разобщенность участков горных работ, низкая концентрация их на одном участке.

Годовые объемы проведения горно-разведочных выработок в партиях в среднем не превышают 1000 м. За последние 15 лет скорость проведения горно-разведочных выработок увеличилась в 2 раза при среднем ежегодном росте производительности труда 2,5 %. В то же время стоимость 1 м выработки увеличилась в 1,5 раза. Вместе с ростом объемов повысился технический уровень производства горно-разведочных работ. Проведение горно-разведочных выработок предполагает такое распределение всех работ в проходческом цикле, при котором обеспечивается максимальное использование горно-проходческих машин и механизмов; работы осуществляются при комплексной механизации, а проходческие бригады укомплектованы квалифицированными кадрами.

Контрольные вопросы к гл. 12

1. Давление в нетронутом массиве.
2. Методы расчета горного давления.
3. Методы измерения горного давления.
4. Назначение и классификация горно-разведочных выработок.
5. Элементы горной выработки.

Глава 13

ПРОВЕДЕНИЕ ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

§ 1. ПРОХОДКА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

При проведении горных выработок буровзрывным способом в забое и призабойном пространстве последовательно выполняют следующие работы: бурение шпуров, зарядание, взрывание, проветривание, вынос породы и крепление в весьма неустойчивых породах. При переходе от одной основной работы к другой выполняют еще подготовительные операции к бурению, заряданию, взрыванию, удалению породы, креплению. Комплекс этих работ периодически повторяется и называется проходческим циклом. Проходчики обычно начинают смену с подготовки к удалению породы, взорванной в конце предыдущей смены.

Удаление породы. Перед началом удаления породы забой выработки приводят в безопасное состояние: специальным ломом (закольник) снимают нависающие куски породы (заколы) с кровли, стенок и забоя. Орошают навал отбитой породы, что снижает образование пыли во время погрузки. Кроме того, часть газов взрыва, задержавшихся внутри навала, растворяется в воде. Параллельно готовят к работе погрузочную машину. Сжатым воздухом сдувают с нее пыль и смазывают узлы. На подготовку к удалению породы затрачивается 10–20 мин. Сама уборка

в проходческом цикле занимает около 30 % времени. Продолжительность ее (в ч) определяется по формуле:

$$t_{ц} = SL \eta K / q_T + SL \eta K t_3 / V, \quad (13.1)$$

где S — площадь сечения выработки, m^2 ; L — глубина шпуров, м; η — коэффициент использования шпуров; q_T — производительность погрузочной машины, $m^3/ч$; V — объем вагона, или суммарный объем партии вагонов, загружаемых через конвейер без пересцепки, m^3 ; t_3 — время замены груженого вагона порожним, ч; $K = 0,6 \div 0,75$ — коэффициент использования погрузочной машины.

Бурение шпуров. После удаления породы приступают к подготовке бурения шпуров. Для предохранения от повреждения взрывом погрузочную машину отгоняют от забоя на 40–50 м. Оставшуюся от механической погрузки породу, мешающую бурению нижних шпуров, удаляют от забоя кайлами или сжатым воздухом. Затем определяют направление выработки. Для этого подвешивают грузики на нитях двух вертикальных реперов и натягивают две нити между горизонтальными реперами. При помощи створов нитей заданное маркшейдером направление выработки визируется на забой, после чего приступают к разметке шпуров в соответствии с паспортом буровзрывных работ.

Параллельно подносят к забою бурильные машины, буровой инструмент, подсоединяют шланги к воздухораспределителю и буровым машинам. На подготовку к бурению при применении ручных перфораторов затрачивают 10–15 мин. Если для бурения используется буровая каретка, то затрачивается 20–25 мин, так как в этом случае погрузочную машину надо откатывать на разминовку, а оттуда по освободившемуся пути доставить к забою каретку. Продолжительность бурения (в ч) определяется из выражения:

$$t_6 = NL / n v_{ч} + N t_1, \quad (13.2)$$

где N — число шпуров; L — глубина шпуров, м; n — число одновременно работающих перфораторов; $v_{ч}$ — чистая скорость бурения одним перфоратором, м/ч; t_1 — продолжительность вспомогательных операций в процессе бурения шпура (переход от шпура к шпуру, забуривание, замена коронок и т.д.), ч, для ручных перфораторов $t_1 = 0,05$ ч, для колонковых $t_1 = 0,08$ ч.

Чистая скорость бурения (в м/ч) может быть вычислена по формуле проф. Н.С. Успенского:

$$v_{ч} = K 80 A n / \pi d^2 \sigma \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + F \right), \quad (13.3)$$

где K — коэффициент, учитывающий затупление лезвия коронки в процессе бурения; A — энергия удара поршня со штоком, Дж; n — количество ударов в 1 ч; d — суммарная длина лезвий коронки, м (при однодотчатой коронке длина равна диаметру шпура, при крестовой корон-

ке составляет полтора диаметра шпура); σ — временное сопротивление породы разрушению, Па; α — угол загочки лезвия коронки, градус; $F = 0,25 \div 0,3$ — коэффициент трения лезвия коронки о породу.

Схемы врубов

Шпуры располагаются в забое так, чтобы взрыв каждого заряда облегчал работу последующего взрыва. По назначению шпуры делятся на три группы: врубовые, вспомогательные (отбойные) и оконтуривающие. В описанной очередности они и взрываются. Величина продвижения забоя за цикл прежде всего зависит от результатов взрыва зарядов, расположенных во врубовых шпурах. Поэтому очень важно для данной породы, обладающей определенными физико-механическими свойствами и структурой, правильно подобрать конструкцию вруба. Врубы конструируют из наклонных к оси выработки шпуров (наклонные врубы) и из параллельных к оси выработки шпуров (прямые врубы).

Для проходки горизонтальной выработки применяется клиновой вруб, для проходки прямоугольного ствола шахты (шурфа) — пирамидальный, для проходки круглого ствола — воронкообразный. Наклонные врубы просты в исполнении, не требуют высокой точности расположения шпуров, дают удовлетворительные результаты в породах разной характеристики. Однако угол наклона врубовых шпуров к плоскости забоя должен составлять $60-70^\circ$, поэтому в выработке ограниченного сечения шпуры могут быть обурены только на небольшую глубину.

Для более эффективного использования современной высокопроизводительной техники необходимо за проходческий цикл обеспечить значительное подвигание забоя (3—4 м). В этом случае используют прямые врубы, типов звездочка, спираль или щелевой. Эти врубы, как и наклонные, получили название от фигур, которые образуются из комплекта их шпуров. Центральный шпур прямых врубов не заряжается, а служит компенсационной полостью при разрушении породной перемычки первым зарядом. Расстояние между шпурами устанавливают опытным путем, и в зависимости от их диаметра и физико-механических свойств породы оно составляет 15—25 см.

Характеризуя вруб "звездочка", можно заметить, что нагрузки на заряды неодинаковы. Наибольшая приходится на первый заряд, второй заряд испытывает меньшее сопротивление, поскольку после взрыва первого компенсационная полость увеличивается, третий заряд еще меньше и т.д., т.е. мощность последних зарядов используется не полностью. Во врубе "спираль" этот недостаток устранен. Здесь каждый очередной заряд располагается от центрального шпура несколько дальше, чем предыдущий. Коэффициент полезного действия их выше.

В породах повышенной вязкости врубы типов звездочка и спираль не дают хорошего результата. При взрыве каждого заряда только часть разрушенной породы выбрасывается из вруба, другая часть перемещается на противоположную сторону и там вновь сильно уплотняется. Вруб очищается от разрушенной породы не на полную глубину. На некоторую

глубину разрушается порода последующими взрывами зарядов вспомогательных и оконтуривающих шпуров, отсюда снижается уход забоя за цикл и, следовательно, уменьшаются производительность труда и другие технико-экономические показатели проходки.

В этих условиях более эффективен "целевой" вруб. При взрывании зарядов "целевого" вруба ранее разрушенная и опять уплотненная порода при каждом последующем взрыве перебрасывается в противоположную сторону, врубовая полость очищается лучше.

Заряжание и взрывание шпуров

Перед заряжением буровое оборудование убирают на безопасное расстояние. Дополнительно очищают (продувают) сжатым воздухом все пробуренные шпуры. Удаляют из забоя людей, не связанных с взрывными работами. Подносят к забою ВВ и заранее приготовленные боевики, выставляют посты охраны с тем, чтобы посторонние случайно не смогли попасть в опасную зону. На подготовку к заряжению затрачивается 5–10 мин.

Шпуры заряжают патронированными или гранулированными ВВ. Последние применяют при механизированном заряжении. Патроны в шпур досылают деревянной штангой (трюмбоником). Применяют прямое и обратное инициирование. При огневом способе взрывания длина огнепроводных шпуров принимается такой, чтобы концы их перед зажиганием можно было бы собрать в один или несколько пучков. Шпуры, собранные в пучок, поджигают одновременно. Очередность взрывания обеспечивается разной их длиной.

Для электрического взрывания в горизонтальных выработках обычно используют взрывные машинки. Ввиду их ограниченной мощности электродетонаторы соединяют последовательно. Общее сопротивление электровзрывной сети при последовательном соединении должно быть не более указанного в характеристике применяемой взрывной машинки. Наибольшее распространение получили конденсаторные взрывные машинки.

Организация труда при проходке горизонтальных выработок

Число проходчиков, одновременно работающих в забое, определяется рациональной расстановкой их для выполнения основных проходческих операций и зависит от применяемого оборудования. При проходке выработок небольшой площади сечения в смену выходят два-три человека. Они выполняют все операции проходческого цикла.

В очень слабых неустойчивых породах выработку крепят в каждом проходческом цикле сразу после уборки породы. Если породы допускают отставание крепи от продвижения забоя хотя бы на 5–10 м, для крепления обычно отводится одна из рабочих смен в сутки. Такое разде-

ление сокращает непроизводительные затраты, связанные с частым переходом от одного вида работ к другому. Монолитным бетоном выработку крепят после проходки на всю длину или достаточно большого ее участка, поскольку такое крепление трудно совместить с проходкой.

Так как погрузочная машина не может зачищать породу ниже головки рельса временного пути, забой обуривают ниже проектной отметки на 30–35 см. Впоследствии при устройстве капитального пути шпалы укладывают непосредственно на оставшийся слой породы. Это позволяет избежать зачистки породы вручную и исключает повторные буровзрывные работы при проходке канавки. Капитальный путь на очередном участке выработки настилают обычно в конце месяца перед сдачей бригадой выполненных работ для оплаты. Одновременно устраивают водоотливную канавку. Для выполнения этих работ все звенья проходческой бригады выходят в одну смену.

Выработка проветривается между сменами, когда людей в шахте нет. При таком общешахтном режиме проветривания суммарная продолжительность всех операций проходческого цикла (исключая вентиляцию) должна быть равна продолжительности рабочей смены. Время проходческого цикла зависит от глубины шпуров. Если глубина шпуров мала, то на проходческий цикл будет затрачиваться неполная рабочая смена, отсюда неполная занятость рабочих, что отрицательно сказывается на производительности труда. При слишком большой глубине шпуров рабочие не успевают выполнить все операции цикла за свою смену. Поэтому глубина шпуров должна быть рассчитана так, чтобы при полной нагрузке на проходчика успеть в конце смены взорвать забой, т.е. $T_{\text{ц}} = T_{\text{с}}$.

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{пу}} + t_{\text{у}} + t_{\text{пб}} + t_{\text{б}} + t_{\text{пз}} + t_{\text{з}} + D, \quad (13.4)$$

где $T_{\text{ц}}$ и $T_{\text{с}}$ — продолжительность смены и цикла, ч; $t_{\text{пу}}$, $t_{\text{у}}$, $t_{\text{пб}}$, $t_{\text{б}}$, $t_{\text{пз}}$ и $t_{\text{з}}$ — продолжительность соответственно подготовки к уборке породы, уборки, подготовки к бурению, бурения, подготовки к заряданию и зарядания, ч; D — продолжительность других, не совмещенных во времени работ, включенных в проходческий цикл (крепление, взятие геологических проб и др.), ч.

Кроме удаления породы и бурения шпуров, все другие виды работ проходческого цикла практически не зависят от глубины шпуров. Тогда, подставив в уравнение (13.4) вместо $t_{\text{у}}$ и $t_{\text{б}}$ их выражения (13.1) и (13.2), решим его относительно глубины шпуров:

$$L = \frac{T_{\text{ц}} - t_{\text{пу}} - t_{\text{пб}} - t_{\text{пз}} - N(t' + t'') - D}{\frac{S\eta K}{q} + \frac{S\eta K}{V} t_p''' + \frac{N}{n\omega}}. \quad (13.5)$$

Из формулы (13.5) видно, что глубина шпуров и, следовательно, производительность труда зависят от времени замены груженого вагона

порожним в процессе удаления породы (t_p'''). Сократить время замены можно за счет устройства новой разминовки ближе к забою. Однако это связано с дополнительными затратами труда. Отсюда возникает необходимость определения оптимального расстояния между разминками. Оптимальным будем считать такое расстояние, которое в итоге обеспечивает наименьшие затраты труда бригады на проходку 1 м выработки.

Время замены груженого вагона порожним (в ч) при проходке: с разминкой

$$t_p''' = 2(x + l)/a; \quad (13.6)$$

участка выработки нормального сечения

$$t_b''' = (x + l)/a, \quad (13.7)$$

где x — расстояние между разминками, м; l — длина разминовки, м; a — скорость откатки вагона, м/ч.

Количество человеко-смен в среднем на проходку 1 м готовой выработки

$$Q = (B_1 x + B_2 l + R)/(x + l), \quad (13.8)$$

где B_1 — количество человеко-смен, затраченных на проходку 1 м выработки на участке, расположенном между разминками; B_2 — количество человеко-смен, в среднем затраченных на проходку 1 м разминовки; R — дополнительные затраты на оборудование разминовки (настилку второй колеи, укладку переводных стрелок и др.).

$$B_1 = \frac{T_{\text{ц}} n}{L_1 \eta T_c}; \quad B_2 = \frac{T_{\text{ц}} n}{L_2 \eta T_c}$$

(L_1 и L_2 — глубина шпуров при проходке соответственно узкой части выработки и разминовки, м).

Подставим в формулу (13.8) развернутые значения B_1 и B_2 , а затем, чтобы избавиться от оперирования громоздкими выражениями, отдельные части формулы обозначим:

$$z_1 = \frac{T_{\text{ц}} n}{\eta T_c (T_{\text{ц}} - t_{\text{пу}} - t_{\text{пб}} - t_{\text{пз}} - \frac{N'(t' + t'')}{n} - D)};$$

$$z_2 = \frac{T_{\text{ц}} n}{\eta T_c (T_{\text{ц}} - t_{\text{пу}} - t_{\text{пб}} - t_{\text{п}} - \frac{N''(t' + t'')}{n} - D)};$$

$$A = \frac{z_1 S' \eta K}{VR};$$

$$B = z_1 \left(\frac{S' \eta K}{q} + \frac{S' \eta K}{Va} + \frac{N'}{n \omega} \right) + \frac{2z_2 S'' \eta Kl}{Va};$$

$$C = z_2 \left(\frac{S' \eta kl}{q} + \frac{2S'' \eta kl^2}{Va} + \frac{N'' l}{n \omega} \right) + R.$$

Здесь S' и S'' — площадь сечения соответственно выработки и разминовки; N' и N'' — число шпуров соответственно при проходке выработки и разминовки.

Тогда формула для определения трудозатрат (человеко-смена/м) будет иметь вид:

$$Q = A \frac{x^2}{x+l} + B \frac{x}{x+l} + C \frac{1}{x+l}. \quad (13.9)$$

Возьмем производную ($\frac{dQ}{dx}$), приравняем ее нулю и решим относительно x . Получим формулу для определения оптимального расстояния между разминовками (в м)

$$x_{\text{опт}} = \frac{\sqrt{4A^2 l^2 - 4A(Bl - C)} + 2Al}{2A}. \quad (13.10)$$

§ 2. ПРОВЕДЕНИЕ НАКЛОННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Технология проведения наклонных выработок сверху вниз мало чем отличается от технологии проведения горизонтальных выработок. Особенности выполнения отдельных проходческих операций определяются наклонным положением выработки. Возникает необходимость в организации водоотлива, устройстве специальных ограждений от сорвавшихся вагонеток в случае обрыва подъемного каната или случайной отцепки, а также специальных решений для обеспечения маневров погрузочных машин в призабойном пространстве.

При наклоне выработок до 8° для погрузки породы применяют все машины, которые используют при проходке горизонтальных выработок. В выработке с наклоном более 8° используют машины на гусеничном ходу. Для лучшего сцепления с почвой на их траки надевают прорезиненные ленты. Иногда для таких уклонов приспособливают обычные погрузочные машины на рельсовом ходу. К ступицам их колес прикрепляют небольшие барабаны. На них наматывают тросики, противоположные концы которых крепят к шпалам на 20–30 м от забоя. Тросики, наматываясь на барабаны, исключают пробуксовывание колес при их вращении. При наклоне выработки больше 15° у погрузочных машин типа механической лопаты порода из ковша уже не высыпается, а при погрузке машинами с передаточными конвейерами порода скатывается с конвейеров вниз.

Для проходки крутых уклонов разработана машина с грейферным грузчиком КНС-1. Машина представляет собой тележку, на которой смонтирована поворотная плита со стрелой. К стреле подвешивается грейфер, и они перемещаются в горизонтальной и вертикальной плоскостях при помощи гидравлических цилиндров. На другой стороне тележки установлена лебедка с электроприводом, обеспечивающая передвижение машины вдоль выработки. На тележке расположен пульт управления и сидение для машиниста. После захвата породы грейфером машина оттягивается от забоя на 2–3 м и разгружается в вагон или скип, установленный на второй колее. Затем снова подается на забой для очередного захвата породы — цикл повторяется. Вагоны и скипы крепятся к канатам и выдаются лебедкой на рабочий горизонт или поверхность.

У забоя наклонной выработки устраивают предохранительный барьер для ограждения в случае срыва подъемных сосудов. Дополнительно на колее устанавливают стопоры-ловители, которые не препятствуют движению сосудов, следующих с нормальной скоростью, а срабатывают они автоматически только при скатывании сосудов со скоростью выше допустимой. Вода, накапливающаяся в забое, откачивается насосом, эрлифтом или гидроэлеватором.

§ 3. СТОЛЫ ШАХТ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Столбы шахт имеют прямоугольную или круглую форму сечения. При прямоугольной форме более полно используется сечение столба для размещения оборудования: подъемных сосудов, лестничного отделения, трубопроводов и пр. Однако столб крепится деревом, которое недолговечно и при длительной эксплуатации шахты (более 10 лет) повышаются затраты на поддержание и ремонт крепи. Так как дерево становится все более дефицитным, использование его в качестве крепи может быть оправдано при проходке неглубоких разведочных столбов шахт с ограниченным сроком эксплуатации и в районах, где лес является подручным материалом, а снабжение цементом и гравийно-песчаной смесью затруднено.

Столбы круглого сечения крепят монолитным бетоном или тубингами. В отличие от прямоугольных столбов здесь можно применять индустриальные методы проходки. Неизбежное увеличение площади сечения столба по сравнению с той, которая необходима только для размещения оборудования, в большинстве случаев оказывается полезным, так как повышается воздухопропускная способность шахты и, следовательно, улучшаются условия проветривания подземных горных выработок.

Схемы проходки стволов шахт круглого сечения

Схема проходки определяет взаимосвязь во времени и в пространстве основных видов работ: удаление разрушенной породы и возведение постоянной крепи. Применяются три схемы проходки: последовательная, параллельно-щитовая, совмещенная (совместная).

Последовательная схема — ствол проходится участками глубиной 30—40 м. Очередной участок сперва углубляется с временным креплением, после чего снизу вверх на всю высоту возводят постоянную монолитную бетонную крепь. Временную крепь при этом снимают, оставляют ее в бетоне только в очень слабых породах.

Последовательная схема отличается большими непроизводительными затратами, связанными с возведением и снятием временной крепи, устройством и последующей разборкой деревянной опалубки. Много времени тратится на приведение призабойного участка ствола в безопасное состояние — удаление кусков породы с колец временной крепи, заброшенной туда взрывом. Скорость проходки готового (закрепленного) ствола обычно не превышает 30 м в месяц. Последовательная схема применяется редко, например, для проходки устья ствола или углубки ствола на очередной рабочий горизонт.

Параллельно-щитовая схема — схема, при которой работы по выемке породы и постоянному креплению ведутся одновременно. Постоянная бетонная крепь наращивается вслед за проходкой с подвешного проходческого полка, находящегося на высоте 30—35 м над забоем. Для предохранения людей от возможных обрушений пород незакрепленные стенки ствола между полком и забоем ограждаются круглым металлическим щитом, подвешенным на канатах.

Порядок выполнения работ при параллельно-щитовой схеме следующий: забой углубляется на высоту передвижной опалубки (3—3,5 м), затем последовательно на такое же расстояние опускают металлический щит, подвешной проходческий полки, передвижную металлическую опалубку, которую устанавливают непосредственно на подвешной полки. Заопалубочное пространство заполняют быстротвердеющей смесью до стыка с ранее возведенной бетонной крепью. Следует отметить, что длинные щиты служат только ограждением и не могут предотвратить обрушения породных стенок ствола. При вывалах щиты часто заклиниваются, что приводит к серьезным производственным осложнениям, иногда их приходится демонтировать.

Одновременная работа по углубке и креплению на двух уровнях предъявляет повышенные требования к мерам безопасности и организации труда. К параллельно-щитовой схеме прибегают эпизодически в случае необходимости достижения высокой скорости проходки. В 1969 г. на шахте № 17-17-бис после тщательной технической и организационной подготовки за месяц был пройден 401 м готового ствола. Такой скорости до этого и после нигде в мире не достигали.

Совмещенная схема — ствол проходится короткими заходками

по 3—4 м сразу с постоянным креплением. Работы выполняются в следующем порядке: как только уровень отбитой породы в процессе ее удаления понизится от конца забетонированной части ствола на рабочую высоту передвижной металлической опалубки, уборка прекращается. На специально оставленный слой породы опускают и устанавливают опалубку. Заопалубочное пространство заполняют быстротвердеющей смесью до стыка с ранее возведенной бетонной крепью. После этого оставшуюся под опалубкой породу убирают и приступают к бурению штуров для углубки ствола.

Совмещенная схема исключает необходимость временного крепления ствола, свободна от отмеченных недостатков параллельно-щитовой схемы, технологична, более безопасна. Производительность труда забойной группы рабочих при этой схеме выше, чем при последовательной и параллельно-щитовой. В настоящее время стволы в основном проходят по совмещенной схеме.

Операции проходческого цикла

Подготовка к удалению породы. После проветривания подключают освещение, осматривают ствол, приводят в рабочее состояние подвесной проходческий полук и погрузчик, удаляют породу, заброшенную взрывом на оборудование, опускают подвесной насос, при необходимости разравнивают породу для установки первой бады перед загрузкой.

Удаление породы. Для погрузки породы применяют грейферные пневмопогрузчики. По способу управления они делятся на погрузчики с ручным вождением грейфера и погрузчики с механизированным вождением грейфера. Погрузчик с ручным вождением подвешивают к канату, опущенному с барабана специальной пневматической лебедки, установленной на подвесном полке. Он состоит из грейфера, пневматического подъемника и системы управления ими.

Грейфер представляет собой короткий цилиндр относительно большого диаметра, в котором перемещается поршень со штоком. К концу штока шарнирно подсоединены рычаги лопастей. При помощи трехходового крана, установленного на ручке вождения погрузчика, сжатый воздух подается в верхнюю или нижнюю часть цилиндра. В зависимости от этого поршень со штоком движется вниз или вверх. При движении поршня вниз шток, действуя на рычаги, раскрывает лопасти, при движении вверх закрывает их — происходит захват породы. Загруженный грейфер поднимается пневмоподъемником на высоту бады и усилием двух-трех проходчиков надвигается на нее для разгрузки. Грейферный погрузчик с ручным вождением применяется обычно в стволах диаметром до 5 м.

Для проходки стволов большего диаметра используют погрузчик с механическим вождением. Он состоит из грейфера, кругового и радиального монорельсов, тельфера, кабины для машиниста. Грейфер подни-

мается пневматическим тельфером, перемещаемым по радиальной раме — балке. Рама в свою очередь вращается вокруг оси ствола при помощи тележки поворота, ролик которой катается по круговому монорельсу. Таким образом, грейфер может одновременно перемещаться по радиусу и вместе с рамой вокруг оси ствола, что обеспечивает захват и разгрузку породы в любой точке забоя.

Подготовка к бурению. После очистки забоя от породы с поверхности доставляют перфораторы, шланги и буровой инструмент. На забой опускают отвес. В центре забоя бурят короткий шпур, в него забивают колышек, от которого специальным шаблоном-рейкой размечают шпур. К воздухораспределителю подсоединяют шланги, к ним перфораторы и приступают к бурению.

Бурение шпуров. Шпуров в забое располагают по концентрическим окружностям. Диаметр окружности вруба (в м)

$$D_{\text{в}} = (0,3 \div 0,4) D_{\text{ч}},$$

где $D_{\text{ч}}$ — диаметр ствола в черне, м.

Оконтуривающие шпуров закручивают на расстоянии 15–20 см от породных стенок ствола. Общее число окружностей принимают такое, чтобы расстояние между ними было 0,6–0,8 м. Необходимое число шпуров определяют так же, как для горизонтальных выработок. Шпуров распределяют по окружностям пропорционально их длинам.

Расстояние между шпурами (в м)

$$a = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{N}, \quad (13.11)$$

где $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ — длины первой, второй, третьей и n -ой окружностей, м; N — общее число шпуров в забое.

Число шпуров на окружностях

$$N_1 = a l_1; N_2 = a l_2; N_3 = a l_3 \dots$$

Шпуров бурят ручными или колонковыми перфораторами. Последние перемещаются по направляющим, установленным на манипуляторах. Манипуляторы закрепляют на опорной колонне. Таким образом, три-четыре перфоратора вместе с направляющими и манипуляторами объединяются в одну конструкцию, получившую название бурильная установка БУКС-М или БУКС-2М.

Подготовка к заряданию шпуров. Перед заряданием забой освобождают от бурового оборудования и инструмента. Все ненужное для зарядания поднимают на поверхность. Шпуров очищают сжатым воздухом. Затем опускают в бадью последовательно ВВ, боевики и забоечный материал — глину или гранулированный шлак.

Зарядание шпуров. Для взрывания шпуров при проходке стволов в основном применяют скальный аммонит. Он обладает высокой мощностью, устойчив к воде, имеет большую объемную массу. Патроны

прессованного скального аммонита хорошо проваливаются в шпур, вытесняя воду. Это облегчает зарядание и повышает качество заряда. При необходимости патроны досылают в шпур легким нажатием деревянной штанги (тромбовником).

Для подключения электродетонаторов над забоем натягивают на колышках два оголенных провода — антенну, к которой присоединяют концы жил электровзрывного кабеля. Колышки вставляют в свободную часть устьев заряженных шпуров. Антенна должна находиться на такой высоте, чтобы при выключенном насосе она не оказалась в воде в момент взрыва.

Крепление ствола. Бетонная смесь должна удовлетворять требованиям принятой технологии: не схватываться и не расслаиваться в процессе транспортировки, обладать хорошей подвижностью, набирать достаточную прочность к моменту снятия опалубки.

С поверхности бетонная смесь самотеком спускается по трубам и сразу направляется в заопалубочное пространство. Для равномер-

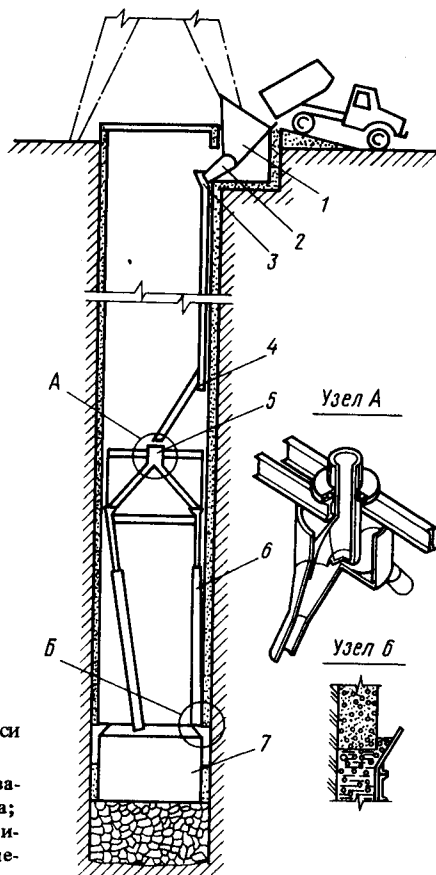


Рис. 13.1. Схема подачи бетонной смеси в ствол:

1 — приемный бункер; 2 — секторный затвор с лотком; 3 — приемная воронка; 4 — гаситель скорости; 5 — распределитель бетонной смеси; 6 — телескопические бетоноводы; 7 — опалубка

ного распределения ее за опалубкой применяют разные устройства. В одном случае смесь после гашения скорости падения направляется через отверстие в центре полка и по гибкому рукаву, собранному из конусных отрезков труб, или телескопическому лотку за опалубку. В другом случае смесь вначале попадает в распределитель, установленный под верхним перекрытием подвешенного проходческого полка, откуда поочередно в один из двух телескопических бетоноводов, расположенных у стенок ствола, а через них — за опалубку (рис. 13.1). Нижние трубы телескопических бетоноводов подвешиваются к пневматическим лебедкам, установленным на полке.

В рассматриваемом варианте бетонная смесь за опалубкой распределяется непосредственно с подвешенного проходческого полка при отсутствии людей в забое. Нижний конец трубы телескопического бетоновода отклоняется и заводится за козырек опалубки при помощи вспомогательного тросика и притормаживающего приспособления. После чего нижняя труба периодически приподнимается лебедкой. При этом ее конец скользит за козырьком опалубки до тех пор, пока она не примет вертикальное положение. При дальнейшем подъеме нижняя труба выходит из-за козырька, после чего отклоняется на четверть периметра опалубки в другую сторону и процесс перемещения бетоновода повторяется. Другая половина опалубки аналогично обслуживается вторым бетоноводом.

Армирование. Элементы армировки — расстрелы, проводники подъемных сосудов, лестничное, трубное и кабельное отделения. Проводники крепятся к расстрелам. Расстрелы и лестничные полки, установленные в одной горизонтальной плоскости, составляют ярус армировки. Расстояние между ярусами (шаг армировки) принимается таким, чтобы стыки проводников располагались на серединах расстрелов. В случае использования рельсов в качестве проводников расстояние между ярусами равно трехкратной или четырехкратной стандартной длине одного звена рельсов.

Между лестничными полками устанавливают лестницы. Размеры лазов в полках по длине лестницы 700 мм, по ширине 600 мм. Указанные размеры рассчитаны на свободное движение людей в респираторах. Лазы на смежных полках смещены относительно друг друга, что предупреждает травмирование людей при случайном падении сверху предмета. Лестничное отделение ограждается от других досками или металлической сеткой.

К армированию ствола приступают после его проходки и крепления на полную глубину. Имеются примеры, когда армирование осуществляли одновременно с проходкой. Однако такой способ широкого распространения не получил.

Перед армированием ствол частично переоснащают. В зависимости от расположения элементов армировки по-новому размещают некоторое оборудование в сечении ствола, что влечет перестановку шкивов на копре. Частично реконструируют подвешной проходческий полук, демонтируют передвижную металлическую опалубку. Подвешной про-

ходческий полок поднимают к поверхности, попутно разбирают трубопроводы. Вместо прежней нулевой площадки устанавливают первый ярус армировки — шаблон под контролем маркшейдера. Элементы остальных ярусов устанавливают по отвесам, опущенным с яруса — шаблона.

В стволах, закрепленных бетоном, расстрелы своими концами заводятся в лунки, выдолбленные в крепи. Для укладки центральных неразъемных расстрелов одна из лунок (заводная) должна быть большего размера. Расстрелы закрепляют в лунках металлическими клиньями строго по отвесам. Затем на лунки устанавливают опалубку, и концы балок заливают песчано-цементным раствором. Параллельно наращивают трубопроводы, которые крепят к расстрелам или к стенкам ствола при помощи анкерных болтов, устанавливают лестничный полок, лестницу и ограждение. Все монтажные работы выполняют с верхнего этажа подвешного проходческого полка. Одновременно с нижнего этажа долбят лунки под расстрелы очередного яруса. Затем подвешной проходческий полок опускают на очередной шаг армировки и цикл работ повторяется.

Обычно организуют работу так, чтобы ярус армировки устанавливался за рабочую смену. Это повышает ответственность каждого звена бригады за количество и качество работ по армированию.

Проводники можно наращивать непосредственно с подвешного проходческого полка по мере установки расстрелов (параллельная схема армирования). Однако к навеске проводников чаще приступают по окончании установки расстрелов на всю глубину ствола. В этом случае проводники наращивают снизу вверх со специальных подвешных люлек.

Вспомогательное оборудование для проходки ствола. Для освещения ствола применяют специальные светильники. Освещают забой, подвешной проходческий полок и пройденную часть ствола. Число и мощность ламп определяют, исходя из норм освещения. Норма освещения забоя и каждого этажа подвешного полка — 15 лк. По всему стволу выше подвешных полков через каждые 30 м монтируют электрические лампочки мощностью не менее 50 Вт каждая.

Спасательная лестница должна находиться в призабойном пространстве. Длина ее принимается такой, чтобы можно было одновременно разместить на ней всех рабочих смены. Связь между забоем и поверхностью ствола осуществляется при помощи радио, телефона и ударно-звуковых сигналов.

§ 4. БУРЕНИЕ СТВОЛОВ ШАХТ

Способ проходки ствола бурением относится к наиболее прогрессивным, исключаям присутствие людей в стволе шахты, позволяет полностью механизировать все операции. В крепких породах бурят установкой УБК с извлечением керна.

Буровой снаряд представляет собой перевернутый металлический стакан диаметром, равным диаметру ствола. По торцу снаряда крепятся

шарошечные долота (колеса). При вращении снаряда порода разрушается долотами по периметру ствола, образуя кольцевую щель. Вращение буровому снаряду от двигателя, установленного на площадке копра, передается через бурильную колонну.

Перед поступлением на поверхность керн подрезается выдвижными кронштейнами, установленными в буровом снаряде. Вместе с буровым снарядом керн поднимается на поверхность лебедкой при помощи талевой системы, подвешенной к копру. Породная мелочь, образующаяся в процессе бурения, удаляется глинистым раствором. Им же закрепляются стенки ствола на время проходки.

Для проходки ствола в породах ниже средней крепости ($f < 4$) применяют установки полного разрушения забоя — УЗТМ-7,5 и УЗТМ-8,75. Этими установками ствол бурят в несколько приемов (фаз). В первую фазу проходят скважину диаметром 3,5 м, затем ее расширяют до 5,75 м, а потом до проектного размера. Установки рассчитаны на глубину бурения до 800 м.

Крепление осуществляется также без присутствия людей в стволе. Секцию крепи высотой 10–15 м собирают из железобетонных тубингов на передвижной платформе в районе копра и опускают в ствол при помощи прицепного устройства на бурильной колонне. Там ее устанавливают на ранее опущенную секцию, а освободившуюся бурильную колонну поднимают на поверхность для спуска очередной секции крепи. Зазор за крепью заполняется цементно-песчаным раствором. После крепления откачивают глинистый раствор и приступают к армированию ствола в обычном порядке.

§ 5. ПРОХОДКА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СТВОЛОВ ШАХТ

Стволы прямоугольного сечения крепят деревянными венцами, которые представляют собой прямоугольные рамы из брусев. Различают сплошную венцовую крепь, когда венцы устанавливают вплотную друг к другу, и венцовую крепь на стойках высотой 1–1,5 м. Во втором случае между венцами располагают затяжку.

Стволы проходят короткими участками. Сначала вынимают породу до глубины 10–16 м. Затем с навала взорванной породы в стенках ствола выдалбливают лунки, в которых закрепляют опорные венцы. На них устанавливают остальные до примыкания к ранее закрепленному участку ствола. Таким образом, работы по выемке породы и креплению осуществляются последовательно. Порода вынимается сверху вниз, а крепление идет снизу вверх.

Величину заходки выбирают в зависимости от устойчивости стенок ствола. Однако делать большие заходки не рекомендуется, так как контроль за состоянием незакрепленных пород, находящихся высоко над забоем, затрудняется. Более безопасные условия обеспечиваются при применении подвесной венцовой крепи. Эта крепь наращивается сверху вниз вслед за проходкой. Брусья очередного венца подвешивают

к ранее установленному на крючьях с легкого подвесного полка. Между венцами устанавливают стойки. Крючья имеют резьбу с гайками, при помощи которых венцы стягиваются и вместе со стойками создают устойчивую пространственную конструкцию. Контроль за точностью установки крепи осуществляется по отвесам, пропущенным в углах ствола.

Венцы центрируют и закрепляют деревянными клиньями, забиваемыми между брусками и стенками ствола. За венцами размещается затяжка, изготовленная из досок. Закрепляются они также клиньями. Зазор между затяжкой и стенкой ствола заполняется породной мелочью (забутовкой). После закрепления участка ствола на 4—6 м (расстояние между лестничными площадками) проводится армировка: настилают лестничную площадку, устанавливают лестницу, ограждают лестничное отделение досками, навешивают на расстрелы проводники, наращивают трубопроводы.

Бадьи поднимают в клетевых отделениях. Направляющая рамка бадьи движется по постоянным проводникам. Для погрузки породы используют грейферный погрузчик с ручным вождением. Лебедку для подвески погрузчика устанавливают на временном полке, настилаемом на расстрелах армировки. По мере проходки ствола его переносят ближе к забою. Шпурь бурят ручными перфораторами.

§ 6. ПРОВЕДЕНИЕ ШУРФОВ

Шурфы проходят обычно на небольшую глубину (10—20 м). Срок службы их ограничивается временем проходки и отбором геологических проб. Часто шурфы закладывают в местах, где нет дорог, доставка туда специального оборудования и материалов затруднена. Поэтому наряду с механизированными способами распространена технология проходки с применением ручного труда.

При проходке вручную породу в забое разрыхляют отбойными молотками, кайлами и грузят лопатами в бадьи небольшой вместимости ($0,04 \text{ м}^3$). При необходимости породу предварительно разрыхляют взрывами малых зарядов. Породу поднимают ручными воротами. На проходке шурфа работают обычно три человека — один в забое, двое на поверхности.

В устойчивых породах крепят только устье шурфа, в неустойчивых возводят венцовую крепь вслед за проходкой. Вода поднимается бадьями, при значительных притоках — центробежными насосами. При глубоких шурфах (более 20 м) для подъема породы используют шурфопроходческие краны и специальные подъемники. В шурфе оборудуют лестничное отделение. Отделение для подъема бадьи сплошную обшивается досками во избежание зацепа бадьи за выступающие части крепи во время движения. Глубокие шурфы площадью сечения 6 м^2 и больше проходят и крепят так же, как прямоугольные стволы шахт.

§ 7. ПРОХОДКА РАЗВЕДОЧНЫХ КАНАВ

Канавы относятся к самому распространенному виду геологоразведочных выработок. В Советском Союзе за год проходят в среднем 15—16 млн. м³ этих выработок. Глубина разведочных канав в основном не превышает 3 м, длина в зависимости от методики разведки месторождения колеблется в пределах от 5 до 100 м и более. Форма канав может быть прямоугольная, трапециевидная, ступенчатая. Она зависит от устойчивости породы и технологии проходки, в частности, от применяемых механизмов и машин. Выбор способа проходки часто диктуется доступностью места заложения выработки колесному и гусеничному транспорту.

Ручная проходка применяется там, где по каким-либо причинам нельзя использовать другие более прогрессивные способы. Породу разрыхляют кайлами, ломками и выкидывают лопатами непосредственно на борта канавы. При проходке глубоких канав породу грузят в бады небольшого объема и вынимают ручным воротом, который устанавливают над канавой у торцевого забоя. По мере проходки выработки ворот также передвигается. Стенки канавы крепят досками на распорах (рис. 13.2).

Распространено проведение канав взрывами на выброс. Для размещения зарядов на глубине проходят шурфы. В основании шурфов рассекают камеры, куда закладывают взрывчатое вещество. После монтажа взрывной сети шурфы засыпают ранее вынутой породой, при этом электрические провода или детонирующие шнуры должны быть надежно защищены от ударов кусками породы. Их размещают у стенки и ограждают деревянными желобами, сбитыми из досок.

Наилучшие технико-экономические показатели проходки разведочных канав получают при использовании бульдозеров, канавокопателей, экскаваторов и скреперов. Однако эти механизмы имеют свои недостатки. При проходке канавы бульдозером вынимают значительно больший объем породы, чем предусмотрено проектом. Экскаваторы нельзя применять на подъемах более 15° и косогорах более 5°. Канавокопатели невозможно использовать на местности, имеющей сложный профиль: глубина копания ими не превышает 1,2 м. Для скреперных установок необходим электрический привод.

В ряде геологических партий созданы самоходные скреперные ус-

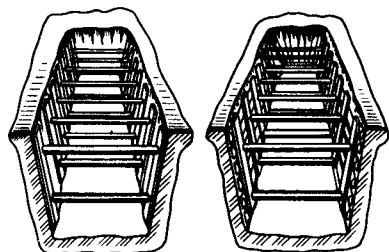


Рис. 13.2. Схема крепления разведочной канавы

тановки на базе гусеничных тракторов. Работа скреперных лебедок здесь обеспечивается двигателем трактора. Вал отбора мощности трактора соединен с валом редуктора скреперной лебедки цепной передачей. Канаву проходят заходками 25–30 м. Производительность труда на одного проходчика за смену составляет 12–14 м³, что в 3–4 раза больше, чем при проходке вручную в таких же условиях, стоимость проходки снижается только на 30 %.

§ 8. ПРОВЕДЕНИЕ ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Проходка выработок по неустойчивым и сильно обводненным породам осуществляется специальными способами, сущность которых заключается в создании вокруг ствола искусственных ограждений от воды и неустойчивых пород. К ним относятся проходка ствола с забивной или опускной крепью, замораживанием горных пород, предварительным тампонированием и искусственным водопонижением.

Проходка ствола с применением забивной крепи

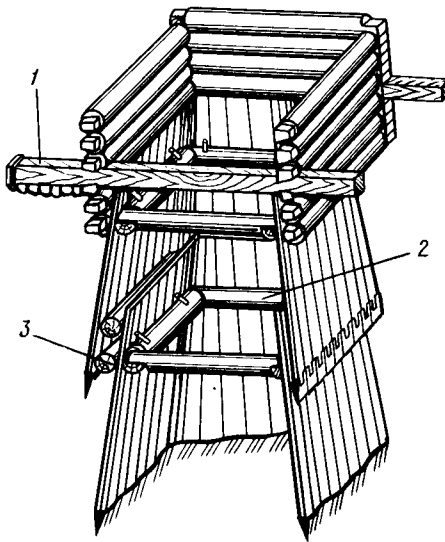
При проходке устья ствола часто встречаются весьма неустойчивые породы: лессовые глины, насыщенные водой, или плывуны. Увлажненные плотные лессовые глины, на первый взгляд кажущиеся устойчивыми, вскоре после вскрытия разбухают и отваливаются от стенок ствола большими глыбами и сами по себе разрушаются и превращаются в грязь. Если не предпринять экстренных мер по закреплению глин, процесс обрушения их прогрессирует и распространяется на верхние слои пород. В результате образуются большие пустоты за ранее установленной крепью, что может привести к ее разрушению.

Еще более сложные условия возникают при пересечении плывунов — пород, состоящих из мельчайших глинистых частичек, находящихся в воде во взвешенном состоянии. Чтобы избежать больших осложнений, необходимо заранее готовиться к проходке ствола. Перед проходкой неустойчивых пород по всему контуру ствола через оставленный на границе с неустойчивыми породами целик 0,5–1 м забивают деревянные или металлические шпунты, подогнанные друг к другу, создавая таким образом сплошное ограждение.

Деревянное ограждение применяется при мощности водоносного пласта не более 5 м, металлическое — 15 м и отсутствии в породах крупных включений — валунов. Для забивки шпунтов устраивают направляющие — спаренные металлические кольца или венцы с зазорами, через которые пропускают шпунты. Шпунты забивают кувалдой, механическими молотами, вибромолотами, вибропогружателями.

При проходке плывунов шпунты забивают сразу на всю их мощность до внедрения в подстилающие породы. Для установки прямых

Рис. 13.3. Забивная крепь (косая)



шпунтов ствол до границы с пльвунами должен иметь увеличенный диаметр. Плотные, но неустойчивые сырые глины проходят короткими заходками по 1,2–1,5 м. На каждом участке воздвигают свой ряд шпунтового ограждения. Чтобы не допустить сужения выработки шпунты забивают под углом 70–75°. Направление их выдерживается при помощи вспомогательных 2 и коренных 1 венцов (рис. 13.3).

Размеры коренного венца соответствуют размерам основных венцов. После заглубления шпунтов на половину их длины в пройденной части ствола устанавливают временный промежуточный венец 3, затем шпунты погружают на всю длину и под их прикрытием вынимают оставшуюся породу. Далее устанавливают новый ряд шпунтов для дальнейшей углубки.

Проходка ствола с применением опускной крепи

Ствол до водоносных неустойчивых пород должен иметь увеличенный на 0,4–0,5 м диаметр в свету. Не доходя до слабых пород на 1–1,5 м, проходку останавливают, на забое монтируют режущий башмак, который собирают из железобетонных или чугунных сегментов. На башмаке возводят колонну крепи из железобетонных тюбингов или монолитного бетона. По мере возведения крепи башмак под ее тяжестью внедряется в породу. В пльвунах и других водоносных породах с притоком не более 12 м³/ч ствол проходят без водоотлива. Породу поднимают в бадьях, грунточерпателем или гидроэлеватором.

По разным причинам в процессе опускания происходит перекося крепи. Его устраняют следующими способами: дополнительно загружают отстающую сторону крепи, одновременно замедляют перемещение опе-

режающей стороны, подкладывая под нее брусья, которые потом убирают; ускоряют проседание отстающей стороны путем подмыва породы через трубы, которые специально устанавливают для этого по периметру опускаемой крепи.

Для снижения трения боковой поверхности крепи об окружающую породу кольцевое пространство за крепью заполняют тиксотропным глинистым раствором. После проходки неустойчивых пород под колонной опущенной крепи возводят опорный башмак из монолитного бетона, после чего он становится частью постоянной крепи.

Проходка шахтных стволов с предварительным замораживанием горных пород

Суть этого способа заключается в ограждении ствола на время его проходки ледопородным цилиндром с достаточно толстыми стенками для надежной защиты от проникновения воды и неустойчивых пород. Вокруг ствола на расстоянии 1–1,2 м друг от друга бурят скважины, в которые опускают замораживающие колонки, состоящие из заглушенной снизу стальной трубы диаметром 146 мм. Внутри ее размещается труба меньшего диаметра (40–60 мм). В устье колонки устанавливают головку, обеспечивающую ввод и вывод рассола при его циркуляции. Охлажденный в ванне рассол подается насосом вниз замораживающей колонки по внутренней трубе, оттуда по кольцевому зазору между трубами он поднимается вверх, охлаждая стенки внешней трубы, а через них породы вокруг скважины. Раствор из скважины направляют в ванну, где он охлаждается и снова подается в замораживающую колонну.

Замораживающие станции оборудуют холодильными машинами, которые состоят из четырех основных элементов: компрессора, конденсатора, регулирующего вентиля и испарителя. В качестве хладагента используется аммиак. Холодильная машина работает по следующему циклу: пары аммиака компрессором отсасываются из испарителя и сжимаются до 8–12 МПа. Сжатые и, следовательно, имеющие высокую температуру газы аммиака подаются в конденсатор, где отдают тепло воде, которая омывает трубы конденсатора; в результате аммиак из газообразного переходит в жидкое состояние.

Жидкий аммиак через регулирующий вентиль подается в испаритель, который представляет собой батарею коротких труб с большим суммарным сечением. Благодаря перепаду давления в испарителе жидкий аммиак снова превращается в газообразный с резко сниженной температурой. Затем он отсасывается в компрессор, где вновь сжимается и, таким образом, цикл повторяется. Испаритель погружается в ванну с рассолом, где интенсивно охлаждает последний для подачи его в замораживающие колонки.

Различают периоды активного и пассивного замораживания. Активное замораживание — это процесс создания ледопородного цилиндра до проходки ствола, пассивное — процесс его поддержания на период

проходки и крепления ствола. На активное замораживание тратится много времени (2–4 мес), тем не менее способ проходки ствола с предварительным замораживанием относится к наиболее надежным.

Проходка ствола с искусственным водопонижением

Способ проходки с искусственным водопонижением заключается в понижении уровня воды в районе проходки ствола за счет активной ее откачки глубинными насосами. Вокруг места заложения будущего ствола бурят серию скважин, в которых размещают насосы. Расстояние между скважинами определяется водопроницаемостью пород и колеблется в пределах 1,5–2 м. В результате одновременной работы всех насосов образуется депрессионная воронка, исключающая приток воды в ствол во время проходки. Сложности возникают при проходке участка рыхлых пород на границе водоупорных глин.

Проходка ствола с предварительным тампонированием

Тампонирование применяется при проходке крепких пород, имеющих открытые трещины, по которым вода может в больших количествах поступать в ствол. Трещины под давлением заполняют тампонажным материалом. В зависимости от применяемого материала процесс тампонирувания получил названия: цементирование, глинизация, битумизация. Наибольшее распространение получило цементирование – нагнетание в трещины цементного или цементно-песчаного раствора. Когда трещиноватые породы имеют большую мощность и залегают не глубоко, цементирование проводят с поверхности, в других случаях – из забоя ствола.

Для обеспечения надежного заполнения трещин цементирование с поверхности ведется ограниченными заходками по 20–50 м. Сперва цементируют верхний участок, после некоторой выдержки цементно-песчаные пробки разбуривают и скважину углубляют на новую заходку, цементируют следующий участок и так пока не закончится вся мощность трещиноватых пород. Перед нагнетанием раствора трещины промывают водой. О степени трещиноватости и характере трещин судят по удельному водопоглощению (в $\text{м}^3/\text{м} \cdot \text{Па}$)

$$b = Q/h p, \quad (13.12)$$

где Q – расход воды, нагнетаемой в скважины, м^3 ; h – глубина заходки для цементирования, м; p – давление воды на уровне цементируемого участка пород, Па.

Консистенция цементного раствора принимается в зависимости от удельного водопоглощения.

При цементировании горных пород из забоя цементационные скважины бурят по окружности, отступая от стенок ствола на 70–80 см. Диаметр их зависит от типа бурового оборудования. Направление сква-

жинам задают такое, чтобы как можно больше пересечь крутопадающих трещин. Тангенциальный угол их составляет преимущественно 110–135°, а зенитный выбирают таким, чтобы концы их выходили за контур проектного сечения ствола на 1,5–2 м. Тампонируют осуществляют заходками по 25–30 м. На первой заходке раствор нагнетают под защитой бетонной подушки, укладываемой на забой. Толщину ее рассчитывают на максимальный напор, создаваемый насосом, обычно она равна 2–2,5 м. В дальнейшем подушку обычно не устраивают и вместо нее оставляют участок 6–8 м, ранее зацементированных пород.

§ 9. ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

При проведении горных выработок взрывные работы выполняются на основе паспорта буровзрывных работ (БВР). Разработанный паспорт БВР проверяется серией опытных взрывов, корректируется и утверждается главным инженером и является в дальнейшем официальным документом, на основе которого проводят буровзрывные работы. Составление паспорта БВР сводится к выбору и определению типа буровой машины, диаметра и глубины шпуров, типа ВВ, способа заряжания, удельного расхода ВВ, количества ВВ и шпуров на цикл, расположения шпуров в забое, углубки забоя за взрыв, способа взрывания и конструкции заряда. По найденным значениям определяют показатели проходки выработки — объем буровых работ, объем разрушенной породы, расход средств взрывания и т.д.

Тип буровой машины. Буровые машины выбирают с учетом свойств горных пород, вида выработки и площади ее поперечного сечения, стоимости оборудования, возможности его приобретения и доставки на объекты работ. В горизонтальных и наклонных выработках небольшого сечения используются ручные перфораторы, устанавливаемые на пневмоподдержках, в восстающих выработках, проходимых снизу вверх, — телескопные перфораторы, в вертикальных выработках, проходимых сверху вниз, — ручные перфораторы без пневмоподдержек (осевая нагрузка создается весом перфоратора).

При больших объемах горных работ в горизонтальных выработках площадью сечения более 5 м² применяют буровые установки, в шахтных стволах — подвесные буровые агрегаты. Указанное оборудование используется для бурения крепких пород. В слабых породах с коэффициентом крепости по шкале М.М.Протодяконова $f \leq 2/4$ применяют ручные и колонковые сверла.

Диаметр и глубина шпуров. При проведении горных выработок в основном бурят шпуры диаметром 40–46 мм, в которых применяют стандартные патроны ВВ диаметром 32 мм длиной 200 мм и массой 200 г или патроны такого же диаметра, но длиной 250 мм и массой 250 г. В патронах диаметром 36 мм длиной 170 мм и массой 250 г обычно применяют прессованный скальный аммонит № 1.

Разница в диаметрах патронов ВВ и шпуров должна быть минимальной с тем, чтобы обеспечивалась максимальная плотность заряжания. В то же время зазор между патронами ВВ и стенками шпура должен допускать свободный проход патронов и огнепроводного шнура в шпуре по всей его длине.

На глубину шпуров влияют ширина призабойного пространства, крепость пород, способы бурения и т.д. Обычно глубина шпуров определяется из условия цикличности. На практике при проведении выработок с помощью бурения перфораторами и сверлами вручную глубину шпуров принимают 1,5–2 м, а при использовании буровых установок — 2,2–3,5 м.

Способ заряжания. Шпуры заряжают патронами ВВ вручную или гранулированными ВВ механизированным способом. Наиболее распространены порционные пневматические зарядчики ЗП-2, пригодные для гранулированных ВВ — игданитов и гранулитов. При механизированном (пневматическом) заряджении шпуров плотность ВВ в заряде повышается до 1200 кг/м^3 (при заряджении вручную $700\text{--}800 \text{ кг/м}^3$), а вместимость шпуров на 30–50 % выше, чем при патронированных ВВ.

Целесообразность механизации заряжания определяется объемом работ, т.е. чем больше шпуров в забое, тем эффективнее процесс механизации. Ориентировочно пневмозаряжание применяется в выработках площадью сечения 6 м^2 и более.

Тип ВВ обычно выбирают в зависимости от прочностных свойств пород.

Удельный расход ВВ, т.е. количество ВВ, необходимое для разрушения единицы объема горной породы, во многом зависит от ее свойств, площади сечения выработки, типа ВВ и принимается по справочным таблицам. За эталонное ВВ обычно берут аммонит 6ЖВ. Расход остальных ВВ корректируется сопоставлением их работоспособности со стандартным. Удельный расход ВВ (в кг/м^3) можно также определить по формуле М.М. Протождяконова с поправкой В.И. Богомолова:

$$q = 1,6e \sqrt{f/S}, \quad (13.13)$$

где e — коэффициент работоспособности, представляющий собой отношение работоспособности аммонита 6ЖВ к работоспособности принятого ВВ; f — коэффициент крепости горных пород по шкале М.М.Протождяконова; S — площадь поперечного сечения выработки, м^2 .

Количество ВВ на цикл. Количество ВВ (в кг) определяют, исходя из площади сечения выработки, глубины шпуров и удельного расхода, ВВ.

$$Q = q V = q S l \eta, \quad (13.14)$$

где V — объем разрушаемой породы за цикл, м^3 ; l — длина шпуров, м; η — коэффициент использования шпуров — отношение величины углубки выработки $l_{\text{ц}}$ к длине шпуров l .

Количество шпуров на цикл должно быть достаточным для эффективного разрушения обуренного объема породы, размещения расчетного количества ВВ и правильного оконтуривания. Наиболее просто число шпуров на цикл N можно вычислить по вместимости одного шпура и количеству ВВ на цикл

$$N = Q/E, \quad (13.15)$$

где E — количество ВВ в одном шпуре, кг

$$E = \frac{\pi d^2}{4} l_{\text{зар}} \Delta, \quad (13.16)$$

где $\pi d^2/4$ — площадь поперечного сечения патрона ВВ (при механизированном зарядании — площадь сечения шпура), м^2 ; $\Delta = 1050-1100$ — плотность ВВ в патроне, кг/м^3 (у скального аммонита № 1 $\Delta = 1450 \text{ кг/м}^3$, при механизированном зарядании плотность укладки ВВ в шпуре составляет $1100-1150 \text{ кг/м}^3$); $l_{\text{зар}}$ — длина заряда ВВ в шпуре, принимается $l_{\text{зар}} = 0,75 \text{ м}$.

Способ взрывания. В зависимости от горно-технических условий применяются три способа взрывания шпуров при проходке выработок: огневой, электрический, электроогневой. Огневой способ используют в выработках, не опасных по газу и пыли; электрический способ — в условиях, опасных по газу и пыли, в выработках большого сечения, шахтных стволах; электроогневой — когда затруднен отход взрывника на безопасное расстояние, при проведении нисходящих и восходящих выработок, в условиях не опасных по газу и пыли.

При выбранном способе определяют количество средств взрывания за цикл: детонаторов и электродетонаторов, огнепроводного шнура, зажигательных патронов и др. При электрическом взрывании рассчитывают электровзрывную сеть. Сила тока, подаваемого на электродетонаторы, должна надежно обеспечивать взрывание всех зарядов. При взрывании переменным током через каждый электродетонатор должен проходить ток не менее $2,5 \text{ А}$, а при взрывании постоянным током — $1,3 \text{ А}$.

При монтаже сети электродетонаторы соединяются по последовательной, параллельной или смешанной схеме. Для горно-разведочных выработок, имеющих, как правило, небольшое поперечное сечение, наиболее приемлемой является последовательная схема соединения электродетонаторов. В качестве источника тока используют конденсаторные или аккумуляторные взрывные машинки. Величина тока, поступающего в каждой электродетонатор при последовательном соединении, определяется по формуле:

$$I = U / (R + nr), \quad (13.17)$$

где U — напряжение источника тока, В; R — сопротивление магистральных и соединительных проводов, Ом; n — число электродетонаторов; $r = 2 \div 9$ — сопротивление электродетонатора, Ом.

Все электродетонаторы, входящие в группу для взрывания, должны иметь одинаковое сопротивление и быть из одной партии. Площадь сечения магистральных медных проводов принимается не менее $0,75 \text{ мм}^2$.

Конструкция заряда шпура. Заряд ВВ в шпуре инициируется патрон-боевиком, который можно располагать: в устьевой части (прямое инициирование); в середине; в донной части (обратное инициирование). Наилучшие результаты углубления выработки получаются при обратном инициировании, несколько хуже — при инициировании в середине заряда.

Все три способа применяются широко, что связано с различием горно-технических условий. Так, при обратном инициировании заряда в случае его отказа патрон-боевик остается в шпуре и представляет собой повышенную опасность, поэтому на ряде предприятий патрон-боевик по условию безопасности располагается в середине заряда. Прямое инициирование обязательно при пневмозаряжении с электрическим способом взрывания, при огневом — любое.

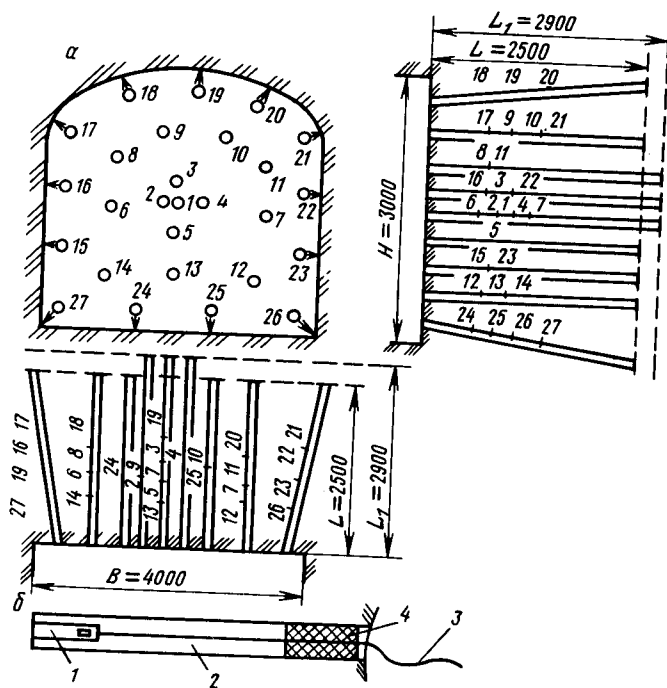


Рис. 13.4. Схемы расположения шпуров *а* и заряда в шпуре *б*:
 цифры 1–27 — порядок взрывания шпуров; B — ширина выработки; H — высота выработки; L_1 и L — глубина врубовых, отбойных (и оконтуривающих) шпуров;
 1 — патрон-боевик; 2 — заряд ВВ; 3 — огнепроводный шнур; 4 — забойка

Более полное использование энергии заряда ВВ достигается при применении забойки. Материалом забойки служат: глина, песок, ампулы с водой, бетон и т. д. Эффективность забойки в значительной мере зависит от прочности материала. Лучшие результаты обеспечивает забойка из бетона. Однако в настоящее время для шпуровых зарядов наиболее широко распространена забойка из глины, так как она наиболее технологична.

На основе рассчитанных параметров буровзрывных работ подсчитывают основные технические показатели, качественно характеризующие проходку данной выработки.

Объем буровых работ на цикл (в м)

$$Z = n_{вр} l_{вр} + (N - n_{вр}) l, \quad (13.18)$$

где $n_{вр}$ — число врубовых шпуров; $l_{вр}$ — глубина врубовых шпуров.

Объем разрушенной породы за цикл (в м³)

$$V = S l_{ц}. \quad (13.19)$$

Расход ВВ на 1 м³ взорванной породы (в кг)

$$q_p = Q/V. \quad (13.20)$$

Удельная углубка шпура, м/м³

$$P_6 = Z/V. \quad (13.21)$$

По рассчитанным параметрам и показателям составляют паспорт буровзрывных работ, в котором также определяют меры безопасности. Основным информационным и иллюстративным элементом паспорта является схема расположения шпуров (рис. 13.4).

§ 10. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БВР НА ОТКРЫТЫХ ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

При проведении канав и траншей буровзрывные работы осуществляются в мерзлых грунтах и породах крепостью $f \geq 3$ по шкале М.М. Протодяконова в породах V категории по буримости. Энергия взрыва используется для разрыхления (дробления) пород с последующей их уборкой экскаваторами, скреперами, бульдозерами и т. д. Канавы проходятся также и взрывами на выброс, когда основная часть разрушенной породы выбрасывается из выработки.

Параметры зарядов при проходке канав взрывом на выброс. При проведении канав взрывами на выброс используют сосредоточенные и удлиненные заряды, размещенные в шпурах. Заряды располагают на таком расстоянии один от другого, чтобы при совместном действии они образовали выемку со сравнительно ровной подошвой. Чаще приме-

няют сосредоточенные заряды выброса, которые рассчитывают по формуле М.М. Борескова,

$$Q_B = q_B e W^3 (0,4 + 0,6 n^3), \quad (13.22)$$

где Q_B — масса ВВ, кг; q_B — удельный расход ВВ, кг/м³; W — длина линии наименьшего сопротивления, м; n — показатель действия взрыва, представляющий собой отношение радиуса воронки взрыва к W (при взрывах на выброс $n > 1$; обычно $n=1,4 \div 1,5$); $e = e_{ЭТ}/e_{ВВ}$ — коэффициент работоспособности ВВ; $e_{ЭТ}$ — эталонное ВВ; $e_{ВВ}$ — применяемое ВВ.

Видимую глубину воронки H_B (в м) при взрывах на выброс в грунтах при $n \leq 2$ рассчитывают по формуле

$$H_B = 0,45 W (2n - 1),$$

а в скальных породах

$$H_B = 0,33 W (2n - 1).$$

При $n > 2$ видимая глубина воронки выброса равна длине линии наименьшего сопротивления ($H_B = W$).

При одновременном взрывании серии сосредоточенных зарядов, расположенных вдоль оси проектной выработки, воронки выброса сливаются и образуют сплошную выемку без перемычек.

Расстояние между зарядами (в м)

$$a = 0,5 W (n + 1). \quad (13.23)$$

Объем полости для размещения сосредоточенного заряда должен иметь соотношение длины к диаметру на более 4:1. Если заряд имеет большую длину, необходимо увеличить диаметр.

Параметры зарядов при проходке канав взрывами дробления. При расчете параметров шпуровых зарядов дробления используются основные принципы ведения взрывных работ. Метод расчета зарядов дробления зависит от значения предельной глубины взрываемого слоя:

$$H_{пр} = \sqrt{2P/q_p(3 - q_p)}, \quad (13.24)$$

где P — вместимость 1 м шпура, кг; q_p — удельный расход ВВ для зарядов дробления.

Если проектная глубина канавы H меньше значения $H_{пр}$, то заряды рассчитывают в следующем порядке.

Общая масса ВВ во всех шпуровых зарядах (в кг)

$$Q_p = q_p b L l, \quad (13.25)$$

где b — ширина канавы по верху, м; L — длина канавы, м; l — глубина шпуров, м

$$l = H/\eta \quad (13.26)$$

($\eta = 0,8 \div 0,9$ – коэффициент использования шпуров).

Число шпуров на всю канаву

$$N = Q_p/E \quad (13.27)$$

(E – масса шпурового заряда, кг).

Общая площадь канавы по верху, m^2

$$S = bL. \quad (13.28)$$

Удельная площадь, приходящаяся на один заряд,

$$S' = S/N. \quad (13.29)$$

Расчетная длина линии наименьшего сопротивления (в м)

$$W = \sqrt{S'/m} \quad (13.30)$$

($m = 0,7 \div 1,2$ – коэффициент сближения).

Расстояние между зарядами в ряду (в м)

$$a = \sqrt{S' m}. \quad (13.31)$$

Если глубина канавы более $H_{пр}$, т.е. $H > H_{пр}$, расстояние между зарядами в ряду (в м)

$$a = m\sqrt{P/q_p} \quad (13.32)$$

($m = 0,7 \div 0,9$).

Длина забойки $l_{заб}$ принимается равной 15–20 диаметрам заряда.

Длина перебура $l_n = 0,5 q_p a$. Глубина шпуров $l = H + l_n$. Масса заряда $Q_{ш} = P(l - l_{заб})$.

При проходке траншей взрывные работы осуществляются скважинными или шпуровыми зарядами, взрыванием на дробление с последующей уборкой механическими средствами. Методика расчета параметров взрывных работ аналогична расчету при проходке канав.

§ 11. МЕХАНИЗАЦИЯ ЗАРЯЖАНИЯ ШПУРОВ

Шпуры заряжают зарядными устройствами различных типов. Наиболее широко распространены зарядчики типа "Курама" и ЗП-2. Эжекторные пневмозарядчики типа "Курама" предназначены для шпуров длиной до 3 м и выпускаются двух модификаций: "Курама-7" (рис. 13.5, а) – для заряжания горизонтальных и слабонаклонных шпуров и "Курама-8" (рис. 13.5, б) – для заряжания вертикальных шпуров. Каждый зарядчик

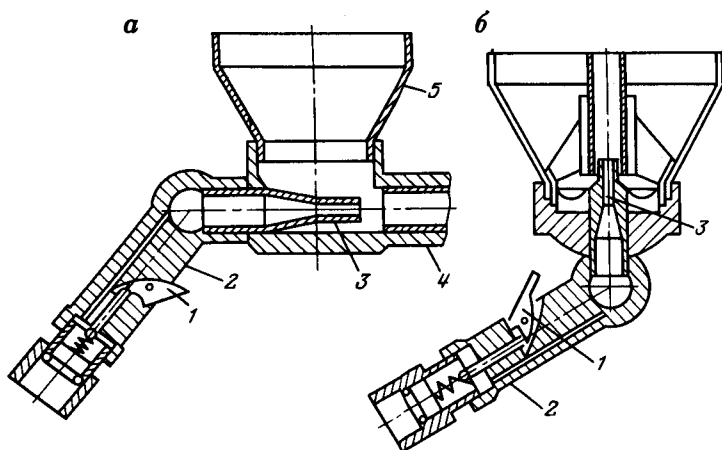


Рис. 13.5. Пневмозарядчик типа "Курама":

1 — рычаг управления клапана; 2 — рукоятка; 3 — эжектор; 4 — корпус эжектора; 5 — бункер для ВВ

обслуживается одним взрывником. Вместимость бункера 7 кг, масса зарядчика 2–3 кг, техническая производительность 5–7 кг ВВ в 1 мин.

Более совершенными являются пневмозарядчики ЗП-2 (рис. 13.6). Вместимость дозатора пневмозарядчика изменяется от 1 до 2,5 кг регулировочным цилиндром с контргайкой. Настройка на определенную вместимость выполняется при отключенном пневмозарядчике, отсоединенном зарядном шланге и отсутствии ВВ в бункере.

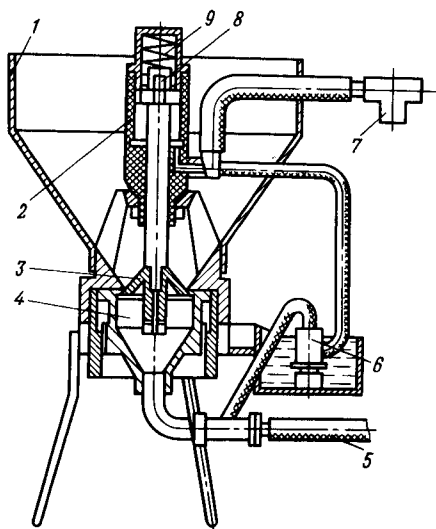


Рис. 13.6. Пневмозарядчик ЗП-2:

1 — приемный бункер; 2 — пневмоцилиндр; 3 — запорный клапан; 4 — камера; 5 — зарядный шланг; 6 — дозатор жидких компонентов; 7 — кран; 8 — шток; 9 — пружина

Транспортирование ВВ, осуществляемое на расстояние до 100 м, производится по специальным полупроводящим полиэтиленовым шлангам, предотвращающим накопление зарядов статического электричества. Другое непереносимое условие по борьбе с электростатическими зарядами — увлажнение ВВ. Зарядчик ЗП-2 оборудован смачивающим устройством, обеспечивающим дозированную подачу до 6 % воды от массы дозы в зарядный шланг. При этом снижается вынос частиц ВВ от заряжаемого шнура и улучшаются условия формирования заряда. Плотность заряжения повышается до $1,2 \text{ г/см}^3$.

При значительной длине пневмотранспортирования зарядчик оборудуется электрическим дистанционным управлением. Команду на срабатывание подает взрывник нажатием кнопки управления в сигнальной цепи.

§ 12. ПОГРУЗКА И ТРАНСПОРТ ПОРОДЫ

Машины, применяемые для погрузки породы в горизонтальных выработках, различают по принципу работы погрузочного органа и способу захвата разрушенной породы. Наибольшее распространение получили погрузочные машины периодического действия нижнего захвата (ППН) и погрузочные машины непрерывного действия бокового захвата (ПНБ). В зависимости от вида потребляемой энергии они могут быть пневматическими или электрическими.

Машина типа ППН состоит из ходовой части, погрузочного органа и механизма подъема ковша. На раме ходовой части установлены две пары колес, которые приводятся в движение отдельным двигателем. Подъемный механизм выполнен в виде лебедки, на барабан которой наматывается цепь. Конец цепи закреплен за кулисы, которые перекачиваясь по направляющим поворотной платформы, поднимают ковш для разгрузки. Для очередного зачерпывания ковш опускается под действием собственного веса и внедряется в навал породы за счет усилия ходовой части. Для лучшего заполнения ему придают качающиеся движения. В опущенном положении ковш вместе с кулисами может разворачиваться в ту или другую сторону на 30° , что увеличивает ширину фронта погрузки. В момент разгрузки ковш автоматически фиксируется по оси загружаемого вагона.

Для проходки выработок ограниченной длины (50–100 м) успешно применяются погрузо-доставочные машины типа ПДН. Конструкция их аналогична машине ППН, только ковш разгружается не в вагон, а в собственный кузов, установленный на ходовой части по принципу самосвала.

Погрузочная машина типа ПНБ применяется для транспортировки мягких (малоабразивных) пород. Она состоит из загребавшего механизма, скребкового передаточного конвейера, гидросистемы, электрооборудования и гусеничного хода. Порода двумя массивными рычагами-лапами нагребается на наклонную плиту, оттуда попадает на скребковый

конвейер и перегружается в кузов вагона или самосвала. Надо заметить, что такой же принцип работы использован в машинах по очистке городских улиц от снега.

В выработках малого сечения ($3-4 \text{ м}^2$) порода убирается скреперными установками. При проходке длинных выработок используется скреперная установка с передвижным металлическим полком. При проходке коротких ($50-100 \text{ м}$) разведочных ортов почва их располагается на уровне кровли откаточного штрека, что позволяет подавать породу прямо в вагон. Часовая производительность скреперной установки определяется числом рейсов скрепера при данной длине скреперования и объемом горной массы, доставленной за один рейс ($\text{в м}^3/\text{ч}$)

$$Q = nV\varphi, \quad (13.33)$$

где n — число рейсов за 1 ч; V — объем скрепера, м^3 ; φ — коэффициент заполнения скрепера.

Продолжительность уборки породы в значительной степени зависит от способа замены груженных вагонов порожними. Для обмена вагонов используют рассечки сопряжений с другими выработками или периодически устраивают разминовки. В длинных и прямолинейных выработках целесообразно применять ленточные конвейеры — перегружатели. При небольшом объеме проходческих работ применяют вагонперестановщики. Пневматический перестановщик представляет собой пневмоцилиндр, который перемещается на роликах по монорельсу, установленному в кровле поперек выработки.

Порожний вагон при помощи захватов, установленных на штоке пневмоцилиндра, приподнимают над рельсами и отводят в сторону. Состав вагонов откатывается от забоя за перестановщик, после чего порожний вагон ставится впереди состава и вместе с ним электровозом подается в забой. Перед этим один из порожних вагонов состава отводят в сторону для очередной замены и т.д.

§ 13. ПОДЪЕМ ПОРОДЫ

Проходческая подъемная установка включает в себя подъемную машину, канат, копер, шкив подъемного каната на копре, бадью, прицепное устройство для бадьи, направляющие канаты, направляющую рамку. Прицепное устройство крепится к канату через коуш специальными зажимами. Оно состоит из крюка, защелки, исключающей случайную отцепку бадьи, и вертлюга, предупреждающего вращение бадьи при раскручивании каната в момент его натяжения.

Направляющая рамка ограничивает колебание бадьи во время движения. Она представляет собой каркас, через боковые втулки которого свободно пропущены направляющие канаты, а через центральную втулку — канат подъемной машины. Нижние концы направляющих канатов закрепляются на раstrубах подвесного полка. Натяжение их

осуществляется лебедками через шкивы, установленные на копре. При выходе из раструбов полка бадья двумя роликами, закрепленными у днища с противоположных сторон, подхватывает направляющую рамку и вместе с ней движется вверх по стволу.

Механизация разгрузки осуществляется следующим образом: бадья поднимается выше разгрузочной площадки копра, створки закрываются. Затем бадья медленно опускается, своими роликами входит в отклоняющие кривые, установленные на створках, и за счет смещения центра тяжести опрокидывается. Высыпанная порода по желобу (рештаку) скатывается в кузов вагона, скипа или автосамосвала для дальнейшей транспортировки в отвал.

К о п е р — это высокое (22–25 м) надшахтное сооружение, обеспечивающее подъем и механизацию разгрузки породы из бадьи в наземный транспорт. Высота его складывается из высоты разгрузочной площадки над поверхностью земли, высоты переподъема бадьи над площадкой перед ее разгрузкой, высоты бадьи с направляющей рамкой, запаса высоты до концевых аварийных выключателей подъемной машины, аварийного расстояния между концевыми выключателями и шкивами подъемного каната, высоты шкива и шатра над подшкивной площадкой.

Металлические проходческие копры изготовляют сборно-разборными, что облегчает их транспортирование, монтаж и демонтаж. Они представляют собой пространственную конструкцию шатрового типа, изготовленную из цельносварных труб.

Для проходки ствола применяют одноконцевые и двухконцевые подъемные машины. Чаще устанавливают две одноконцевые подъемные машины. При двух независимых подъемах обеспечиваются более безопасные условия проходки. В случае выхода из строя одной машины вторая подстраховывает ее, что исключает аварийную обстановку для рабочих, оставшихся в стволе. Выбор конкретной подъемной машины обосновывается расчетом.

Обычно исходят из того, что производительность подъема должна обеспечить производительность ранее выбранного погрузчика. Тогда расчет подъемной машины ведется в следующем порядке: определяют возможное количество подъемов бадьи в час с учетом глубины ствола и ограничений скорости движения ее правилами безопасности. Находят объем породы, который необходимо выдать за один рейс и, следовательно, концевую нагрузку на канат. Затем определяют площадь сечения каната, выдерживающего концевую нагрузку и собственный вес. В зависимости от площади сечения каната принимают диаметр барабана подъемной машины и находят его ширину для размещения на нем всего каната при подъеме бадьи с забоя на поверхность. По необходимым диаметру и ширине барабана выбирают подъемную машину.

Возможное число подъемов в 1 ч при полной глубине ствола

$$n = 3600/T_{\text{цп}}, \quad (13.34)$$

где $T_{\text{цп}}$ — продолжительность подъема бадьи по стволу, с.

Для одноконцевой подъемной машины

$$T_{\text{цп}} = 2t + t_{\text{п}}; \quad (13.35)$$

для двухконцевой подъемной машины

$$T_{\text{цп}} = t + t_{\text{п}}, \quad (13.36)$$

где t — продолжительность движения бады в одну сторону, с; $t_{\text{п}}$ — продолжительность пауз, связанных с пересцепкой бадей, подачей сигналов, разгрузкой бады, с ($t_{\text{п}} = 120 \div 140$, с).

Максимальная скорость бады (в м/с) не должна превышать значения, рассчитанного по формуле:

$$w = 0,4\sqrt{H} \quad (13.37)$$

(H — глубина ствола, м).

Объем породы (в м^3), выдаваемой за один рейс (вместимость бады)

$$V = q/n, \quad (13.38)$$

где q — заданная производительность подъемной машины, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Концевая нагрузка на канат

$$Q_{\text{к}} = Q_{\text{б}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{н}}, \quad (13.39)$$

где $Q_{\text{б}}$, $Q_{\text{п}}$, $Q_{\text{в}}$, $Q_{\text{н}}$ — вес соответственно бады, породы, воды, заполняющей полости между кусками породы, направляющей рамки, Н.

Канат должен выдержать концевую нагрузку, собственный вес и обеспечить запас прочности не менее 7,5, т.е. должно быть справедливо уравнение:

$$S[\sigma] \geq 7,5(Q_{\text{к}} + PH), \quad (13.40)$$

где S — суммарная площадь сечения всех проволок каната, м^2 ; $[\sigma]$ — временное сопротивление металла, Па; P — вес 1 м каната, Н; H — длина каната, м.

$$P = Sv \quad (13.41)$$

(v — удельный вес металла, $\text{Н}/\text{м}^3$).

Решаем уравнение относительно суммарной площади сечения проволок (в м^2):

$$S = \frac{7,5 Q_{\text{к}}}{[\delta] - 7,5vH}. \quad (13.42)$$

Учитывая, что между проволочками имеются зазоры, площадь сечения каната будет больше суммарной

$$S_k = KS \quad (13.43)$$

(K — коэффициент, учитывающий плотность упаковки проволок в сечении каната; для круглопрядных канатов двойной свивки $K=1,2$, для закрытой свивки $K=1,3$).

Тогда диаметр каната (в мм)

$$d = 100 \sqrt{4S_k/\pi}. \quad (13.44)$$

Выбранный конкретный канат проверяют на действительный запас прочности.

Диаметр барабана подъемной машины должен удовлетворять условию

$$D \geq 60d \quad (13.45)$$

(D — диаметр барабана, мм).

Необходимая ширина барабана

$$B = b(d + e)/c, \quad (13.46)$$

где b — число витков каната; $e=3$ — зазор между витками каната, мм;
 c — допустимое количество слоев каната на барабане;

$$b = H/\pi D + z \quad (13.47)$$

(z — число витков, оставляемых на барабане при разматывании каната на всю глубину ствола).

Мощность электродвигателя для одноконцевой машины (в кВт)

$$N_1 = (Q_6 + Q_{\text{п}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{н}} + PH) W/1020; \quad (13.48)$$

для двухконцевой машины

$$N_2 = Q + Q_{\text{в}} + PH/1020. \quad (13.49)$$

Контрольные вопросы к гл. 13

1. Операции проходческого цикла и их продолжительность.
2. Определение глубины шпуров.
3. Особенности проходки уклонов.
4. Схемы проходки стволов шахт, их принципиальное отличие.
5. Способы проведения шурфов.
6. Способы проведения разведочных канав.
7. Условия проведения стволов с применением забивной и опускной крепи.
8. Суть способа проведения ствола шахты с предварительным замораживанием.
9. Способы тампонирувания горных пород.
10. Условия применения способа проведения ствола с искусственным водопонижением.

11. Факторы, влияющие на показатели БВР при проведении подземных выработок.
12. Типы ВВ для заряжания ручным и механизированным способом.
13. Принципы расчета зарядов дробления и выброса.
14. Принципы действия зарядчиков для шпуров.
15. Типы погрузочных машин и их отличительные признаки.
16. Методика (порядок) расчета подъемной установки.

Глава 14

КРЕПЛЕНИЕ, ПРОВЕТРИВАНИЕ, ВОДООТЛИВ И ОСВЕЩЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

§ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРНОЙ КРЕПИ

Горные выработки на протяжении всего срока их эксплуатации должны сохранять первоначальную форму и размеры поперечного сечения. Для обеспечения этого требования применяется горная крепь — искусственное сооружение, возводимое в горных выработках для предотвращения обрушения и вспучивания окружающих горных пород, сохранения необходимых размеров сечения выработок, а также для восприятия горного давления и управления им.

Крепление горных выработок представляет собой совокупность работ по возведению горной крепи. Это — трудоемкий и дорогостоящий процесс (30 % всех затрат, связанных с проведением выработок). Горная крепь должна обеспечивать безопасную работу людей в выработках; быть прочной, способной выдерживать оказываемое на нее давление; минимально заполнять поперечное сечение выработки; иметь небольшое аэродинамическое сопротивление; быть экономичной и соответствовать сроку службы выработки.

Выбор конструкции и материала крепи зависит от назначения, вида и срока службы выработки, площади ее поперечного сечения, интенсивности и направления горного давления.

§ 2. МАТЕРИАЛЫ ГОРНОЙ КРЕПИ

Строительные материалы, используемые для крепления горных выработок, называются крепежными.

Древесина. В качестве крепежного материала, особенно при креплении разведочных выработок, наиболее часто используют древесину хвойных и лиственных пород леса — сосны, ели, лиственницы, пихты, дуба, граба, бука, ясеня. Для крепления горных выработок применяют круглый и пиленный лес. Срок службы древесины зависит от ее влажности, возраста дерева, наличия пороков и влажности воздуха, состава рудничной воды и минералогического состава горных пород. С повышением

влажности прочность древесины снижается, поэтому в шахту крепежный лес следует подавать в сухом виде. К порокам древесины относятся крупные сучки, трещины, неправильность ее строения, гниль, повреждения насекомыми и механические повреждения.

Срок службы крепи из сосны в выработках с хорошими условиями проветривания — до 5 лет, в вентиляционных выработках с исходящей струей — 3–6 мес. Главная причина уменьшения срока службы древесины — ее гниение, вызванное деятельностью грибов и бактерий. Стойкость древесины против гниения можно повысить антисептированием — пропиткой растворами минеральных солей, создающих в древесине ядовитую среду для микроорганизмов. В качестве антисептиков в горной промышленности применяют фтористый натрий (NaF) и кремнефтористый натрий (Na_2SiF_6).

Широкое применение древесины в качестве крепежного материала обусловлено небольшой ее плотностью ($0,6\text{--}0,8\text{ т/м}^3$), значительной прочностью, легкостью обработки, простотой возведения и ремонта крепи. К недостаткам древесины относятся огнеопасность, недолговечность, склонность к загниванию и необходимость увеличения на 35–50 % площади поперечного сечения выработок.

При значительном сроке службы горных выработок, закрепленных деревянной крепью, их приходится перекреплять, что связано с существенными затратами, поэтому в последнее время в горно-разведочных выработках применяют металлическую, анкерную, бетонную и другие виды крепи.

Металл. Один из наиболее современных материалов для горной крепи — прокат черных металлов. В качестве стального проката применяют двутавровые балки, швеллеры, железнодорожные и рудничные рельсы, балки специального взаимозаменяемого профиля, уголки, полосы, прутки периодического профиля, металлическую сетку. Разработаны новые профили широкополочного двутавра, которые более рациональны для горной крепи.

Из металлической крепи наиболее распространены специальный взаимозаменяемый профиль (СВП), крепь из которого может работать как в жестком, так и в податливом режиме. Для крепления выработок, проводимых в сложных гидрогеологических условиях, применяется тубинговая крепь, изготавливаемая в виде литья из серого чугуна.

Преимущества металлической крепи — высокая прочность при растяжении и сжатии, долговечность (не менее 10–15 лет), возможность повторного использования, основной недостаток стали — склонность к коррозии.

Вязущие материалы. Вязущими материалами называют минеральные порошкообразные вещества, обладающие способностью при затворении (смешение с водой) образовывать пластичную массу, затвердевающую в прочное каменное тело. В горной промышленности из вязущих материалов наиболее распространен силикатный цемент или портландцемент, который после смешения с водой и предварительного затвердевания на воздухе продолжает сохранять и наращивать свою прочность в воде.

Сроки схватывания для каждого вида цемента установлены ГОСТ. После схватывания наступает период твердения, в течение которого механическая прочность образовавшегося цементного камня постепенно нарастает. ГОСТ установлен 28-суточный возраст для характеристики механической прочности цемента. Особенно быстро прочность цементного камня нарастает в первые семь дней и достигает 2/3 от 28-дневного предела прочности образцов при сжатии. Наилучшие условия для твердения обеспечиваются во влажной среде при температуре от 15 до 20 °С. При отрицательных температурах скорость схватывания и твердения снижается, а при -10 °С и ниже схватывание приостанавливается. Начало схватывания портландцемента должно наступать не раньше чем через 45 мин и заканчиваться не позднее, чем через 12 ч с момента затворения.

По прочности цемент делится на марки. Марку цемента характеризует предел прочности при сжатии образцов, изготовленных из песка и цемента в пропорции 3:1 (по весу) при водоцементном соотношении $V:C=0,4$. Для придания цементному раствору быстроты твердения, способности схватывания и твердеть при низких температурах, водонепроницаемости, расширения при твердении в исходный материал добавляют различные вещества и получают специальные портландцементы.

Растворы, бетон и железобетон. Раствор — смесь цемента с песком, затворенная на воде. В зависимости от соотношения цемента и песка растворы делятся на жирные (1:2,5), нормальные (1:3) и тощие (1:4). Для горной крепи используют жирные и нормальные растворы.

Бетон — искусственный каменный материал, полученный при твердении бетонной смеси, состоящей из цемента, песка, щебня или гравия и воды. Цемент и вода в бетоне — активные составляющие, а песок, щебень или гравий — инертные добавки для обеспечения высокой плотности и прочности бетона. Состав бетона выражается соотношением 1:П:Щ, обозначающим, что на одну часть цемента приходится П частей песка и Щ частей щебня или гравия. Для горной крепи обычно применяют бетоны состава 1:2:4; 1:3:5; 1:3,5:5.

Вода, идущая на приготовление бетона, не должна содержать кислот, солей, масла и других вредных примесей. Песок для бетона необходимо промывать, содержание глинистых и землянистых примесей в нем не должно превышать 5 %. Лучшим является кварцевый песок.

В зависимости от количества воды бетон делится на жесткий (6—6,5 % воды от массы сухой смеси) и пластичный (6,5—8 % воды). Жесткий бетон используется для изготовления горной крепи, пластичный — для изготовления железобетона. В зависимости от содержания цемента в 1 м³ смеси различают бетоны жирные (> 250 кг), нормальные (200—250 кг) и тощие (< 200 кг). Для горной крепи применяют жирные и нормальные бетоны, а тощие — только для забутовки. Бетон укладывают на опалубку (временную форму) и трамбуют вручную или вибраторами.

Прочность бетона характеризуется его маркой, представляющей собой предел прочности на сжатие бетонных кубиков со стороной 200 мм,

изготовленных из состава и твердеющих в течение 28 сут при температуре 20 °С и относительной влажности не ниже 90 %. Для горной крепи применяют бетон марок 100, 200, 300, 400, 500 и 600.

Бетон обладает ценным свойством — повышает свою прочность с увеличением срока службы. К преимуществам бетона также относятся значительная прочность (при рабочем сжатии), монолитность, долговечность, огнестойкость, возможность создания конструкций различных форм, хорошее сцепление с окружающими выработку породами. Недостатки бетонной крепи заключаются в значительном весе, хрупкости при ударе, малой прочности при изгибающих и растягивающих усилиях, трудоемкости возведения крепи в выработках, невозможности восприятия горного давления сразу после возведения.

Ж е л е з о б е т о н — сочетание бетона и стальной арматуры, монолитно соединенных и работающих в конструкции как единое целое. Совместная работа материалов в железобетоне обеспечивается прочным сцеплением бетона с арматурой, близостью значений температурных коэффициентов линейного расширения обоих материалов. Бетоном воспринимаются сжимающие усилия, а арматурой — растягивающие.

Железобетон применяют в виде монолитных конструкций в условиях неравномерного горного давления или в виде сборных конструкций, возводимых из готовых элементов, выпускаемых специальными заводами. Для монолитной железобетонной крепи применяется гибкая (прутья круглые и периодического профиля) и жесткая (в виде рам, изготовленных из металлических балок) арматура.

Специальные бетоны. Быстротвердеющий бетон используется в условиях, требующих быстрого восприятия нагрузки. Этот бетон готовят на основе быстротвердеющих цементов. Через сутки после укладки удастся получить бетон марки 120—300.

Т о р к р е т - б е т о н (от латинского слова уплотненная штукатурка) представляет собой бетонную смесь, состоящую из цемента, песчано-гравийного заполнителя с размером зерен до 10 мм, чаще не более 5 мм, послойно наносимую на бетонируемую поверхность под давлением сжатого воздуха. Для приготовления торкрет-бетона принимают смесь (цемент:заполнитель) в соотношении 1:2 — 1:4 с добавкой 10—12 % воды.

Торкретирование осуществляется с помощью торкретной установки, состоящей из цемент-пушки и компрессора. Сухая смесь из барабана цемент-пушки сжатым воздухом подается по шлангу к соплу, смачивается в нем водой, проводимой по другому шлангу, и с большой скоростью (130—170 м/с) выбрасывается на торкретируемую поверхность. Толщина слоя, получаемого за один цикл торкретирования, составляет 10—15 мм. Дальность подача смеси цемент-пушкой по горизонтали составляет 200 м, по вертикали — 30 м. Торкретное покрытие отличается высокой механической прочностью (40—70 МПа), плотностью, водонепроницаемостью и морозостойкостью. Торкрет-бетон применяется в качестве защитного покрытия боковой поверхности и кровли выработок от выветривания, для обеспечения огнестойкости деревянной крепи.

Набрызг-бетон (шприц-бетон) отличается от торкрет-бетона большими размерами зерен заполнителя (до 25 мм) и введением ускоряющих твердение добавок (фтористый натрий и тонкомолотый алюминевый спек в количестве 2–5 % от массы цемента). Приблизительный его состав Ц:П:Щ=1:2:2 (по массе). Набрызг-бетон наносят на поверхность выработок слоями по 5–7 см до толщины 10–30 см, вследствие чего покрытие выполняет не только защитную функцию, но и является несущей конструкцией.

Искусственные камни. Естественные камни для крепления горных выработок применяются редко. Искусственные камни — штучный крепежный материал, изготовленный в заводских условиях (кирпич, бетониты, блоки).

Кирпич — искусственный камень правильной формы, сформированный из легкоплавких глин и суглинков и приобретающий камнеподобные свойства (прочность, водостойкость, морозостойкость) после обжига или обработки паром. Для крепления выработок применяется кирпич марки 150 и выше.

Бетониты — искусственные камни из обычного бетона или шлакобетона массой от 20 до 40 кг. Прочность бетонитов не ниже 150 МПа. По форме бетониты бывают прямоугольные и клиновидные.

Бетонными блоками называют искусственные камни больших размеров массой 200–300 кг.

Новые крепежные материалы. В настоящее время в СССР и за рубежом все шире применяют новые синтетические крепежные материалы. К ним относятся пластбетон и стеклопластики.

Пластбетон — бесцементный и безводный каменный материал, состоящий из вяжущего вещества, песка и щебня. В качестве вяжущего вещества используют синтетические смолы (эпоксидную, мочевиноформальдегидную и др.) и специальные химические добавки (полиэтилен, полиамин и др.). Такой бетон характеризуется высокой прочностью при сжатии, химической стойкостью против агрессивных вод и высокой водонепроницаемостью.

Стеклопластики — отвердевшие синтетические смолы, армированные стекловолокном в виде стеклонитей, жгутов, холста из стеклоткани. В качестве вяжущего вещества применяют различные полимерные смолы. Крепь, изготовленная из стеклопластиков, не подвержена гниению, коррозии, огнестойка и легче крепит из любых других материалов. Недостаток этих материалов — их высокая стоимость.

§ 3. КРЕПЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Деревянная крепь. В районах с дешевой древесиной значительную часть выработок закрепляют деревянной крепью. Ее рационально использовать в выработках со сроком службы до 2 лет, а при пропитке древесины антисептиками — до 5 лет. Деревянную крепь применяют в условиях установившегося или незначительного горного давления. Основная кон-

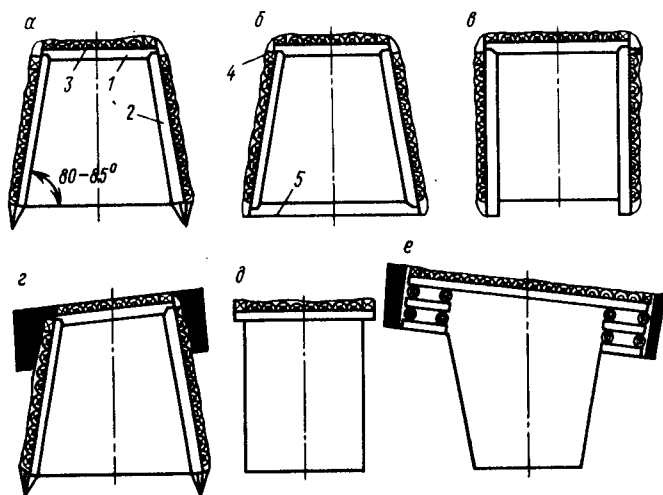


Рис. 14.1. Деревянная крепь:

а — неполная крепежная рама; *б* — полная крепежная рама; *в* и *г* — крепежная рама прямоугольной и косоугольной формы сечения: *д* — бесстоечная крепь; *е* — костровая крепь

струкция деревянной крепи в горизонтальных выработках — трапециевидная (реже прямоугольная) крепежная рама, которая может быть неполной, полной, усиленной (рис. 14.1).

Неполная крепежная рама (рис. 14.1, *а*) состоит из верхняка 1, на который укладываются затяжки 3, и двух стоек 2. Полная крепежная рама с забутовкой 4 (рис. 14.1, *б*) устанавливается при слабых, частично пучащих породах. При этом в подошве выработки дополнительно укладывается нижний элемент — лежень 5.

Стойки в трапециевидной раме устанавливают обычно под углом $80-85^\circ$, что исключает ее выдавливание при повышении бокового давления, при этом более удобна укладка верхняка. Крепежные рамы устанавливают строго перпендикулярно к продольной оси выработки вплотную одна к другой — сплошная крепь или на расстоянии 0,5–1,2 м одна от другой — крепь вразбежку. Расстояние между рамами зависит от устойчивости пород и диаметра крепи. Крепежные рамы изготовляют из круглого леса диаметром 14–32 см.

При установке крепи вразбежку бока и кровля дополнительно закрепляются досками. Пустоты между затяжкой и стенками выработки заполняют мелкой породой — забутовкой, обеспечивающей равномерное распределение горного давления на крепь со стороны окружающих выработку пород. Для предотвращения выпирания нижних концов стоек внутри выработки их помещают в лунки глубиной 10–20 см.

При слабой кровле и устойчивых стенках возможно крепление бесстоечной (рис. 14.1, *д*) и костровой (рис. 14.1, *е*) крепи.

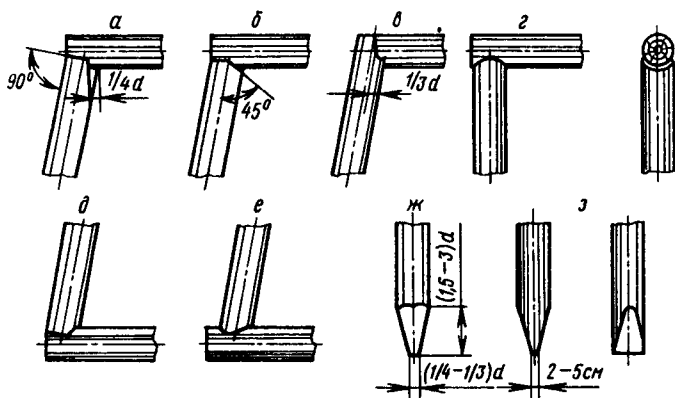


Рис. 14.2. Соединения элементов крепи и узлы податливости деревянных рам

Соединение элементов крепи между собой называется замком крепи. В зависимости от направления и величины горного давления применяют замки различных типов. При вертикальном горном давлении применяют соединение в лапу (рис. 14.2, а, б), при основном боковом давлении — в лапу другой конструкции (рис. 14.2, в). Если отсутствует боковое давление, используют соединение в паз (рис. 14.2, г). Стойки с лежнем соединяют в лапу (рис. 14.2, д) или в зуб (рис. 14.2, е).

Деревянные крепежные рамы — жесткие конструкции. Для придания им некоторой податливости нижние концы стоек заостряют в виде конуса или клина (рис. 14.2, ж, з). Под действием горного давления заостренные концы стоек сминаются и рама оседает на 10–15 см без разрушений.

Из конструктивных соображений диаметр стоек и верхняка принимается одинаковым. Крепежные рамы устанавливают вслед за продвижением забоя, не допуская отставания крепи более чем на 3 м. До установки постоянной крепи используют временную крепь.

Расчет деревянной крепи. Размеры крепи следует соблюдать в соответствии со СНиП, согласно которому прочность крепи будет обеспечена, если действующие расчетные нагрузки меньше расчетных сопротивлений крепи.

Расчет выполняется в следующем порядке.

1. Определяют нормативную нагрузку (горное давление) на одну крепежную раму при прочных породах по формуле (12.11); в неустойчивых и средней устойчивости породах при наличии давления со стороны кровли и боков по формулам (12.15) и (12.16).

2. Вычисляют нагрузку на крепь путем умножения нормативной нагрузки на коэффициент перегрузки:

$$P_p = P_{nп}, \quad (14.1)$$

где P — нормативная нагрузка на крепежную раму, Н; n_{Π} — коэффициент перегрузки от горного давления за счет возможных неблагоприятных сочетаний нагрузок; для камер и выработок околоствольного двора $n_{\Pi}=1,5$, для остальных выработок $n_{\Pi}=1,2$.

3. Определяют максимальный изгибающий момент верхняка (в Н·м):

при параболической нагрузке

$$M = 5P_p a / 16 \quad (14.2)$$

(a — длина верхняка, м);

при равномерно распределенной нагрузке

$$M = P_p a / 4. \quad (14.3)$$

4. Подсчитывают необходимый момент сопротивления верхняка (в Н·м):

$$W = M / R_{\Pi} m, \quad (14.4)$$

где R_{Π} — расчетное сопротивление древесины на изгиб; для сосны $R_{\Pi} = 16$ МПа; $m = 0,85$ — коэффициент условий работы крепи.

Если верхняк из круглого леса, то

$$W = \pi d^3 / 32 \approx 0,1 d^3;$$

его толщина после преобразований

$$d = 2,154 \sqrt{M / R_{\Pi} m}. \quad (14.5)$$

Из приведенных соотношений можно также найти расстояние между крепежными рамами при известном диаметре верхняка.

Толщина деревянных затяжек (в м)

$$C = K_M L \sqrt{\frac{108 a n_{\Pi}}{m f R_{\Pi}}}, \quad (14.6)$$

где K_M — коэффициент, учитывающий сортамент лесных материалов; для затяжек из досок $K_M = 0,87$, для затяжек из горбыля $K_M = 1,3$.

При неустойчивой кровле и устойчивой боковой поверхности выработки определяют только размеры верхняка и затяжки, стойки являются малонагруженными элементами и не рассчитываются.

Металлическая крепь. Металлическую крепь применяют для крепления горных выработок со сроком службы более 5 лет, а также при значительном горном давлении, когда деревянная крепь не обеспечивает сохранности выработки. Металлическая крепь прочнее деревянной, более безопасна в пожарном отношении и легко извлекается для повторного использования. Возведение крепи — один из наиболее трудоемких и наименее механизированных процессов при проведении горных выработок.

Металлическая крепь применяется в виде крепежных рам, арок и колец, устанавливаемых вразбежку через 0,5–1,2 м. Материалом крепи являются рельсы, а также балки двутаврового, швеллерного и специального профиля. Крепежные рамы бывают прямоугольные и чаще всего трапециевидные. Трапециевидная жесткая крепь имеет вид полных и неполных крепежных рам. Наиболее простой конструкцией является неполная крепежная рама, состоящая из верхняка 3 и двух стоек 1, соединенных между собой при помощи литых башмаков и резе уголков 2 или накладок с болтами (рис. 14.3).

Металлические крепежные рамы так же, как и деревянные после установки расклинивают с помощью клиньев 4, кровлю и бока выработки затягивают деревянными, а при длительном сроке службы выработки, железобетонными затяжками.

При неравномерном, косонаправленном и неустойчивом горном давлении применяется арочная податливая крепь из балок специального профиля, которая может быть трехзвенной и пятизвенной. Трехзвенная крепь (рис. 14.4) состоит из верхняка 1 и двух стоек 2, соединенных между собой с помощью хомутов 3. Смещение (податливость) крепи обеспечивается за счет скольжения верхняка относительно стоек и при нормальной работе крепи составляет 300–350 мм. Величина вертикальной податливости зависит от степени затягивания хомутов. При полной затяжке хомутов крепь работает как жесткая. Арки устанавливают обычно через 0,5–1,2 м. Для большей устойчивости арки соединяют между собой стяжками 6. Стойки устанавливают на почву выработки, а при слабых породах почвы с помощью металлических башмаков 4 и на деревянные лежни 5.

При всестороннем горном давлении, в том числе со стороны почвы выработки, применяют металлическую кольцевую крепь. Замковые соединения ее аналогичны арочной податливой крепи. Установка арочной металлической крепи выполняется аналогично деревянной. Кровлю и бока выработок между арками затягивают деревянными или железобетонными затяжками.

Расчет металлической крепи. Расчет трапециевидных крепежных рам выполняют в той же последовательности, что и деревянные. Отличие заключается в том, что определяют не диаметр верхняка, а по найденному значению момента сопротивления сечения W из справочных данных принимают номер профиля металлического проката. Расчетное сопротивление верхняка на изгиб $R_H = 2100 \div 2300$ МПа. Для стоек принимают тот же профиль, что и для верхняка.

Расчет прочих размеров арочной крепи может быть выполнен упрощенным способом. Он сводится к определению расстояния между арками по известной грузонесущей способности одной арки и ожидаемой величине горного давления

$$L = P_H / P. \quad (14.7)$$

где L — расстояние между рамами, м; P_H — несущая способность рамы

Рис. 14.3. Металлическая крепежная рама

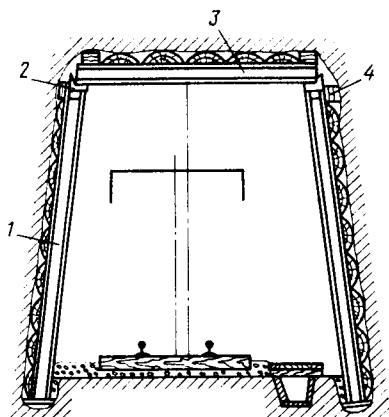
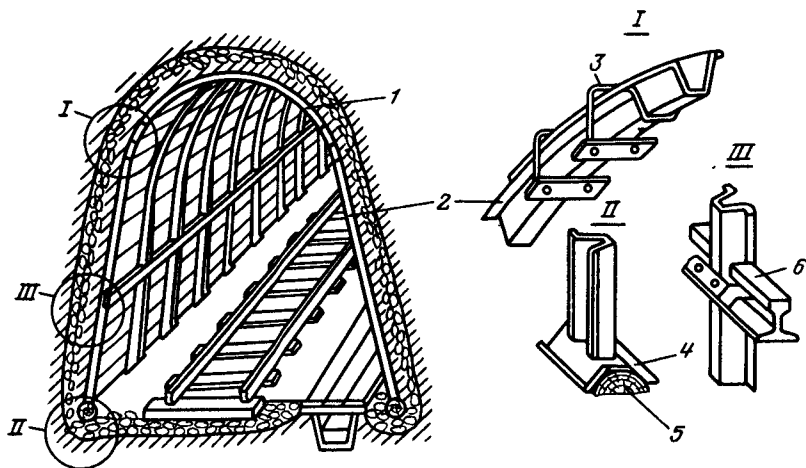


Рис. 14.4. Жесткая металлическая арка



(арки), кН (величина несущей способности (сопротивления) одной арки крепи при ее работе в податливом режиме для арок из профиля СВП-17-140 составляет 150 кН; из профиля СВП-19-160 – 170 кН; из профиля СВП-22-180 – 190 кН; из профиля СВП-27-200 и СВП-33-200 – 220 кН); P – ожидаемая величина горного давления на 1 м выработки, кН/м.

Каменная и бетонная крепи. Каменная крепь возводится из кирпича, бетонитов или тесанного камня на цементно-песчаном растворе (1:3). Закрепленное пространство заполняют песчано-цементным раствором. Каменную и бетонную крепи применяют в виде стенок с плоским или (чаще всего) сводчатым перекрытием в выработках со сроком службы более 5 лет и при значительном, но равномерном установившемся горном давлении.

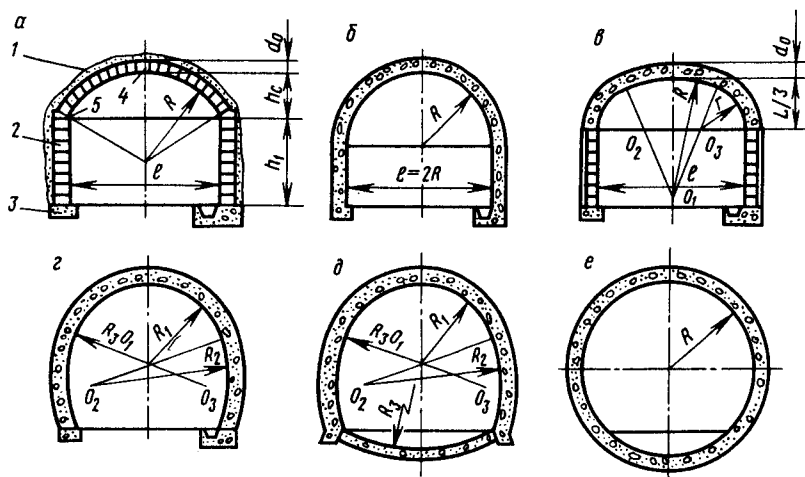


Рис. 14.5. Формы поперечного сечения выработок при бетонной и каменной крепи

В зависимости от направления действия горного давления выработкам придают различное очертание. При вертикальном горном давлении целесообразна сводчатая форма с вертикальными стенками (рис. 14.5, а, б, в); при боковом давлении крепи придают подковообразную форму (рис. 14.5, г); при всестороннем горном давлении — подковообразную с обратным сводом (рис. 14.5, д) или кольцевую (рис. 14.5, е). Основными элементами выработок сводчатой формы являются: свод 1, стены 2, фундамент 3, замок свода 4, пята свода 5. Высота свода от пяты до замка по нормали называется подъемом свода.

По очертаниям различают своды: полуциркульный, имеющий форму полукруглости и обладающий лучшей сопротивляемостью горному давлению (рис. 14.5, б), и коробовый (трехцентровый), очертанный двумя радиусами ($R=0,69 l$ и $r=0,26 l$), позволяющий рациональнее использовать площадь поперечного сечения выработки (рис. 14.5, в).

Каменная и бетонная крепи являются в основном сплошной и жесткой. Преимущества каменной крепи — ее способность воспринимать горное давление сразу же после возведения, огнестойкость и большой срок службы.

Вследствие большой трудоемкости работ по возведению каменной крепи и сложности их механизации широко применяются более экономичные бетонная и сборная железобетонная крепи. В отличие от каменной бетонная крепь является монолитной, имеет лучшую связь с боковыми породами и позволяет механизировать процессы ее возведения. Для механизации работ по возведению сплошной бетонной крепи применяют бетононасосы, пневмонагнетатели, бетономашинны, бетонизирующие комплексы, передвижные механизированные опалубки. В то же время этому способу крепления присущи недостатки, связанные с необходимо-

стью использования дополнительных устройств (опалубок, кружал) и невозможностью возведения крепи вблизи забоя.

Расчет каменной и бетонной крепей. Для каменной и бетонной крепей с вертикальными стенками и сводчатым перекрытием высоту свода h_c (рис. 14.5, а) обычно принимают равной $1/3$ пролета l выработки в свету. Толщина свода в замке d_0 должна быть не менее 200 мм, стен не менее 250 мм.

Толщина крепи в замке свода может быть определена по формуле проф. С.С. Давыдова:

$$d_c = 0,06 \sqrt{\frac{l}{h_c}} \left(1 + \sqrt{\frac{l}{f}}\right), \quad (14.8)$$

где f – коэффициент крепости пород по шкале М.М. Протодяконова.

Толщина стен (в м)

$$T = (1,2 \div 1,5) d_0. \quad (14.9)$$

Толщина фундамента (в м):
при бетонных стенах

$$T_\Phi = (1,2 \div 1,5) T; \quad (14.10)$$

при кирпичных или бетонитовых стенах

$$T_\Phi = T + 0,125. \quad (14.11)$$

Фундамент возводится из бетона и закладывается на глубину 500 мм со стороны канавки и на 250 мм с противоположной стороны.

Расчет набрызг-бетонной крепи. Ориентировочно среднюю толщину набрызг-бетонного покрытия (в м) можно вычислить по формуле:

$$\delta = 0,35 \sqrt{\frac{q_n n_p}{m_b \sigma_p n_k}}, \quad (14.12)$$

где $q_n = b\gamma$ – интенсивность горного давления со стороны кровли, Па; n_p – коэффициент перегрузки; m_b – коэффициент условий работы бетона (для неармированного набрызг-бетона $m_b = 0,85$, для армированного $m_b = 1$); σ_p – сопротивление набрызг-бетона растяжению (для марок 300, 400, 500 σ_p равно соответственно 1; 1,2; 1,35 МПа при отсутствии армирования и 1,2; 1,4; 1,6 МПа при наличии армирования).

Анкерная крепь. Анкерная (штанговая, болтовая) крепь (рис. 14.6) представляет собой систему закрепленных в шпурах металлических, деревянных, железобетонных или полимерных стержней, скрепляющих (сшивающих) между собой трещиноватые или слоистые породы, склонные к вывалам или отслаиванию. При этом породы становятся более устойчивыми, прочными в пролетах и не разрушаются под дейст-

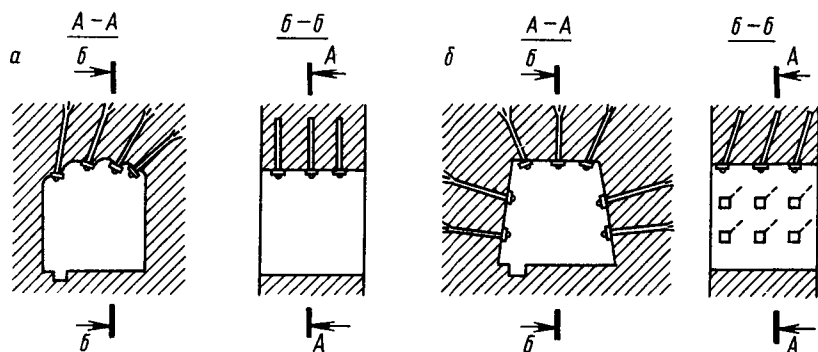


Рис. 14.6. Схема закрепления выработок анкерной крепью:

а — крепление кровли; *б* — крепление кровли и боковой поверхности выработки

вием горного давления. Анкерная крепь используется в породах с коэффициентом крепости по шкале М.М. Протодяконова $f \geq 4$.

Анкерной крепью закрепляют кровлю, боковую поверхность, а при вспучивающейся почве и почву выработки. Известно более 200 конструкций металлической, канатной, железобетонной, деревянной и других разновидностей анкерной крепи (рис. 14.7).

Наиболее распространены на горных предприятиях железобетонные штанги (рис. 14.7, *д*), устанавливаемые путем нагнетания в шпур цементно-песчаного раствора состава 1:3 и введения в него профильного стального стержня диаметром 16–22 мм и длиной 1,5–2 м. Шпур заполняют с помощью пневматических нагнетателей. Консистенция раствора должна быть такой, чтобы он не вытекал из шпура и удерживал от выпадения арматурный стержень. Отрицательным свойством железобетонных штанг является невозможность восприятия ими нагрузки сразу же после установки, поэтому для приготовления раствора используют быстротвердеющий цемент. После твердения раствора по всей длине штанги создается прочный контакт с породой, что способствует упрочнению окружающих пород.

Преимуществами штанговой крепи являются: небольшие затраты на материалы и установку, неизменность сечения выработки в свету, а также возможность полной механизации при ее возведении.

Временная крепь. При проведении горных выработок с применением буровзрывных работ постоянная крепь возводится с некоторым отступлением от забоя. Для безопасного ведения проходческих работ в призабойном пространстве устанавливают временную крепь, которая служит для защиты людей и механизмов в забое выработки от выпадающих из кровли кусков породы до возведения постоянной крепи. Величина отступления постоянной крепи от забоя, а следовательно, и протяженность временной крепи зависят от ее типа. При слабых породах

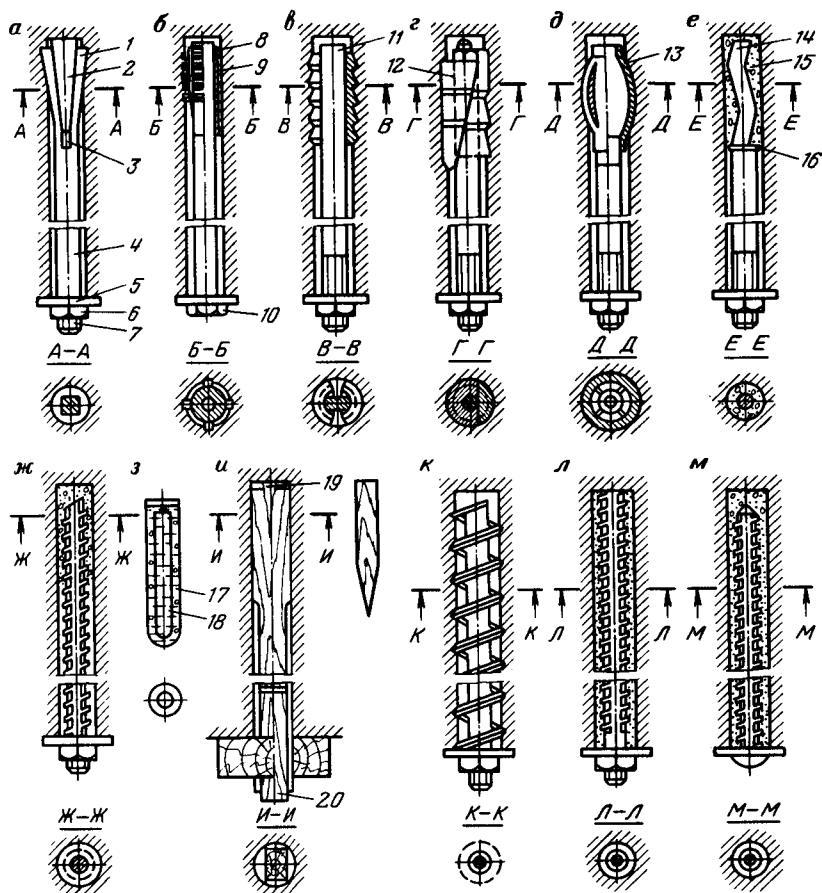


Рис. 14.7. Конструкции анкеров:

а — клинощелевая; *б, в, г* — распорная; *д* — взрывораспорная; *е, ж* — армобетонные замковые; *з* — ампула; *и* — деревянный клинощелевой; *к* — винтовой; *л, м* — сплошные армобетонные; 1 — усы; 2 — клин; 3 — щель; 4 — стержень; 5 — опорная плита; 6 — гайка; 7 — контурный конец; 8 — конусная гайка; 9 — гильзы; 10 — болтовая головка; 11 — клиновидная головка; 12 — клиновидный сегмент; 13 — трубчатая головка после взрыва; 14 — волнообразный глубинный конец; 15 — бетонная или полимербетонная пробка; 16 — уплотнительное кольцо; 17, 18 — секции со смолой и отвердителем; 19 — глубинные клинья; 20 — контурный клин

временную крепь возводят на участке до 3 м от забоя, а при монолитных породах — на участках 20–40 м.

При бетонной крепи в породах с коэффициентом крепости $f \geq 5$ применяют поддерживающую временную крепь, выполненную в виде металлических арок, закрепляемых двумя–четырьмя анкерными бол-

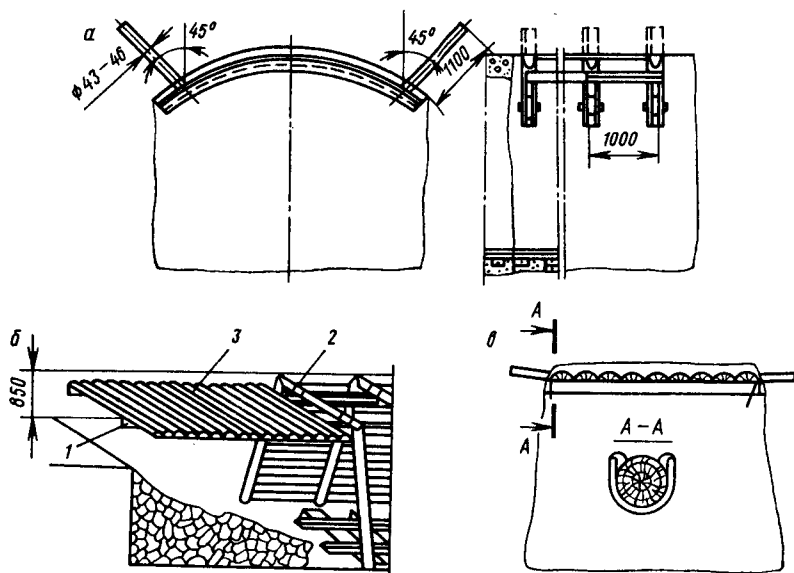


Рис. 14.8. Временная крепь горизонтальных выработок

тами в кровле выработки (рис. 14.8, а). Такую крепь не всегда извлекают, а чаще она остается вместе с бетонной постоянной крепью.

При рамной крепи выработок применяют выдвижную (рис. 14.8, б) и подвесную (рис. 14.8, в) временную крепи. В выдвижную крепь входят щит 3 из досок или горбыля, уложенного на выдвижные балки 1 (рельс Р-18, двутавр № 12–14, стальные трубы диаметром 75 мм) длиной 6–8 м. Балки подвешены к верхнякам рам постоянной крепи на переносных скобах 2. Подвесная крепь применяется при крепких боковых породах и состоит из верхняков, подвешенных на штырях, которые установлены в стенах выработки.

§ 4. КРЕПЬ И АРМИРОВКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Способы крепления и материал крепи выбирают в зависимости от формы и размеров поперечного сечения горной выработки, срока службы крепи и величины горного давления. По применяемым материалам крепь делится на деревянную, бетонную, каменную, железобетонную и металлическую.

Деревянная крепь. Деревянную крепь применяют для крепления шурфов, вертикальных восстающих неглубоких стволов шахт при сроке службы не более 10–15 лет и небольшом горном давлении. Наиболее распространенной формой поперечного сечения является прямоугольная.

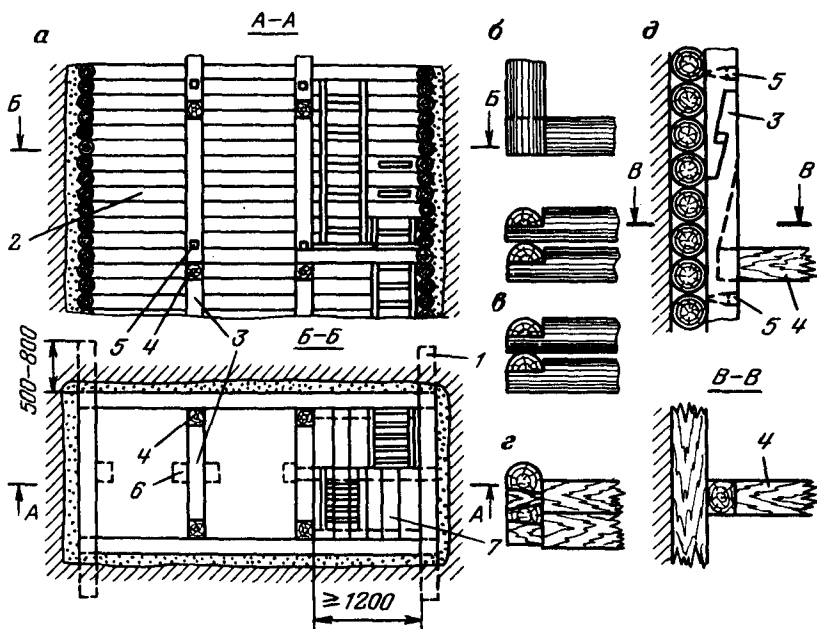


Рис. 14.9. Сплошная венцовая деревянная крепь:

a — общий вид крепи; *б* — односторонняя прямая лапа; *в* — односторонняя кося лапа; *г* — двусторонняя кося лапа; *д* — элементы армировки с крепью

Для крепления используют брусья и круглый лес диаметром от 18 до 25–30 см.

Основная конструкция крепи — опорный венец 1, состоящий из четырех элементов, соединенных между собой при помощи врубок (рис. 14.9, б, в, г). Все элементы крепи заблаговременно готовят на поверхности, собирают, маркируют и спускают в выработку для установки. В зависимости от величины горного давления применяют три вида венцовой крепи: сплошную, на стойках (бабках) и подвесную. Сплошная венцовая крепь, состоящая из рядовых венцов 2, применяется для крепления выработок в неустойчивых и средней устойчивости породах с коэффициентом крепости $f=4\div 5$.

Часто сечение выработки разделено на несколько отделений. Для придания венцовой крепи большей жесткости вдоль длинных ее сторон попарно устанавливают прогоны (вандруты) 3, которые прикрепляют к венцам через каждые 1,5–2 м с помощью заглубленных болтов (глухарей) 5. Между прогонами через 1,5–2 м по высоте поперек ствола располагают расстрелы 4. В подъемных отделениях к расстрелам прикрепляют направляющие брусья (проводники) 6, по которым скользят лапы подъемных сосудов, в лестничных отделениях на расстрелы укладывают полки 7 для установки лестниц.

Расчет бетонной крепи. Толщина бетонной крепи (в м) может быть установлена расчетом по формуле:

$$\delta = m_y r_0 \left(\sqrt{\frac{m R_{сж}}{m R_{сж} - 2 K p}} - 1 \right), \quad (14.13)$$

где $m_y = 1,25$ — коэффициент условий работы крепи; r_0 — радиус ствола в свету, м; $m = 0,85$ — коэффициент условий бетонирования; $R_{сж}$ — расчетное сопротивление бетона на сжатие, МПа; K — безразмерный коэффициент, на протяженных участках бетонирования $K=1$, на участках, примыкающих к сопряжениям, $K=2$; p — горизонтальное давление, кПа.

Расчет деревянной крепи. Расчет проводится по короткой стороне ствола шахты, так как длинная дополнительно поддерживается расстрелами, расстояние между которыми меньше пролета венца по короткой стороне. При расчете рассматривается короткая сторона венца как балка, свободно лежащая на двух опорах и подверженная изгибу за счет давления боковых пород.

Нагрузка, приходящаяся на один венец (в Н),

$$P = p l L, \quad (14.14)$$

где p — расчетное давление на крепь, Па; l — длина короткой стороны ствола, м; L — расстояние между венцами, м.

Максимальный изгибающий момент в середине короткой стороны (в Н·м)

$$M = pl/8 = p l^2 L / 8. \quad (14.15)$$

Необходимый момент сопротивления сечения (в м³)

$$W = M / m R_{и} = p l^2 L / 8 m R_{и}, \quad (14.16)$$

где $m = 0,85$ — коэффициент условий работы; $R_{и}$ — расчетное сопротивление древесины на изгиб, для круглого леса $R_{и} = 16$ МПа, для пиленого $R_{и} = 13$ МПа.

Момент сопротивления сечения круглого леса $W \approx 0,1 d^3$.

Подставив значение W в формулу (14.16), определим необходимый диаметр венца из круглого леса

$$d \geq 1,08 \sqrt{p l^2 L / m R_{и}}. \quad (14.17)$$

При сплошной крепи, когда $d=L$, диаметр венца рассчитывается по формуле:

$$d \geq 1,12 l \sqrt{P / m R_{и}}. \quad (14.18)$$

Если крепь изготовлена из пиломатериалов, то для брусев

$$W = bh^2/6,$$

где b и h — ширина и толщина пиломатериалов, м.

Задавшись одним из размеров бруса и подставив значение W в формулу (14.16), можно найти необходимые размеры брусьев.

§ 5. ПРОВЕТРИВАНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Атмосферный воздух состоит из кислорода (20,95 %), азота (78,08 %), инертных газов (0,94 %), углекислого газа (0,03 %). В горных выработках воздух при перемещении изменяет свой состав за счет уменьшения кислорода, увеличения углекислоты, присоединения вредных газов, пыли и паров. Состав рудничного воздуха регламентируется Правилами безопасности. Кислорода должно быть не менее 20 %, углекислого газа на рабочих местах не более 0,05 %, а количество ядовитых газов не должно превышать предельно допустимые концентрации (ПДК): для окиси углерода — 0,0016 %, окислов азота — 0,00025 %, сернистого газа — 0,00035 %, сероводорода — 0,00066 %. Температура воздуха не должна превышать 26 °С.

В процессе проведения выработок образуется рудничная пыль, находящаяся во взвешенном состоянии в атмосфере или осевшая на поверхности горных выработок. Витаящая в воздухе пыль, если ее концентрация превышает установленные нормы, может явиться причиной профессиональных заболеваний и взрыва. К основным мероприятиям по борьбе с пылью относятся: установление противопылевого режима на предприятии на основе интенсивной вентиляции, гидрообеспыливание воздуха, смыв пыли с поверхности выработок, локализация источников пылеобразования, отсос и фильтрование загрязненного воздуха и применение средств индивидуальной защиты.

Задача проветривания — поддержание в подземных выработках атмосферы надлежащей чистоты, что обеспечивается заменой загрязненного воздуха в забоях чистым. Движение воздуха по выработкам и его обмен в забое осуществляются под действием искусственного, общешахтного или местного проветривания.

Способы проветривания

При проведении горноразведочных выработок проветривание тупиковых забоев осуществляется за счет совместного действия общешахтного (главным вентилятором) и местного проветривания. Общешахтной струей воздуха (за счет воздушной диффузии) можно проветривать выработки на негасовых шахтах протяженностью до 10 м. При местном проветривании различают три способа: нагнетательный, всасывающий и комбинированный.

При нагнетательном способе проветривания (рис. 14.10, а) чистый воздух подается в призабойную зону по трубопроводу,

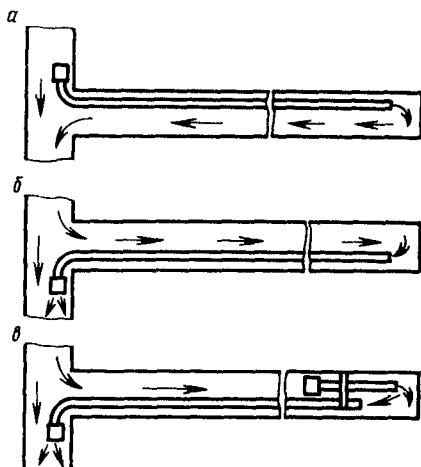


Рис. 14.10. Схемы проветривания тупиковых выработок

а загрязненный удаляется непосредственно по выработке. Вентилятор должен быть расположен на расстоянии более 10 м от устья выработки. Этот способ наиболее распространен на практике, так как проветривание нагнетанием протекает активно. Недостатки этого способа заключаются в том, что газы после взрыва и загрязненный воздух распространяются по всей выработке. Если протяженность выработки значительная, то продолжительность проветривания возрастает, поэтому нагнетательный способ проветривания применяется чаще всего при проходе выработок протяженностью до 300 м.

При всасывающем способе проветривания (рис. 14.10, б) загрязненный воздух из забоя выработки всасывается в вентиляционные трубы, а свежий воздух поступает по самой выработке. Зона активного всасывания воздуха не превышает 1–1,5 м от конца трубопровода. Подвести же трубопровод к забою ближе чем на 2–3 м нельзя из-за опасности повреждения его взрывом. Поэтому всасывающий способ характеризуется незначительной активностью проветривания призабойного пространства.

При комбинированном способе проветривания воздух по одному трубопроводу нагнетается в забой, а по другому отсасывается из него (рис. 14.10, в). При этом на некотором расстоянии от забоя устанавливается перемычка и из пространства между забоем и перемычкой загрязненный воздух удаляется по вентиляционным трубам всасыванием, а второй вентилятор, установленный в непосредственной близости от перемычки, работает на нагнетание. Таким образом, загазованный воздух в забое разжижается струей вентилятора, работающего на нагнетание, а вентиляционная установка, работающая на всасывание, удаляет его из выработки, в результате чего воздух в выработке на всем протяжении остается чистым. Отставание конца вентиляционных труб от забоя выработки не должно превышать 6 м в вертикальных выработках и 10 м в горизонтальных.

При значительной длине выработок, небольшом расстоянии до земной поверхности или при наличии расположенного выше горизонта для проветривания целесообразно применение вентиляционных скважин. Это позволяет освободить выработку на большей длине ее от вентиляционного трубопровода. Вентиляционные скважины могут быть использованы и для других целей — прокладки труб и кабелей, доставки материалов и т.д. Скважины, как правило, работают во всасывающем режиме, а вентилятор устанавливается над устьем скважины.

Вентиляторы местного проветривания по роду применяемой энергии могут быть электрическими и пневматическими, а по принципу работы осевыми и центробежными. Наиболее компактны и удобны в работе осевые вентиляторы ВМ-3М, ВМ-4М, ВМ-5М, ВМ-6М, ВМ-8М, ВМ-12М с электрическим приводом и ВМП-5, ВМП-6 с пневматическим приводом. В связи с тем, что осевые вентиляторы местного проветривания развивают сравнительно невысокое давление, а использование установок более чем с двумя последовательно включенными вентиляторами нецелесообразно (вследствие резкого снижения эффективности установок), для проветривания выработок протяженностью 1000 м и более применяют центробежные вентиляторы местного проветривания ВЦ-7, ВЦ-9.

Вентиляционный трубопровод собирают из отдельных звеньев длиной 2–20 м. Наиболее широкое распространение получили трубы из листовой стали и гибкие трубы типа М из прорезиненной ткани. Металлические трубы изготавливают из листовой стали толщиной 0,7–2 мм. Они соединяются при помощи фланцев, между которыми помещают резиновые прокладки.

Матерчатые трубы изготавливают из прорезиненной двусторонней ткани толщиной 0,8–1,2 мм, рассчитанной на рабочее давление 9800 Па, длина звеньев 5, 10, 20 м. В выработке трубы типа М подвешивают к тросу с помощью крючков.

Расчет вентиляционной установки местного проветривания

Для расчета вентиляционной установки необходимо: выбрать способ проветривания выработки; определить подачу и напор вентилятора; выбрать трубопровод и вентилятор. Способ проветривания выработки выбирают, исходя из горно-технических условий проведения выработок. При этом необходимо учитывать удаленность тупиковых забоев от свежей струи воздуха, источники загрязнения рудничного воздуха, организацию работ и др.

Подачу вентилятора (в м³/мин) определяют из выражения:

$$Q_v = p Q_p, \quad (14.19)$$

где p — коэффициент утечек воздуха в вентиляционном трубопроводе; Q_p — расчетный расход воздуха для проветривания выработки, м³/мин.

Коэффициент утечек для металлических труб

$$P = \left(\frac{K_y d L}{3m} - \sqrt{R} + 1 \right)^2, \quad (14.20)$$

где K_y — коэффициент удельной воздухопроницаемости; d — диаметр труб, м; L — длина трубопровода, м; m — длина звена труб, м; R — аэродинамическое сопротивление трубопровода

$$R = 6,5aL/d^5, \quad (14.21)$$

где a — коэффициент аэродинамического сопротивления.

Для прорезиненных труб коэффициент утечек p определяется по справочным данным в зависимости от длины трубопровода. Количество воздуха Q_p для проветривания проводимой выработки устанавливаются: по объему газов, образующихся при взрывных работах (по расходу взрывчатых веществ); по количеству пыли, возникающей при производстве горных работ; по числу работающих людей в забое. Окончательно принимают наибольшее из указанных значений.

Расход воздуха по пылевому фактору

$$Q_p \geq 60vS, \quad (14.22)$$

где v — скорость движения воздуха, обеспечивающая вынос витающей пыли, м/с; S — площадь поперечного сечения выработки, м².

Количество воздуха, необходимого для проветривания забоя с учетом числа работающих людей,

$$Q = 6n, \quad (14.23)$$

где 6 — норма расхода чистого воздуха на одного работающего, м³/мин; n — число людей, одновременно работающих в забое.

Количество воздуха с учетом расхода ВВ и в зависимости от способа проветривания можно вычислить по формулам В.Н. Воронина:

нагнетательный способ проветривания

$$Q_p = \frac{2,3}{t} \sqrt[3]{AS^2L^2}; \quad (14.24)$$

всасывающий способ проветривания

$$Q_p = \frac{2,83}{t} \sqrt{ASl_3 b_{\Phi}}; \quad (14.25)$$

комбинированный способ проветривания

$$Q_p = \frac{2,3}{t} \sqrt[3]{A_{\pi} S^2 l_{\pi} b_{\Phi}}, \quad (14.26)$$

где t — время проветривания, мин (не больше 30 мин); A — расход одновременно взрывающегося ВВ, кг; S — площадь поперечного сечения вы-

работки, м²; L — длина проветриваемой выработки, м; b_{ϕ} — газовость ВВ или фактическое количество ядовитых газов, образующихся при взрыве 1 кг ВВ в пересчете на условную окись углерода, г/кг; l_3 — длина зоны отброса газов после взрыва, м, $l_3 = 2,4A + 10$, м; l_n — расстояние от забоя до перемычки или конца всасывающего трубопровода, м.

Депрессия (в Па), создаваемая вентилятором, определяется из выражений:

$$H_v = H_c + H_d, \quad (14.27)$$

$$H_c = pRQ_p^2, \quad (14.28)$$

$$H_d = V_T^2 \gamma / 2, \quad (14.29)$$

где H_c и H_d — соответственно статическая и динамическая депрессия, Па; V_T — скорость движения воздуха в трубе, м/с; $\gamma = 1,2$ — плотность воздуха, кг/м³; p — давление воздуха, Па; R — радиус воздухопроводной трубы, м.

По полученным величинам подачи Q_v и депрессии H_v выбирают вентилятор. Диаметр вентиляционных труб принимается в зависимости от количества воздуха, подаваемого в забой, и длины проветриваемой выработки.

§ 6. ВОДООТЛИВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Вода в горные выработки поступает в результате стока атмосферных осадков и из водоносных пород. Количество воды, поступающей в выработку в единицу времени (м³/ч), называется притоком воды. Водоотлив — совокупность мероприятий по удалению воды из подземных горных выработок. Выбор мероприятий зависит от притока воды. Водоотлив должен обеспечить бесперебойную работу по проведению выработок и геологической оценке месторождения.

При проведении разведочных выработок различают проходческий и стационарный водоотлив. Проходческий водоотлив осуществляется в процессе проведения стволов шахт, шурфов и разведочных уклонов, а стационарный — при проведении выработок, когда пройдены ствол, насосная камера, водосборник, отстойник и смонтирована водоотливная установка.

Проходческий водоотлив

Бадьевой водоотлив. При незначительных притоках воды (3–5 м³/ч) можно использовать водоотлив бадьями одновременно с поднимаемой породой. Бадьи наполняют водой с помощью забойных насосов. Для нормальной работы проходчиков при удалении горной массы уровень воды

над поверхностью взорванной породы не должен превышать 0,1 м. Производительность бадьевого водоотлива (в м³/ч)

$$Q = n q_6 c \varphi, \quad (14.30)$$

где n — число подъемов бадьи за 1 ч; q_6 — вместимость бадьи, м³; $c=0,3\div0,6$ — коэффициент пористости разрыхленной породы; $\varphi=0,9$ — коэффициент наполнения бадьи.

Водоотлив подвесными насосами. Когда приток воды превышает возможную производительность бадьевого водоотлива, водоотлив из вертикальных горных выработок осуществляется подвесными насосами. При этом возможны две схемы — одноступенчатая и двухступенчатая.

Одноступенчатая схема (рис. 14.11, а) заключается в подаче воды из забоя по трубам 2 и шлангу 7 сразу на поверхность. Перед каждым взрывом снимают три-четыре верхних звена водоотливных труб и насос 1 с оставшейся частью колонны труб поднимается на безопасную высоту (20–25 м). После взрыва насос опускают в забой, звенья труб устанавливают на прежнее место, и насос включают в работу. Насос подвешивают на канатах 6 лебедки 3, с помощью которой его спускают и поднимают вместе со ставом труб. Нагнетательный став труб 2 опирается на раму насоса и поддерживается хомутами 8. Электроэнергия подается по кабелю 5, закрепленному на лебедке 4.

Двухступенчатая схема (рис. 14.11, б) предусматривает работу забойного насоса 9 (первая ступень), который по гибкому шлангу 10 откачивает воду из забоя в промежуточный водосборник 12, откуда подвесным насосом (вторая ступень) — на поверхность. Промежуточный водосборник — это обычно бак вместимостью 2–2,5 м³, установленный на расстрелах или подвесном полке 11. При этой схеме отпадают подъем и опускание подвесного насоса перед взрыванием, а подвеска и опускание насоса первой ступени не составляет затруднений.

В промежуточном водосборнике твердые частицы осаждаются, поэтому выдаваемая подвесным насосом вода чище и насос меньше изнашивается. Обслуживание насосов упрощается и возможна автоматизация водоотлива. При больших глубинах проходки двухступенчатая схема наиболее целесообразна. В выработках глубиной более 50–75 м должно быть не менее двух исправных подвесных насосов. Один из них в работе, другой в резерве. Последний находится на поверхности, готовый к спуску.

Подача подвесного насоса (в м³/мин) определяется в зависимости от времени, необходимого для удаления воды:

$$Q_n = \frac{K q_{cp} (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) - c S l}{t_4}, \quad (14.30)$$

где $K=1,3\div1,5$ — коэффициент неравномерности притока воды; q_{cp} — средний приток воды, м³/мин; $t_1=30\div45$ — продолжительность подъема насоса со взрывником и взрыва зарядов, мин; $t_2=30\div45$ — продол-

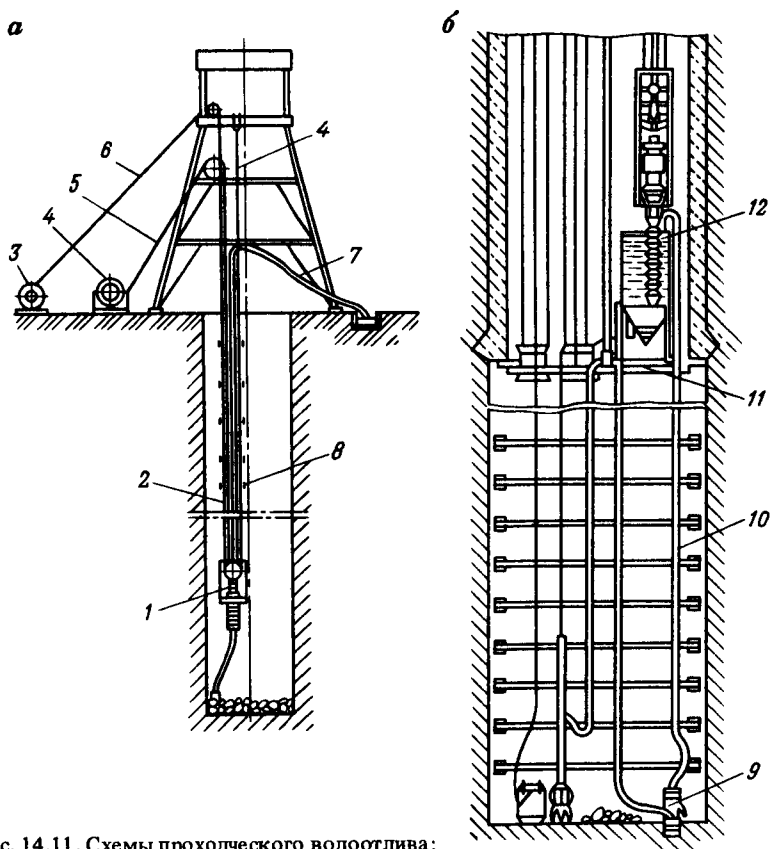


Рис. 14.11. Схемы проходческого водоотлива:

а — одноступенчатый водоотлив; *б* — двухступенчатый водоотлив

жительность проветривания, мин; $t_3 = 20 \div 30$ — продолжительность осмотра, приведение выработки в безопасное состояние и спуск насоса, мин; $t_4 = 30 \div 60$ — продолжительность откачки воды, скопившейся после подъема насоса, мин; $c = 0,3 \div 0,6$ — коэффициент пористости разрыхленной породы; S — площадь сечения выработки в проходке, м^2 ; l — величина уходки за взрыв, м.

По подаче насоса и суммарному напору

$$H = H_n + H_{вс} + H_c$$

выбирают насос и определяют мощность двигателя (в кВт)

$$N = \frac{Q_n (H_n + H_{вс} + H_c) \delta}{50 \cdot 102 \eta}, \quad (14.31)$$

где Q_n — подача насоса, $\text{м}^3/\text{ч}$; H_n — высота нагнетания, равная глубине выработки +2 м; $H_{вс} \leq 5$ — высота всасывания, м; $H_c = 0,1 \div 0,15 (H_n + H_{вс})$ — высота стояка, м; $\delta = 1015 \div 1025$ — объемная масса откачиваемой воды, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\eta = 0,85$ — коэффициент полезного действия двигателя.

Нагнетательный трубопровод монтируется из стальных труб внутренним диаметром 100, 125, 150 или 200 мм, соединяемых при помощи подвижных фланцев с уплотнением стыков прокладками из резины. Диаметр нагнетательного трубопровода выбирают с таким расчетом, чтобы скорость движения воды находилась в пределах 1,5–2,2 м/с. Всасывающий трубопровод представляет собой гофрированный резиновый шланг диаметром 25, 50, 75, 100, 125 или 150 мм. Длина всасывающего трубопровода соответствует высоте всасывания насоса и равна 4–6 м. Скорость движения воды в этом трубопроводе должна находиться в пределах 1–1,5 м/с, тогда диаметр его $d_{вс} \geq Q_n$. При проведении уклонов и наклонных стволов шахт применяют горизонтальные винтовые или центробежные насосы.

Стационарный водоотлив

При проведении выработок на разведочном или эксплуатационном горизонте вода по водоотливным канавкам горизонтальных выработок самотеком (уклон 0,03–0,0005) поступает в водосборник. В устойчивых породах канавки не крепятся, в неустойчивых их закрепляют.

В насосной камере устанавливают два или три насоса (один резервный). Подача одного насоса (в $\text{м}^3/\text{ч}$) должна обеспечивать откачку суточного притока воды за 20 ч работы

$$Q_n = K q t_1 / t_2, \quad (14.32)$$

где $K = 1,3 \div 1,8$ — коэффициент неравномерности притока; q — средний приток воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; $t_1 = 24$ ч — продолжительность притока воды в сутки; $t_2 = 20$ ч — продолжительность работы насоса в сутки.

§ 7. ОСВЕЩЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Хорошее освещение в горных выработках повышает безопасность работ, облегчает труд рабочих по обслуживанию механизмов и способствует повышению производительности труда. Освещенностью называется отношение светового потока к площади той части поверхности, на которую он падает. За единицу освещенности принят люкс (лк), который определяется как поверхностная плотность светового потока в один люмен (лм), равномерно распределенного на площади 1 м^2 . Освещенность прямо пропорциональна силе света и обратно пропорциональна квадрату расстояния освещаемой площади от источника света.

Минимальная освещенность в выработках должна составлять: в забоях – 15 лк, на складах взрывчатых материалов – 30 лк; откаточных выработках – 5 лк. Расстояние между светильниками в выработках принимается от 5 (мощность ламп 60 Вт) до 16 м (мощность ламп 200 Вт). Для освещения подземных выработок выпускают рудничные светильники повышенной надежности с лампами накаливания типа РП и взрывобезопасные люминесцентные типа РВЛ. Последние имеют ряд преимуществ: высокая светоотдача, продолжительный срок службы, меньшая яркость и меньший расход электроэнергии по сравнению с лампами накаливания.

Для каждого рабочего, находящегося в выработке, предусмотрены индивидуальные средства освещения независимо от наличия сетевого электрического освещения. Для этой цели применяются ручные (переносные) аккумуляторные светильники. Для заряда аккумуляторных батарей используется автоматическая зарядная станция "Заряд-2" при постоянном стабилизированном напряжении 4,5 или 5 В.

Контрольные вопросы к гл. 14

1. Строительные материалы, используемые для крепления горных выработок.
2. Состав и марки бетонов, применяемых для крепления выработок.
3. Основные элементы дверных окладов и венцов.
4. Основные конструкции анкерной крепи, способы ее установки.
5. Расчет крепи горных выработок.
6. Способы проветривания тупиковых горно-разведочных выработок.
7. Факторы, которые учитывают при расчете количества свежего воздуха, подаваемого в забой.
8. Способы удаления воды из забоев шурфов и стволов шахт.
9. Стационарный водоотлив. Устройство и оборудование насосных станций.
10. Нормы освещенности горных выработок.
11. Лампы для индивидуального освещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Багдасаров Ш.Б., Верчеба А.О., Пальмов И.И.* Справочник горного инженера геологоразведочных партий. М.: Недра, 1986.
2. *Башлык С.М., Загибайло Г.Т.* Бурение скважин. – М.: Недра, 1983.
3. *Борисович В.Т., Полежаев Л.В., Тевзадзе Р.Н.* Организация и планирование геологоразведочных работ. – М.: Недра, 1987.
4. *Заплавский Г.А., Лесных В.А.* Горные работы, проведение и крепление горных выработок. – М.: Недра, 1986.
5. *Ивачев Л.М.* Промывочные жидкости и тампонажные смеси. – М.: Недра, 1987.
6. *Кардыш В.Г.* Оборудование для поискового бурения. – Л.: Недра, 1986.
7. *Квашнин Г.П.* Технология вскрытия и освоения водоносных пластов. – М.: Недра, 1987.
8. *Квашнин Г.П.* Организация производства и экономика бурения водозаборных скважин. – М.: Недра, 1984.
9. *Лукьянов В.Г., Громов А.Д.* Проведение горно-разведочных выработок. – М.: Недра, 1986.
10. *Механизация взрывных работ.* Под общей ред. Н.Ф. Друкованного. – М.: Недра, 1984.
11. *Ребрик Б.М.* Справочник по бурению инженерно-геологических скважин. – М.: Недра, 1983.
12. *Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду* / Д.Н. Башкатов, С.Л. Драхлис, В.В. Сафонов, Г.П. Квашнин. – М.: Недра, 1988.
13. *Справочное руководство мастера геологоразведочного бурения* / Г.А. Блинов, В.И. Васильев, Ю.В. Бакланов и др. – Л.: Недра, 1983.
14. *Справочник по бурению скважин на воду.* Под ред. Д.Н. Башкатова. – М.: Недра, 1979.
15. *Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин.* Под ред. Е.А. Козловского. Т. 1. – М.: Недра, 1984.
16. *Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин.* Под ред. Е.А. Козловского. Т. 2. – М.: Недра, 1984.
17. *Туякбаев Н.Т., Федоров Б.В.* Теория формирования и технические средства отбора керна из скважин. – Алма-Ата: Наука, 1988.
18. *Туякбаев Н.Т., Ковриго А.Ф.* Безопасность при геолого-поисковых и разведочных работах. – Алма-Ата: Казахстан, 1988.
19. *Технология и техника разведочного бурения* / Ф.А. Шамшев, С.Н. Тараканов, Б.Б. Кудряшов и др. – М.: Недра, 1983.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Часть I	
БУРЕНИЕ СКВАЖИН	
Глава 1. Классификация скважин и способы их бурения	5
§ 1. Элементы скважины	5
§ 2. Определение пространственного положения скважины	6
§ 3. Классификация скважин по целевому назначению	7
§ 4. Производственный цикл сооружения скважин и основные рабочие операции при бурении	8
§ 5. Способы разрушения горных пород	9
§ 6. Удаление продуктов разрушения горных пород при бурении скважин	11
§ 7. Способы закрепления неустойчивых стенок скважин	15
§ 8. Основные понятия техники и технологии процесса сооружения скважин	17
Контрольные вопросы к гл. 1	19
Глава 2. Свойства горных пород и их влияние на процессы сооружения скважин и горных выработок	19
§ 1. Физико-механические свойства горных пород	19
§ 2. Виды разрушения горных пород при бурении	25
§ 3. Буримость горных пород	26
Контрольные вопросы к гл. 2.	29
Глава 3. Промывка скважин	29
§ 1. Виды промывочных жидкостей и их назначение	29
§ 2. Глинистые растворы и их свойства	30
§ 3. Регулирование свойств буровых растворов	34
§ 4. Специальные промывочные жидкости	36
§ 5. Приготовление промывочных жидкостей	39
§ 6. Очистка промывочных жидкостей от продуктов разрушения	42
Контрольные вопросы к гл. 3.	43
Глава 4. Роторное бурение.	43
§ 1. Сущность роторного бурения	43
§ 2. Технологический инструмент роторного бурения	45
§ 3. Забойные механизмы вращения долота	53
§ 4. Вспомогательный инструмент для роторного бурения	56
§ 5. Установки роторного бурения	57
§ 6. Технология роторного бурения с прямой промывкой и продувкой	69
§ 7. Роторное бурение с обратной промывкой	76
Контрольные вопросы к гл. 4.	80
Глава 5. Колонковое бурение.	80
§ 1. Область применения колонкового бурения	80
§ 2. Технологический инструмент колонкового бурения	81
§ 3. Вспомогательный инструмент и механизмы для спуско-подъемных операций	85
§ 4. Буровые установки колонкового бурения	87
§ 5. Технология колонкового бурения	91

§ 6. Бурение с гидротранспортом керна	94
§ 7. Бурение по полезному ископаемому и мероприятия по повышению выхода керна	97
Контрольные вопросы к гл. 5.	107
Глава 6. Ударно-вращательное бурение, предупреждение и ликвидация аварий	107
§ 1. Ударно-вращательное бурение с применением гидроударников	107
§ 2. Ударно-вращательное бурение с применением пневмоударников	111
§ 3. Причины аварий и их предупреждение	114
§ 4. Инструмент и методы ликвидации аварий	115
Контрольные вопросы к гл. 6.	119
Глава 7. Крепление и тампонирувание скважин.	119
§ 1. Конструкция скважин колонкового бурения	119
§ 2. Конструкция скважин на жидкие полезные ископаемые	121
§ 3. Оборудование и технология спуска обсадных колонн	123
§ 4. Цель и задачи тампонирувания	124
§ 5. Тампонажные материалы	125
§ 6. Тампонирувание скважин глиной	126
§ 7. Цементирование скважин	126
Контрольные вопросы к гл. 7.	129
Глава 8. Ударно-канатное бурение	129
§ 1. Сущность ударно-канатного бурения	129
§ 2. Технологический инструмент ударно-канатного бурения	131
§ 3. Вспомогательный инструмент ударно-канатного бурения	136
§ 4. Установки ударно-канатного бурения	137
§ 5. Подготовительные работы и забуривание скважины	138
§ 6. Технология ударно-канатного бурения	140
§ 7. Отбор проб и их документация при ударно-канатном бурении	146
§ 8. Причины аварий и их предупреждение	146
§ 9. Ликвидация аварий при бурении	147
Контрольные вопросы к гл. 8	149
Глава 9. Бурение неглубоких скважин	149
§ 1. Пенетрационное бурение	150
§ 2. Вибрационное бурение	151
§ 3. Вращательное шнековое бурение	156
§ 4. Ударно-канатное бурение неглубоких скважин	161
§ 5. Комбинированное бурение неглубоких скважин	165
§ 6. Геологическая документация и отбор проб при бурении неглубоких скважин	171
Контрольные вопросы к гл. 9	172
Глава 10. Оборудование водозаборных скважин.	173
§ 1. Фильтровая водоприемная часть скважины	173
§ 2. Бесфильтровая водоприемная часть скважины	183
§ 3. Водоподъемники	186
Контрольные вопросы к гл. 10	196
Глава 11. Способы бурения, вскрытия, опробования и освоения скважин на воду	196
§ 1. Способы бурения скважин на воду	196
§ 2. Конструкции скважин на воду при вращательном и ударно-канатном бурении	198

§ 3. Методика проектирования конструкции скважин на воду	201
§ 4. Техника и технология бурения вмещающих пород и вскрытия водоносных горизонтов	209
§ 5. Опробование водоносных горизонтов	213
§ 6. Освоение водоносных пластов	216
§ 7. Приборы для гидрогеологических исследований в скважинах	222
§ 8. Ремонт водозаборных скважин	224
§ 9. Геолого-техническая документация при сооружении скважин на воду	225
§ 10. Организация работ при бурении водозаборных скважин	228
§ 11. Охрана природы при производстве буровых работ	229
Контрольные вопросы к гл. 11	230

Часть II

Горно-разведочные работы

Глава 12. Основы горной геомеханики	231
§ 1. Горное давление	231
§ 2. Расчет горного давления	234
§ 3. Классификация и элементы горных выработок	237
§ 4. Техничко-экономические показатели при проведении горно-разведочных выработок	239
Контрольные вопросы к гл. 12	240
Глава 13. Проведение горно-разведочных выработок	240
§ 1. Проходка горизонтальных выработок	240
§ 2. Проведение наклонных горных выработок	246
§ 3. Стволы шахт круглого сечения	247
§ 4. Бурение стволов шахт	253
§ 5. Проходка прямоугольных стволов шахт	254
§ 6. Проведение шурфов	255
§ 7. Проходка разведочных канав	256
§ 8. Проведение горно-разведочных выработок в сложных горно-геологических условиях	257
§ 9. Взрывные работы при проведении горно-разведочных выработок	261
§ 10. Расчет параметров БВР на открытых горно-разведочных работах	265
§ 11. Механизация зарядания шпуров	267
§ 12. Погрузка и транспорт породы	269
§ 13. Подъем породы	270
Контрольные вопросы к гл. 13	273
Глава 14. Крепление, проветривание, водоотлив и освещение горных выработок	274
§ 1. Характеристика горной крепи	274
§ 2. Материалы горной крепи	274
§ 3. Крепь горизонтальных горных выработок	278
§ 4. Крепь и армировка вертикальных выработок	288
§ 5. Проветривание горных выработок	291
§ 6. Водоотлив в горных выработках	295
§ 7. Освещение горных выработок	298
Контрольные вопросы к гл. 14	299
Список литературы	300

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Бейсебаев Акылжан Масымханович
Туякбаев Негмет Туякбаевич
Федоров Борис Владимирович

БУРЕНИЕ СКВАЖИН И ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

Заведующий редакцией *Л.Н. Аважанская*, редактор издательства *Л.Ф. Маклакова*,
технические редакторы *Л.Н. Фомина*, *Н.С. Анашкина*, корректор *Э.А. Ляхова*,
операторы *Н.Я. Новикова*, *Н.В. Штанько*
ИБ № 7975

Подписано в печать с репродуцируемого оригинал-макета 23.03.90. Т – 05096.
Формат 60х90¹/₁₆. Бум. офсетная №1. Гарнитура Пресс-роман. Печать офсет-
ная. Усл.-печ. л. 19,0. Усл. кр.-отт. 19,0. Уч.-изд. л. 20,55. Тираж 4200 экз.
Зак № 884 /2184—4. Цена 1 руб.
Набор выполнен на наборно-пишущей машине

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра".
125047 Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Московская типография № 6 Государственного комитета СССР по печати
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.