

Практические расчеты

по бурению
скважин
на воду

А. В. МАЛОЯН Э. А. МАЛОЯН



МАЛОЯН А. В.], МАЛОЯН Э. А.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПО БУРЕНИЮ СКВАЖИН НА ВОДУ



Издательство «Н Е Д Р А»
Москва 1968

Практические расчеты по бурению скважин на воду.

М а л о я н А. В. }, М а л о я н Э. А. Издательство «Недра», 1968, стр. 203.

В книге рассматриваются практические вопросы, связанные с сооружением скважин на воду.

Решаются задачи по бурению, приводятся расчеты обсадных колонн, фильтров, а также расчеты, связанные с эксплуатацией бурового оборудования и цементировочными работами.

Кроме того, приведены основные сведения по технологии бурения, промывочным растворам, химическим реагентам, а также описываются пути безаварийной проводки скважин, конструкция скважины, режим бурения, влияние глинистых растворов на водоотдачу. Подробно описаны порядок ввода скважины в эксплуатацию и расчеты, связанные с опытными откачками.

В книге таблиц 67, иллюстраций 37, библиография 17 названий.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с ростом всех отраслей народного хозяйства в пятилетии во много раз возрастет водопотребление за счет использования подземных вод. Эта задача потребует проведения в широких масштабах буровых работ и гидрогеологических исследований для получения высококачественных источников водоснабжения.

После XVIII съезда партии, принявшего решение о создании нового нефтяного центра «Второе Баку», широко разворачиваются геологоразведочные работы и совершенствуется их техника. В послевоенные годы было осуществлено техническое перевооружение разведочных работ, совершенствуются буровые установки.

Прочные позиции завоевывает вращательное бурение. Внедряется шарошечное долото, буровой агрегат перестраивается на четыре скорости, увеличивается грузоподъемность блоков, совершенствуются и ускоряются спуско-подъемные операции, налаживается производство буровых установок на дизельном и электрическом приводах.

Проводятся важные научно-исследовательские работы в области глинистых растворов, в результате которых было начато систематическое измерение и контроль их свойств при проводке скважин.

Известно большое количество разнообразных способов бурения, однако широкое промышленное применение в настоящее время имеют лишь немногие из них. Способы бурения можно классифицировать по характеру воздействия на горные породы: механическое, термическое, электроискровое и т. д. Механические способы бурения можно подразделить по виду привода, по характеру движения разрушающего породу бурового наконечника (возвратно-поступательное или вращательное) и по способу удаления выбуренной породы (промывкой или без нее).

При бурении эксплуатационных скважин на воду для водоснабжения основной задачей является получение из данного водоносного комплекса необходимого количества доброкачественной воды. Эта задача зависит от гидрогеологических условий водоносного горизонта.

Учитывая небольшие глубины бурения и специфические условия вскрытия и освоения водоносных горизонтов на приток, а также существующую техническую характеристику бурового оборудования, применяющегося для бурения скважин на воду, здесь нельзя

полностью применить способы и приемы нефтяного бурения. Так, при бурении скважин на нефть осевую нагрузку создают из расчета 1 Т на 1 мм долота, а скорость восходящего потока глинистого раствора берется равной 0,8—1,2 м/сек. При бурении скважин на воду перечисленные условия практически не могут быть использованы из-за технических данных применяемых буровых установок.

При установлении режима бурения скважин на воду необходимо исходить из реальных возможностей существующего парка буровых установок и того технологического процесса проводки скважины, которые уже частично выработаны буровыми организациями, осуществляющими работы по бурению скважин на воду буровыми установками типа УРБ-ЗАМ и УРБ-4ПМ.

Несмотря на то что указанные буровые агрегаты сконструированы и изготовлены применительно к требованиям геологопоисковых работ нефтяной промышленности и не могут в полной мере удовлетворить техническим условиям бурения скважин на воду, инженерно-техническими работниками треста Промбурвод внесен ряд конструктивных изменений, позволивших повысить эффективность применения этих станков при бурении скважин на воду больших диаметров роторным способом.

От количества и качества подаваемой в скважину промывочной жидкости зависит как скорость бурения скважины, так и ее окончание без осложнений и притока глубинных вод. В различных геологических условиях качество и характер промывочной жидкости изменяются. При бурении рыхлых неустойчивых пород, подверженных обвалам и оползням, применяется глинистый раствор, приготовленный из особых глин, не имеющих примесей песка. Когда водоносный пласт вскрывается глинистым раствором, необходимо, чтобы он был приготовлен из высококоллоидальной бентонитовой глины. При вскрытии и прохождении трещиноватых пород бурение значительно осложняется и для предупреждения поглощения раствора применяется промывочная жидкость повышенной вязкости. Плотные и устойчивые породы обычно разбуривают чистой водой, что способствует повышению эффективности работы долота, увеличению продолжительности его пребывания на забое, сокращению расхода глины и химических реагентов, удлинению срока службы трущихся деталей бурового насоса.

Чтобы обеспечить нормальную работу водоподъемного оборудования, ствол скважины крепят обсадными трубами, а пространство между наружной поверхностью обсадных труб и стенками скважины заполняют цементным раствором.

При бурении скважин на воду с применением глинистого раствора вследствие большого измельчения проходимых пород и глинизации стенок скважины не всегда можно точно отбить не только контактирующие поверхности водоносного пласта, но и сам пласт. В этом случае используют геофизические методы исследования скважин: электрокаротаж, гамма-каротаж, БКЗ, отбор образцов

пород грунтоносом. Только точно установленный водоносный пласт, точное определение литологии пройденных пород позволяют правильно подобрать тип фильтра для скважины и установить его против водоносного горизонта.

Электрокаротаж основан на определении электрического сопротивления горных пород при прохождении через них электрического тока. Этот метод исследования позволяет правильно выделить возможные коллекторы с пресной или минерализованной водой. Электрокаротаж позволяет установить место притока или место поглощения воды, что имеет большое значение в практике и технологии бурения скважины.

Значительное время занимает монтаж наземных сооружений (сборка вышки, установка бурового агрегата, монтаж его оборудования). Самоходные и передвижные буровые установки типа УРБ-ЗАМ представляют собой компактные транспортабельные установки, основные преимущества которых заключаются в том, что в процессе эксплуатации их можно быстро перемещать на новые точки бурения, так как все оборудование смонтировано на платформе автомобиля МАЗ-200.

Большой опыт и огромное количество скважин на воду, пробуренных на территории Советского Союза, требуют совершенно нового решения проблемы роста скорости при роторном способе бурения, улучшения процесса разглинизации водоносных горизонтов и удешевления стоимости сооружения скважин на воду. Основным, качественно новым направлением в развитии технологии бурения следует считать радикальное упрощение и облегчение конструкции скважин, которое должно осуществляться одновременно двумя путями.

1) при бурении разведочно-эксплуатационных скважин необходимо отказаться от применения долот больших диаметров;

2) в скважинах на воду (с дебитом до $10 \text{ м}^3/\text{ч}$) необходимо полностью перейти на бурение скважин с малыми диаметрами. Реализация указанных направлений резко уменьшит расход металла (на обсадные, бурильные трубы и долота), цемента, топлива, глины и воды, а также ускорит и удешевит строительство скважин.

Глава I

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ

§ 1. ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН

Способ бурения для сооружения скважин на воду нужно выбирать с учетом ряда факторов, основными из которых являются геологические условия бурения; глубины и диаметры скважины; назначение скважины; рельеф местности, условия транспортировки грузов, удаленность точек бурения от производственной базы, а также масштабы буровых работ и степень их концентрации. Наиболее сложным и ответственным разделом технологии проводки скважин на воду является режим бурения, который определяется в зависимости от гидрогеологических условий, физико-механических свойств проходимых пород и типа применяемого оборудования и инструмента.

§ 2. РЕЖИМ БУРЕНИЯ

При проектировании технологического процесса проводки скважины для отдельных интервалов бурения устанавливают соответствующий режим.

Под режимом бурения понимается совокупность основных факторов, определяющих скоростные и качественные показатели, оказывающие непосредственное влияние на эффективность разрушения породы. К таким факторам относятся тип долота, осевая нагрузка на долото, скорость вращения ротора, количество и качество подаваемой в скважину промывочной жидкости. Правильное сочетание элементов режима бурения определяется в зависимости от крепости проходимых пород, профиля зубьев и характера их расположения у шарошечных долот, диаметра долота и бурильного инструмента, глубины скважины, а также типа, качества и состояния бурового оборудования.

Для отдельных интервалов бурения при определении оптимальных режимов следует руководствоваться геолого-гидрогеологическими условиями района бурения скважины, а также физико-механическими свойствами пород. Так, бурение в направлении, перпен-

дикулярном напластованию пород, идет значительно медленнее, чем бурение по падению пласта. Породы, представленные крупнокристаллической структурой, обладают лучшей буримостью, чем породы с мелко- и скрытокристаллической структурой.

Под оптимальным или рациональным режимом бурения понимается совокупность параметров, обеспечивающих наилучшие технико-экономические показатели как качественные, так и количественные. К качественным показателям следует относить величину отклонения ствола пробуренной скважины от вертикали, степень глинизации водосодержащего коллектора; к количественным — скорость проходки, величину долбления долота и др. Нельзя бурить на форсированном режиме, если этот процесс связан с чрезмерными перегрузками бурового оборудования, бурильного инструмента. Наиболее ответственным этапом при проходке скважины является вскрытие водоносного горизонта. При вскрытии таких горизонтов, намечаемых для дальнейшей постоянной эксплуатации, необходимо точно подобрать режим бурения, учитывающий возможность получения максимального дебита воды. Практика бурения скважин показала, что параметры режима бурения взаимосвязаны и изменение одного из них для получения наибольшего эффекта приводит к необходимости соответствующего изменения и других параметров режима бурения.

Как правило, установками УРБ-ЗАМ и УРБ-4ПМ бурят скважины, диаметр которых превышает 273 мм, в таких случаях бурят с применением бурильных труб диаметром 73 и 89 мм. В результате применения бурильного инструмента, диаметр которого значительно отличается от диаметра скважины, нельзя создать требуемую нагрузку на долото; это является одним из препятствий при разработке рациональных режимов бурения скважин на воду. Существующие в настоящее время режимы бурения для скважины большого диаметра установлены практически; поинтервално для каждого горизонта пород режимы бурения указываются в геологическом наряде.

§ 3. ОСЕВАЯ НАГРУЗКА НА ДОЛОТО

Осевую нагрузку на долото следует устанавливать, изменяя скорость движения, т. е. подачи на забой бурильного инструмента. Нагрузка на долото должна создаваться весом бурильных и утяжеленных труб. Увеличение осевой нагрузки способствует росту скорости проходки, которая может изменяться в зависимости от крепости и других характеристик проходимых пород.

Важное значение в процессе бурения скважины на воду имеет равномерность подачи бурильного инструмента на забой, сочетаемая с правильным выбором нагрузки на долото и его отработкой. Равномерная подача инструмента — один из основных факторов увеличения механических скоростей. При проходке твердых пород долотами шарошечного типа увеличение нагрузки приводит к повышению

скорости бурения при условии одновременного увеличения скорости вращения ротора. При этом очень часто равномерность подачи обуславливает также и сокращение расхода буровых долот на 1 м проходки.

Повышение скорости бурения при увеличении осевой нагрузки на долото находится в прямой зависимости от количества и качества промывочной жидкости, которая в процессе разрушения породы должна обеспечить своевременную очистку забоя от шлама. Для лучшей очистки забоя нагрузка, созданная бурильным инструментом на всю площадь соприкосновения долота с породой, отнесенная к единице площади (т. е. удельное давление), должна превышать сопротивление породы разрушению долотом при соответствующем профиле зуба шарошечного долота. Необходимо, чтобы при бурении скважины во время работы долота на забое поддерживалось относительно постоянное удельное давление, а суммарная нагрузка на долото непрерывно изменялась в требуемых пределах, при этом обязательно следует учитывать состояние бурильного инструмента. Это имеет важное значение при бурении водяных скважины большого диаметра при малых диаметрах бурильного инструмента.

Буровые установки типа УРБ-ЗАМ не имеют индикаторов веса, с помощью которых должна осуществляться равномерная подача инструмента с определенной нагрузкой на долото. В результате равномерная подача часто осуществляется при помощи ленточного тормозного приспособления буровой лебедки станка.

Бурильщик должен уметь равномерно подавать инструмент на забой. В процессе бурения скважины новым долотом, т. е. в начале нового рейса, бурильщик должен очень осторожно замедлить спуск и с наименьшей нагрузкой проработать ствол скважины начиная с 5—10 м от забоя. Только по достижении первоначальной глубины можно увеличить нагрузку до определенной для данного горизонта величины.

Осевую нагрузку на долото следует создавать за счет применения утяжеленных бурильных труб. Длину утяжеленных бурильных труб (УБТ) нужно подсчитать таким образом, чтобы 75% их общего веса создавали нагрузку на долото, а 25% их веса составляли силу, растягивающую колонну бурильных труб. Эта закономерность приемлема при соотношении диаметров бурильных труб и долота 1 : 2.

При бурении скважин на воду осевая нагрузка на долото создается весом УБТ из расчета 300—500 кг на 1 см диаметра долота, а при форсированном режиме бурения нагрузку дополнительно увеличивают на 40—50%.

Накопленный большой опыт бурения скважин на воду показывает, что большие скорости проходки при существующем парке буровых насосов (11Гр) иногда вызывают осложнения в стволе. При этом недостаточная производительность буровых насосов не обеспечивает своевременный и полный вынос разбуренной породы на поверхность. В связи с этим при бурении в мягких породах нагрузку на долото следует несколько ограничивать. После разбу-

ривания такого участка и перед подъемом инструмента для смены сработанного долота ствол скважины должен быть промыт из расчета не менее двух циклов находящегося в нем раствора.

Создание вертикальности ствола скважины, пробуренной для эксплуатации водоносного горизонта, имеет особое значение, так как это необходимое условие при эксплуатации глубинными погружными насосами. Кроме того, в искривленном стволе значительно ухудшаются условия работы бурильного инструмента, осложняются спуско-подъемные операции, а также работы, связанные с ликвидацией осложнений. Применяемые утяжеленные бурильные трубы (УБТ) благодаря своей жесткости меньше подвержены продольному изгибу, вследствие чего устраняются многие факторы, способствующие искривлению скважины.

Для предупреждения искривления скважины необходимо снижать нагрузку на долото при переходе из пласта одной твердости в пласт другой твердости, при бурении трещиноватых пород; при увеличении плотности и твердости проходимых пород; при увеличении механической скорости, так как вследствие недостаточной производительности насос 11Гр не может обеспечить очистку забоя и вынос шлама на поверхность; кроме того, осевая нагрузка для долот трехшарошечного типа в скальных породах должна составлять примерно 300—350 кг на 1 см диаметра долота, в рыхлых и мягких породах — 70—100 кг.

Несоблюдение перечисленных условий приводит к искривлению ствола скважины. Спущенная в искривленную скважину колонна обсадных труб затрудняет цементирование колонны вследствие прилегания части ее к стенкам скважины. При этом цементный раствор неравномерно поступает по окружности трубы и в затрубном пространстве не образуется сплошное цементное кольцо.

Скважины могут искривляться вследствие геологических и технических причин. К геологическим относятся: частая перемежаемость проходимых пород с резко отличающейся друг от друга крепостью; большие углы падения пластов (особенно при прохождении в твердых породах); наличие валунов, заключенных в мягких породах. К техническим причинам искривлений скважины относятся: несовпадение центра кронблока и устья скважины; негоризонтальная установка стола ротора; кривизна ведущей и бурильных труб; раскачивание ведущей трубы в процессе бурения и особенно в начале забуривания скважины; бурение скважины большого диаметра бурильным инструментом малого диаметра; отсутствие в колонне бурильного инструмента УБТ или недостаточное его количество; большой зазор между роторными вкладышами и квадратными зажимами (он должен быть не более 2—3 мм на сторону); нарушение условия, при котором забуривание скважины следует начинать при минимальных скорости вращения ротора и нагрузке на долото.

В практике бурения скважин на воду широко применяются буровые установки типа УБР-4ПМ, которыми бурят скважины на воду

глубиной до 1000 м. На этих буровых станках применяют гидравлический индикатор веса типа ГИВГ, который показывает вес свободно подвешенного инструмента; нагрузка определяется как разность первоначального веса инструмента и веса инструмента, частично поставленного на забой. По диаграмме индикатора веса можно проанализировать время, затраченное на бурение и другие вспомогательные операции.

§ 4. СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА

Скважины можно бурить при двух режимах: 1) большой скорости вращения ротора и малой осевой нагрузке на долото и 2) небольшой скорости вращения ротора и повышенной осевой нагрузке.

Скорость вращения ротора и осевая нагрузка на долото прямо пропорциональны механической скорости проходки, однако это положение справедливо только для пород средней твердости. При бурении в твердых породах осевую нагрузку на долото нужно увеличивать, а скорость вращения ротора снижать.

Скорость вращения ротора снижают при увеличении диаметра долота, уменьшении диаметра бурильных труб, увеличении абразивности проходимых пород, при переходе из пласта меньшей твердости в пласт большей твердости, а также при бурении чередующихся пластов небольшой мощности. В связи с тем что большая скорость вращения ротора вызывает значительные инерционные напряжения, для каждого диаметра бурильного инструмента на основании расчета устанавливают допустимую скорость вращения ротора, которая определяется по формуле

$$n = \frac{3D\pi}{l^2} \sqrt{\frac{\epsilon l q}{g}},$$

где D — диаметр бурильных труб в м; n — допустимая скорость вращения ротора в об/мин; l — длина вращающихся бурильных труб в м; ϵ — модуль упругости, равный $2,1 \cdot 10^6$ кг/см²; g — ускорение силы тяжести, равное 9,8 м/сек²; q — вес 1 м бурильных труб в кг.

Наилучшие показатели по механической скорости и проходке за один рейс в породах средней твердости при бурении скважин на воду буровыми установками типа УРБ-ЗАМ и УРБ-4ПМ получены при скорости вращения ротора 120—250 об/мин.

Таким образом, экономичнее и целесообразнее бурить скважины на воду по второму режиму, который обеспечивает достаточную скорость, а следовательно, и большую проходку на одно долото.

§ 5. КОЛИЧЕСТВО И КАЧЕСТВО ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ

Ствол скважин, особенно осложненных, длительное время находится в необсаженном состоянии при значительном всестороннем давлении, что является причиной обвалов и осыпей, вызывающих посадки, затяжки, прихваты бурильного инструмента, недоходы

обсадных колонн до проектных глубин. Проходка ствола скважин в неустойчивых породах также осложняет процесс бурения, так как такие породы способствуют обвалам и вследствие этого прихватам бурильного инструмента. Кроме этого, в некоторых районах, подверженных карстообразованию, ствол скважины иногда попадает в огромные каверны.

Для устранения осложнений скважину бурят с применением высококачественной промывочной жидкости. Непрерывная циркуляция промывочной жидкости в стволе скважины обеспечивает не только очистку забоя от выбуренной породы, но и охлаждение и смазку долота. Глинистый раствор имеет большое значение при возникновении различного рода осложнений, так как благодаря давлению жидкости на стенки скважины они удерживаются от обрушения.

В качестве промывочной жидкости в устойчивых породах вместо глинистого раствора применяется вода. Промывка скважины должна обеспечить:

1) полную очистку забоя скважины от выбуренной породы, вынос ее на дневную поверхность;

2) глинизацию стенок пройденного интервала, что укрепляет неустойчивый ствол скважины вследствие гидростатического давления столба жидкости на стенки скважины.

В связи с этим глинистый раствор для выполнения указанных функций должен обладать достаточным удельным весом, облегчать разрушение твердых пород, не должен растворять или вызывать разбухание породы;

3) при остановках или прекращении работы буровых насосов находящаяся в глинистом растворе разбуренная порода не должна оседать на забой;

4) глинистый раствор не должен содержать более 4% песка;

5) промывочный раствор должен быть таким, чтобы обеспечить возможность проведения электрометрических работ в скважине;

6) компоненты, необходимые при приготовлении глинистого раствора, должны быть дешевы.

Примеси песка и других крупных инертных частиц снижают качество глинистого раствора, так как они уменьшают потенциальную способность глинистого раствора к выносу выбуренной породы, стабильность раствора и усиливают износ деталей насоса, вертлюга и шланга.

Для определения процентного содержания песка в глинистых растворах применяется отстойник Лысенко.

Чистая вода, применяемая в качестве промывочной жидкости при бурении в устойчивых породах, имеет преимущества, основными из которых являются: уменьшение износа долот, бурильных труб, буровых насосов и пр.; эффективное и быстрое освоение водонесных горизонтов; повышение скорости бурения.

Вода может применяться при бурении глинистых отложений, образуя в них естественные глинистые растворы. В некоторых случаях

циркулирующий водяной раствор при прекращении циркуляции не может удержать во взвешенном состоянии частицы выбуренной породы; кроме того, разрушает недостаточно устойчивые породы, вызывая при этом обвалы ствола скважины.

Промывка скважины водой при бурении водяных скважин возможна лишь тогда, когда работают буровые насосы с производительностью 10—16 л/сек, т. е. насосы типа 9Гр, обеспечивающие достаточные скорости восходящего потока и подъем шлама с забоя скважины на поверхность. Если воду применяют при проходке трещиноватых отложений, когда жидкость поглощается в кавернах или трещинах, то основным условием должно быть достаточное количество воды, обеспечивающее охлаждение долота.

При бурении скважины с промывкой чистой водой буровая бригада должна тщательно следить за работой инструмента. Нельзя бурить скважину с промывкой водой в неустойчивом, склонном к обвалу интервале. Перед наращиванием инструмента или подъемом бурильных труб ствол скважины должен быть полностью очищен от шлама, для этого скважину промывают с вращением инструмента, не углубляя ее.

Можно углублять скважину, если имеется уверенность в том, что вместе с водой в трещины или каверны уходит шлам; при этом следует периодически прекращать проходку, приподнимать бурильный инструмент, убеждаясь в чистоте забоя. Бурение в породах с небольшой трещиноватостью (особенно в известковых породах) с промывкой водой может привести к закупорке трещин разбуренной породой — в этом случае лучше применять глинистый раствор повышенной вязкости.

При прохождении пород, содержащих растворимые в воде соли, в качестве промывочной жидкости применяют насыщенные солевые растворы; они применяются также при бурении в условиях вечной мерзлоты, так как температура замерзания таких растворов ниже нуля.

Для регулирования параметров глинистого раствора в зависимости от проходимых пород его обрабатывают специальными химическими реагентами.

§ 6. ПРОДУВКА СКВАЖИН

В последнее время в качестве рабочего агента чаще всего применяют воздух, выхлопные газы от д. в. с. и аэрированную жидкость. Основные преимущества бурения скважин с продувкой газообразными агентами таковы:

- 1) механическая скорость бурения по сравнению с бурением с промывкой жидкостью увеличивается в 4—5 раз, а стойкость буровых наконечников — в 10 раз;

- 2) устраняются расходы на приобретение, транспортировку воды, глины и реагентов, приготовление и обработку растворов;

- 3) иногда можно без осложнений бурить интервалы полного поглощения промывочной жидкости;

4) облегчаются гидрогеологические наблюдения в скважинах, легко обнаруживаются водоносные горизонты;

5) устраняются загрязнения призабойной зоны в разведочных и эксплуатационных водяных скважинах, вследствие чего значительно облегчается освоение и увеличиваются дебиты при эксплуатации;

6) устраняются простои буровых из-за отсутствия промывочной жидкости или ее замерзания.

К недостаткам бурения с продувкой газообразными агентами относятся:

1) усиленный абразивный и (при наличии водопритоков в скважине) коррозионный износ бурильных труб; борьба с коррозионным износом успешно ведется подщелачиванием воды известью в количестве 10 кг/м^3 воды; если учесть значительное увеличение механической скорости, то износ, отнесенный к 1 м проходки, обычно не превышает износа при бурении с промывкой;

2) при бурении с продувкой необходимо заполнить скважину жидкостью для проведения электрокаротажа и торпедирования;

3) оборудование, устанавливаемое на скважине при продувке, усложняется; в результате эксплуатации компрессоров стоимость одной станко-смены при бурении с продувкой, как правило, оказывается больше стоимости станко-смены при бурении с промывкой.

Однако, несмотря на недостатки бурения с продувкой, в ряде случаев получается значительная экономия.

Расход воздуха при бурении

Наиболее совершенный способ расчета, который основан на эквивалентной скорости и учитывает не только изменение давления и температуры по стволу скважины, но и влияние веса шлама, содержащегося в восходящем потоке воздуха, на подъемную силу этого потока, предложил Энджел. Основной недостаток этого способа — не учтено влияние стесненных условий движения частиц шлама на подъемную силу потока, вследствие чего расчетные расходы воздуха или газа в безводных скважинах несколько завышены; кроме того, отсутствие рекомендаций в случае водопритоков.

В табл. 1 указаны рассчитанные по методике Энджела величины, необходимые для определения расхода воздуха при эквивалентной скорости $v_{\text{взв}} = 15 \text{ м/сек}$. Расход воздуха при помощи этой таблицы рассчитывают по формуле

$$Q = Q_0 + nL,$$

где Q — расчетный расход воздуха при нормальных условиях в $\text{м}^3/\text{мин}$; $Q_0 = v_{\text{взв}} F_{\text{кольца}}$ — расход, определенный без поправок на глубину и количество образующегося шлама, в $\text{м}^3/\text{мин}$; n — коэффициент, учитывающий глубину скважины и изменение подъемной силы на забое скважины вследствие наличия шлама в восходящем потоке воздуха в $\text{м}^3/\text{мин}$ на 1000 м; L — глубина скважины в км.

Таблица 1

Диаметр скважины, мм	Наружный диаметр бурильных труб, мм	$Q_0 = v \cdot F_{\text{кольца}}$ м ³ /мин	Коэффициент n в м ³ /мин на 1000 л при механической скорости, м/ч			
			0	9,1	18,3	27,4
229	127	25,4	4,56	6,78	8,77	10,60
	114	27,6	4,28	6,36	8,22	9,94
240	89	31,6	3,85	5,67	7,34	8,87
	127	23,4	4,55	6,75	8,66	10,40
	114	26,0	4,27	6,30	8,10	9,75
200	89	29,2	3,79	5,57	7,18	8,70
	114	19,0	4,15	6,04	7,68	9,13
187	89	22,6	3,64	5,27	6,73	8,07
	89	19,1	3,58	5,11	6,48	7,73

Пример. Определить расход воздуха, необходимый для бурения скважины диаметром 190 мм и глубиной 200 м при использовании 89-мм бурильных труб при механической скорости проходки 9,1 м/ч.

Решение. $Q = 19,1 \cdot 0,2 \times 5,11 \approx 20,1$ м³/мин.

Специальное оборудование скважин для бурения с продувкой

Для бурения скважин с продувкой применяют в основном передвижные компрессорные станции. Технические данные некоторых станций приведены в табл. 2

Таблица 2

Тип компрессора	Марка компрессора	Производ., м ³ /сек	Рабочее давление, кг/см ²	Марка двигателя	Габаритные размеры компрессорной станции, мм				Сухой вес станций, кг
					длина с дышлом	длина без дышла	ширина	высота	
Передвижной	ЗИФ-55	5	7	ДВС, ЗИЛ-121	4480	3460	1820	1785	2750
»	ДК-9	9	7	КДМ-46	6350	5035	1850	2550	5500
»	КС-9	9	7	КДМ-46	—	5080	1820	2110	6100
	КС-10	10	7	—	—	3420	975	1629	2000
	2СК	12	9	—	—	4530	1050	1040	3000

Примечание. Компрессоры КС-10 и 2СК являются свободно поршневыми дизель-компрессорами (СПДК).

Для защиты обслуживающего персонала и оборудования от шламовой пыли и выбросов аэрированной жидкости устье скважины необходимо герметизировать. Наиболее приемлемым герметизатором устья для бурения водяных скважин является уплотнение ГС-2, предназначенное для работы с ведущими трубами призматиче-

ческого сечения размером 80×80 мм и разработанное в МИНХиГП им. И. М. Губкина (рис. 1). Конструкция уплотнения проста, его можно изготовить в мастерских буровых предприятий.

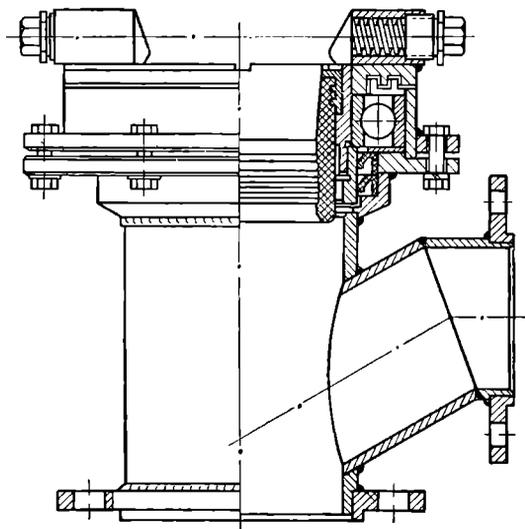


Рис. 1. Разрез уплотнения устья скважины ГС-2.

§ 7. БУРЕНИЕ С ПРОМЫВКОЙ АЭРИРОВАННОЙ ЖИДКОСТЬЮ

При этом способе промывки в скважину непрерывно подают одновременно с воздухом некоторое количество жидкости. Этой жидкостью может быть вода или глинистый раствор. Восходящий поток в скважине представляет собой аэрированную смесь, содержащую жидкости в которой равно или близко к расходу закачиваемой жидкости.

При бурении с промывкой аэрированной жидкостью можно регулировать в широких пределах гидростатическое давление на породы, обнажающиеся в скважине. Это достигается изменением соотношения между количеством воздуха и жидкости, подаваемыми в скважину. Применение аэрированной жидкости позволяет успешно бурить сильно проницаемые и трещиноватые или кавернозные водоносные горизонты, характеризующиеся низкими пластовыми давлениями. Бурение в таких условиях затруднительно как при промывке жидкостью (вследствие катастрофических поглощений промывочной жидкости), так и при продувке воздухом (вследствие притока в скважину больших количеств воды, создающих трудные условия для работы компрессоров).

Средний удельный вес смеси в нисходящем потоке при бурении с промывкой аэрированной жидкостью в бурильных трубах, где воздух (газ) находится под высоким давлением и занимает малый

объем, больше, чем средний удельный вес смеси в кольцевом пространстве. Поэтому давление на компрессоре и на насосе во время бурения (за исключением начального момента, когда устанавливается циркуляция в скважине) обычно бывает ниже, чем при бурении с жидкостной промывкой.

При бурении с промывкой аэрированной жидкостью подача жидкости и воздуха в отдельности обычно бывает значительно меньше, чем подача их при бурении с промывкой и продувкой. Основное значение здесь имеет следующее соотношение подачи жидкости и воздуха:

$$\alpha = \frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{ж}}},$$

где $Q_{\text{в}}$ — объем воздуха, подаваемого в единицу времени, приведенный к нормальным условиям или к условиям всасывания компрессора, в м^3 ; $Q_{\text{ж}}$ — объем жидкости, подаваемой в единицу времени, в м^3 .

Такое соотношение называется степенью аэрации; оно определяет величину давления, оказываемого столбом аэрированной жидкости, поднимающейся в кольцевом пространстве, на забой и стенки скважины. Для выбора абсолютных величин подачи жидкости и воздуха количественные зависимости в достаточно простой для практического использования форме еще не разработаны. Подача жидкости в начале аэрации должна быть минимально достаточной для очистки забоя от шлама, а по установлении стабильной циркуляции рекомендуется ее снижать, увеличивая в то же время подачу воздуха.

Все эти рекомендации применимы в основном для предварительного проектирования работ, подбора оборудования и инструмента. В производственных условиях наивыгоднейшее соотношение подачи воздуха и жидкости легко устанавливается опытным путем.

ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИН, РАСЧЕТ КОЛОНН ОБСАДНЫХ ТРУБ

§ 1. КОНСТРУКЦИЯ СКВАЖИНЫ

Строительство скважины состоит из двух последовательно идущих процессов: бурения скважины и ее крепления. Бурение — это разрушение пород и создание ствола скважины. Цель крепления ствола скважины — во-первых, закрепить ее стенки, сделать их устойчивыми против усилий, создаваемых боковым давлением пород, и, во-вторых, изолировать друг от друга разнородные пласты.

Кроме того, в закрепленной скважине устье и стенки скважины защищены от механических повреждений как в процессе строительства скважины, так и в процессе ее эксплуатации, которая обеспечила бы нормальную и длительную работу скважины.

§ 2. ДИАМЕТР СТВОЛА СКВАЖИНЫ

Основным элементом при сооружении скважины является ее технический разрез, т. е. конструкция скважины, которая определяется диаметром, глубиной спуска и числом обсадных колонн, толщиной стенок труб, диаметром самой скважины на разных ее глубинах, высотой подъема цемента за трубами (рис. 2).

Выбор правильной, рациональной конструкции скважины имеет важное значение для ее успешной проводки, поэтому для доведения обсадных колонн до намеченных глубин необходимо определить

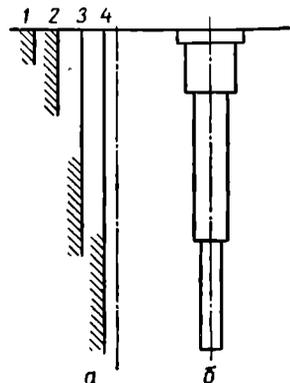


Рис. 2. Конструкция скважины.

а — технический разрез скважины; б — соответствующий ему ствол скважины.

диаметр ствола скважины. Обычно для этого пользуются данными практики бурения — величинами зазоров просвета и коэффициентов просвета скважины (рис. 3).

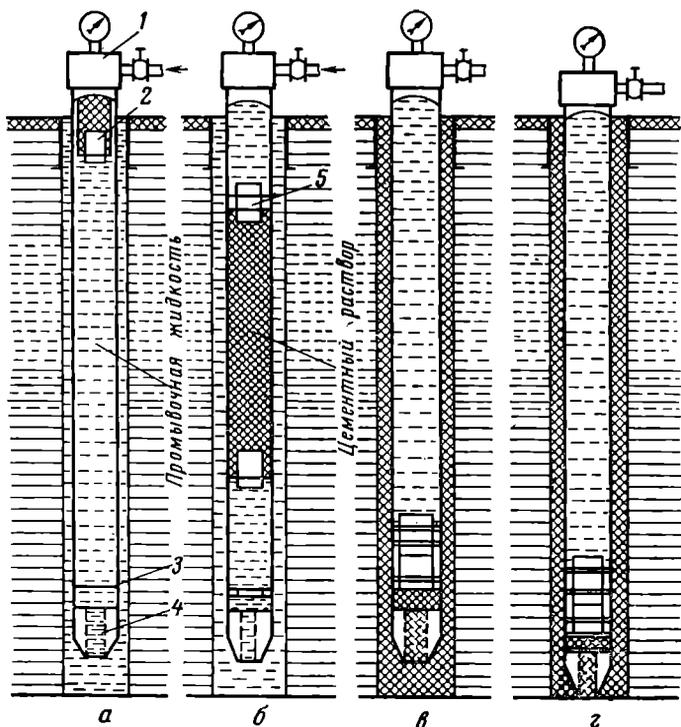


Рис. 3. Схема цементирования скважин.

а — спуск нижней цементировочной пробки; *б* — спуск верхней цементировочной пробки; *в* — окончание цементирования; *г* — твердение цементного раствора; 1 — цементировочная головка; 2 — нижняя цементировочная пробка; 3 — упорное кольцо; 4 — башмачная пробка; 5 — верхняя цементировочная пробка.

Величина зазора или просвета скважины определяется по формуле

$$\beta = \frac{D_{\text{скв}} - D_{\text{м}}}{2},$$

где β — величина зазора или просвета в мм; $D_{\text{скв}}$ — диаметр скважины в мм; $D_{\text{м}}$ — наружный диаметр муфты в мм.

Рекомендуемые значения величин зазора изменяются в пределах от 15 до 50 мм и зависят от жесткости колонны, степени искривления ствола скважины (табл. 3)

Диаметр долота под соответствующий размер обсадных труб нужно выбирать с учетом минимально допускаемых просветов и усло-

вий бурения скважины. Если величину зазора скважины отнести к диаметру скважины, т. е.

$$\eta = \frac{\beta}{D_{\text{скв}}} = \frac{D_{\text{скр}} - D_{\text{м}}}{2D_{\text{скв}}},$$

то получим значение коэффициента просвета скважины. Из данной формулы можно получить значение диаметра скважины, выраженное через коэффициент просвета и диаметр муфты

$$D_{\text{скв}} = \frac{1}{1 - 2\eta} D_{\text{м}}.$$

Если величину $\frac{1}{1 - 2\eta}$ обозначить через f , то получим

$$D_{\text{скв}} = f D_{\text{м}}.$$

Из формулы видно, что диаметр скважины можно определить умножением диаметра муфты обсадной колонны, подлежащей спуску в скважину, на расчетный коэффициент f (табл. 4).

Таблица 4

Обсадная колонна	Наружный диаметр, колонны, мм	Наружный диаметр муфты, мм	Минимальное значение коэффициента f
Кондуктор	426	451	1,11
»	377	402	1,12
»	325	351	1,14
Промежуточная колонна	273	298	1,17
»	219	243	1,23
Эксплуатационная колонна	168	188	1,32—1,47
»	146	166	1,18—1,35

§ 3. ПРИМЕРЫ ОБОСНОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИН

Задача 1.

Обосновать конструкцию эксплуатационной скважины на глубину 1200 м для Московского мясокомбината.

Согласно геологическому разрезу можно принять конструкцию скважины двухколонной. На глубине 500—600 м ожидается зона поглощения и ухода глинистого раствора, поэтому необходимо изолировать указанные зоны спуском и цементированием промежуточной колонны обсадных труб на глубину примерно 600 м. Диаметр эксплуатационной колонны принимаем равным 146 мм.

Решение.

На основании данных табл. 4 находим, что минимальным диаметром долота под 146-мм колонну будет

$$D_{\text{min}} = 1,18 \times 166 = 196 \text{ мм.}$$

Чтобы пропустить долото диаметром 196 мм через промежуточную колонну обсадных труб, минимальный внутренний диаметр последней должен быть

$$D_{\text{кол}} = 196 + 6 = 202 \text{ мм},$$

а наружный диаметр соответствует колонне труб диаметром 219 мм.

Для этого необходимо пробурить ствол скважины под промежуточную колонну диаметром 219 мм долотом согласно формуле (см. табл. 4)

$$D_{\text{скв}} = 1,23 \times 243 = 299 \text{ мм}.$$

Чтобы долото диаметром 299 мм пропустить через колонну труб, кондуктор должен иметь диаметр 325 мм.

По формуле определяем диаметр долота под ствол скважины для спуска кондуктора

$$D_{\text{скв}} = 1,44 \times 351 = 400 \text{ мм}.$$

Согласно геологическому разрезу в данной точке бурения кондуктор предполагается спустить на глубину 150 м. Для прохода долота диаметром 400 мм шахтное направление скважины должно быть не менее

$$D_{\text{min}} = 400 + 6 = 406 \text{ мм}.$$

Грунтовые условия позволяют спуск шахтного направления на глубину порядка 4—5 м.

З а д а н и е 2.

Рассчитать конструкцию эксплуатационной скважины для консервного комбината (г. Хасов-Юрт) глубиной 800 м. Согласно проекту дебит скважины должен составить не менее 16 м³/ч. Скважина проводится одноколонной диаметром 168 мм. Кондуктор может быть спущен на глубину 120 м.

Р е ш е н и е.

Диаметр скважины под 168-мм эксплуатационную колонну должен быть (см. табл. 4)

$$D_{\text{min}} = 1,32 \times 188 = 248 \text{ мм}.$$

Чтобы пропустить долото диаметром 248 мм через колонну труб, минимальный внутренний диаметр должен быть

$$D_{\text{кол}} = 248 + 6 = 254 \text{ мм},$$

а наружный диаметр 273 мм.

Для спуска в скважину колонны обсадных труб диаметром 273 мм необходимо пробурить ствол скважины долотом (см. табл. 4)

$$D_{\text{скв}} = 1,17 \times 298 = 349 \text{ мм}.$$

По формуле определяем диаметр скважины под 377-мм кондуктор

$$D_{\text{скв}} = 1,12 \times 402 = 450 \text{ мм}.$$

Шахтное направление должно быть не менее

$$450 + 6 = 456 \text{ мм}.$$

З а д а н и е 3.

Определить конструктивные размеры ствола скважины, запроектированной на глубину 340 м, при следующей конструкции: шахтное направление диаметром 325 мм на глубину 5 м, 219-мм кондуктор — на глубину 110 м, 146-мм эксплуатационная колонна на глубину 340 м.

Р е ш е н и е.

Находим, что для бурения под 146-мм эксплуатационную колонну минимальным диаметром долота следует считать

$$D_{\min} = 1,18 \times 166 = 196 \text{ мм.}$$

Чтобы пропустить долото диаметром 196 мм через кондуктор, он должен быть не менее 219 мм. Для этого нужно пробурить ствол скважины под трубы 219 мм диаметром

$$D_{\text{скв}} = 1,23 \times 243 = 299 \text{ мм.}$$

П р и м е ч а н и е. Глубину спуска кондуктора иногда увеличивают для обеспечения наименьшего выхода последующей колонны. Это может быть допустимо для первых скважин, которыми вскрывается новый район бурения. Когда кондуктор спускается на глубину не более 100 м, необходимо вторично рассчитать длину кондуктора.

Данный расчет заключается в том, чтобы при подъеме бурильного инструмента из скважины уровень раствора оставался бы внутри кондуктора, не оголяя его башмака, ибо понижение столба глинистого раствора ниже башмака может привести к обвалам в скважине.

При этом кондуктор следует рассчитать по формуле

$$L = \frac{V_1}{V} \div 10 \text{ м,}$$

где V_1 — объем бурильного инструмента, спускаемого на глубину до башмака следующей колонны; V — объем 1 м длины кондуктора; 10 м — величина, которую обычно задаются и ниже которой раствор в кондукторе не должен опуститься.

В практике бурения скважин на воду наиболее широко распространен выбор эксплуатационного диаметра скважины в пределах глубины установки погружного насоса для постоянной эксплуатации; этот диаметр должен быть достаточным для установки насоса выбранного типа и обеспечивающего требуемый расход воды.

Эти насосы по эксплуатационным и санитарным требованиям в настоящее время являются наиболее совершенными водоподъемниками. Учитывая возможное снижение статического и динамического уровней воды под влиянием различных причин (многолетних изменений уровня подземных вод, развития депрессионных воронок и т. д.), эксплуатационный диаметр необходимо сохранять до возможно большей глубины от всасывающего отверстия водоподъемника.

§ 4. РАСЧЕТ ОБСАДНЫХ КОЛОНН

Эксплуатационные и промежуточные колонны обсадных труб работают в наиболее тяжелых условиях. Например, в процессе спуска колонн обсадных труб по мере их наращивания увеличивается нагрузка, обусловленная силами собственного веса. После того как колонна доведена до забоя и установлена на забой, трубы частично разгружаются от растягивающих усилий. Силы внешнего давления, действующие на трубы в процессе спуска колонны и определяемые разностью давления столбов жидкости за трубами и внутри них, по своей величине незначительны.

Промежуточная колонна труб работает в несколько иных условиях, нежели эксплуатационная. Промежуточная колонна в основном работает на растяжение от сил собственного веса, а также от сил, создаваемых внутренним давлением. Наибольшего значения внутреннее давление достигает в момент окончания продавки цемента

за колонну, а также при увеличении удельного веса глинистого раствора внутри обсадных труб по отношению к удельному весу раствора, оставшегося в затрубном пространстве.

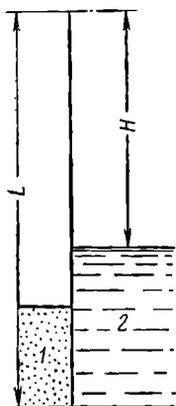


Рис. 4. Действие жидкости на обсадную трубу.

1 — цемент; 2 — жидкость.

В эксплуатационной колонне величины осевых усилий и внешнего давления неодинаковы по длине колонны. Осевые усилия достигают наибольшего значения у самой верхней трубы в момент спуска. Наибольшие внешние силы, приводящие к смятию, проявляются у самых нижних труб колонны при снижении уровня жидкости в колонне в процессе эксплуатации скважины. Кроме того, на нижние трубы в фильтровой зоне скважины могут действовать и пластовые давления, которые достигают значительных величин в процессе эксплуатации скважины (рис. 4).

Кроме основных усилий смятия и растяжения, действующих на колонну, в обсадных трубах возникают также дополнительные напряжения. Они возникают тогда, когда приходится расхаживать колонну при ее прихватах, резком торможении во время спуска, изгибе колонны и т. д. Эти напряжения, возникающие в результате указанных явлений, в некоторой степени компенсируются запасом прочности обсадных труб.

Формулы, применяемые при расчете колонн

Сминающее давление для труб определяют по формуле Г. М. Саргисова

$$p_{cm} = 1,1k_{min} \left\{ \sigma_p + Ek_0^2 \rho \left(1 + \frac{3e}{4k_{min}\rho^3} \right) - \sqrt{\left[\sigma_p + Ek_0^2 \rho \left(1 + \frac{3e}{4k_{min}\rho^3} \right) \right]^2 - 4Ek_0^2 \rho \sigma_p} \right\},$$

где p_{cm} — сминающее давление в $\kappa\Gamma/см^2$;

$$k_{min} = \frac{\sigma_{min}}{D},$$

$$k_0 = \frac{e}{D},$$

$$\rho = \frac{\sigma_0}{\sigma_{min}};$$

D — наружный диаметр трубы в $см$; σ_{min} — минимальная толщина стенки трубы в $см$; σ_0 — условная расчетная средняя толщина стенки разностенной трубы в $см$; E — модуль упругости материала трубы, равный для стали $2,1 \cdot 10^6 \kappa\Gamma/см^2$; σ_p — предел пропорцио-

нальности материала трубы в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$; e — овальность трубы, выра-
 женная отношением $\frac{u}{D}$, где u — абсолютное значение номинальной
 овальности, определяемое как разность между наибольшим и наи-
 меньшим диаметрами трубы.

Минимальная толщина стенки трубы σ_{\min} определяется как
 разность между номинальной толщиной стенки σ и минусовым до-
 пуском на толщину стенки w

$$\sigma_{\min} = \sigma - w.$$

Наружное давление на колонну

Давление, создаваемое на обсадные трубы столбом жидкости
 в скважине, определяют по формуле

$$p = 0,1 [L\gamma_p - (L - H)],$$

где p — давление в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$, L — длина колонны в м ; γ_p — удель-
 ный вес глинистого раствора в $\Gamma/\text{см}^3$; H — глубина снижения уровня
 раствора в колонне в м .

Если на трубы действует давление пласта в пределах эксплуа-
 тационного горизонта, следует пользоваться следующей зависи-
 мостью:

$$p = 0,1H\gamma_p + 0,1H\gamma_u(k_0 - k_1),$$

где H — расстояние от места определения давления на колонну
 до дневной поверхности в м ; γ_u — средний удельный вес пород,
 залегающих выше рассматриваемого места колонны, где опреде-
 ляется давление, в $\Gamma/\text{см}^3$; γ_p — удельный вес глинистого раствора
 в $\Gamma/\text{см}^3$; k_0 — коэффициент бокового давления свободного грунта,
 равный для песка 0,42 и для глины 0,70—0,75; k_1 — коэффициент
 внутреннего трения скелета грунта, равный для песка 0,12 и для
 глины 0,44.

Расчет резьбового соединения

Резьбовое соединение рассчитывают на осевую нагрузку, стра-
 гивающее усилие по формуле Яковлева:

$$P_{\text{стр}} = \frac{\pi b_2 D_2 \sigma_p}{1 + \frac{D_2}{2l} \text{ctg}(\gamma + \varphi)},$$

где $P_{\text{стр}}$ — страгивающее усилие в $\kappa\Gamma$; b_2 — толщина стенки трубы
 по впадине первой полной нитки резьбы, находящейся в зацепле-
 нии, в см ; D_2 — средний диаметр трубы по первой полной нитке,
 находящейся в зацеплении (пятая нитка от сбегая резьбы) в см ;
 σ_p — предел пропорциональности материала трубы в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$; l —
 длина резьбы до основной плоскости (нитки с полным профилем)

в см; γ — угол, составленный направлением опорной поверхности резьбы и осью трубы; φ — угол трения (принимается равным 18°). Растягивающую нагрузку, при которой напряжения в теле трубы достигают предела текучести, определяют по формуле

$$P_p = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \sigma_{\tau},$$

где P_p — растягивающая нагрузка в кг; D — наружный диаметр трубы в см; d — внутренний диаметр трубы в см; σ_{τ} — предел текучести материала трубы в кг/см².

Сопротивление обсадной трубы внутреннему давлению можно определить по формуле

$$P_v = \frac{2\delta\sigma_{\tau}}{D_n},$$

где P_v — внутреннее давление, при котором напряжения в стенках трубы достигают предела текучести, в кг/см²; δ — толщина стенки в см; σ_{τ} — предел текучести материала трубы в кг/см²; D_n — наружный диаметр трубы в см.

В табл. 4 и 5 (см. приложения) приводятся показатели обсадных труб.

Запасы прочности обсадных колонн

Запасом прочности называется отношение допускаемой нагрузки к действующей.

Запас прочности на страгивание вычисляется по формуле

$$m = \frac{P_{стр}}{Q_{max}},$$

где $P_{стр}$ — страгивающая нагрузка, определяемая по формуле Яковлева; Q_{max} — максимальная нагрузка, действующая на муфтовое соединение и равная весу колонны; вес колонны подсчитывается по формуле

$$Q_{max} = qH + q' \frac{H}{l},$$

где q и q' — веса соответственно 1 м обсадной трубы и муфты в кг; H — глубина, на которую предполагается спустить обсадную колонну, в м; l — средняя длина одной трубы в м.

Запас прочности на смятие определяется выражением

$$m = \frac{P_{см}}{P_{факт}},$$

где $P_{см}$ — сминающее давление, определяемое по формуле Саркисова; $P_{факт}$ — фактическое сминающее давление, действующее на

обсадную трубу, равное $\frac{\gamma H}{10}$; здесь H — предельная глубина спуска труб в m ; γ — удельный вес глинистого раствора.

Примечание. При подборе отдельных секций обсадных колонн нужно принимать следующие запасы прочности:

- 1) в расчетах технических колонн на страгивающую нагрузку — 1,3;
- 2) при расчете эксплуатационных колонн на страгивающую нагрузку — 1,15—1,20;
- 3) при расчете эксплуатационных колонн на смятие:
 - а) запас прочности для интервала высоты подъема цементного раствора — 1,3;
 - б) запас прочности выше интервала подъема цементного раствора — 1,15.

Примеры расчета обсадных колонн

Задача. Рассчитать обсадную колонну диаметром 168 мм, спускаемую на глубину $H = 850$ м; удельный вес глинистого раствора $\gamma = 1,18$ г/см³, при эксплуатации скважина может опорожниться до глубины 650 м, высота подъема цементного раствора $l_1 = 450$ м.

Решение. Определим затрубное сминающее давление, создаваемое столбом глинистого раствора на нижнюю трубу,

$$P_{\text{факт}} = \frac{H\gamma}{10} = \frac{650 \times 1,18}{10} = 76,7 \text{ кг/см}^2.$$

Так как запас прочности на смятие равен 1,3, то нужно установить трубы, которые могут выдержать внешнее сминающее давление, равное

$$P_{\text{см}} = P_{\text{факт}} \cdot m = 76,7 \times 1,3 = 99,7 \text{ кг/см}^2.$$

Согласно данным табл. 5 (см. приложение), вписанное сминающее давление могут выдержать трубы из стали марки С и Д с толщиной стенки 7 мм. На глубине 850—450 = 400 м гидростатическое давление затрубного столба глинистого раствора будет

$$P_{\text{факт}} = \frac{400 \times 1,18}{10} = 47,2 \text{ кг/см}^2.$$

Принимая запас прочности на смятие выше зоны эксплуатационных уровней равным 1,15, находим, что выше этой зоны можно применить трубы, которые выдержат сминающее давление, равное

$$P'_{\text{см}} = 47,2 \times 1,15 = 54,3 \text{ кг/см}^2.$$

Согласно данным табл. 5 этому сминающему давлению соответствуют трубы из стали марки С и Д с толщиной стенки 7 мм. Длина участка, составленного из этих труб, если допустимый запас прочности на страгивающую нагрузку для муфтового соединения равен 1,3, определяется по формуле

$$\frac{P_{\text{стр}}}{m} = q_1 l_1 + q_2 l_2,$$

где $P_{\text{стр}}$ — страгивающая нагрузка на муфтовое соединение, равная 67 000 кг, для труб из стали марки С с толщиной стенки 7 мм; m — запас прочности на страгивание, равный 1,3; q_1 и q_2 — веса 1 м трубы диаметром 168 мм с толщиной

стенки 7 мм: $q = 27,8 \text{ кг/м}$; l_1 и l_2 — длины соответствующих секций колонны труб, тогда

$$l_2 = \frac{\frac{67\,000}{1,3} - 27,8 \times 450}{27,8} = 1403 \text{ м.}$$

Длина участка определится разностью

$$l_3 = L - l_1 - l_2 = 850 - 450 - 135 = 265 \text{ м.}$$

Запас прочности па срагивающую нагрузку устья скважины составит

$$m = \frac{P_{\text{стр}}}{Q_{\text{max}}},$$

где $P_{\text{стр}}$ — срагивающая нагрузка для 7-мм труб из стали марки С, равная 67 000 кг; Q_{max} — вес всей колонны обсадных труб;

$$Q_{\text{max}} = qH_1 + qH_2 + qH_3,$$

$$Q_{\text{max}} = 27,8 \times 450 + 27,8 \times 135 + 27,8 \times 265 = 10\,630 \text{ кг.}$$

Следовательно,

$$m = \frac{67\,000}{23\,800} = 2,82.$$

Таким образом, колонна обсадных труб диаметром 168 мм будет состоять из труб, изготовленных из стали марки С с толщиной стенки 7 мм.

Расчет сварных соединений обсадных труб

В последнее время в практике бурения скважин на воду для крепления стенок скважины применяют обсадные трубы, сваренные встык (рис. 5). Сварное соединение труб встык обеспечивает уменьшение диаметра скважины при спуске колонны.

Прочность сварного соединения труб встык может быть определена по формуле

$$Q = \varphi \sigma_r F \text{ кг,}$$

где σ_r — предел текучести материала трубы в кг/см^2 ; φ — коэффициент, равный 0,7; F — рабочая площадь сварного шва, определяемая выражением

$$F = \pi \frac{D+d}{2} \delta \text{ см}^2,$$

Рис. 5. Сварка труб встык.

где D и d — соответственно наружный и внутренний диаметры трубы.

Максимальная допустимая глубина спуска обсадной колонны определяется по формуле

$$L_{\text{max}} = \frac{Q}{qm} = \frac{\varphi \sigma_r F}{qm},$$

где m — запас прочности ($m = 2 \div 3$), зависящий от качества сварки; q — вес 1 м труб в кг.

Пример. Определить максимальную глубину спуска сварной колонны, если вес 1 м труб $q = 30$ кг, площадь сварного шва $F = 40$ см², предел текучести материала труб $\sigma_T = 4000$ кг/см², запас прочности $m = 2,5$.

Из приведенной выше формулы определяем:

$$L_{\max} = \frac{\sigma_T F}{qm} = \frac{0,7 \times 4000 \times 40}{30 \times 2,5} \approx 1500 \text{ м.}$$

Норма расхода обсадных труб

При расчете норм расхода обсадных труб необходимо учитывать факторы, способствующие упрощению и облегчению действующих конструкций скважин, которые дают возможность в некоторых случаях отказаться от спуска дополнительных колонн обсадных труб и таким образом снизить расход труб на 1 м проходки.

Для определения расхода обсадных труб на 1 м проходки необходимо суммарный вес труб согласно конструкциям скважин, заканчиваемых бурением в нормируемом году (в m), разделить на суммарную глубину заканчиваемых в этом же году бурением скважин (в m), причем в нормы расхода труб необходимо ввести поправку на необсаженный трубами участок ствола скважины. Тогда норма расхода обсадных труб определяется из формулы

$$q = \frac{Qk}{H},$$

где q — норма расхода обсадных труб в кг/м; Q — суммарный вес обсадных труб в m ; H — суммарная глубина скважин в m ; k — коэффициент, учитывающий необсаженный участок скважины.

Глава III

ПРОМЫВКА СКВАЖИН

§ 1. ВЛИЯНИЕ ПРОМЫВКИ ГЛИНИСТЫМ РАСТВОРОМ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

При бурении скважин глинистый раствор буровыми насосами закачивается в бурильные трубы, проходит через отверстия долота и, попадая на забой, захватывает кусочки разбуренной породы и выносит их на дневную поверхность по затрубному пространству. Далее глинистый раствор очищается от шлама в желобной системе и вновь закачивается в скважину. Этот замкнутый цикл называется циркуляцией.

Глинизирующая способность глинистого раствора

При бурении скважины под влиянием перепада давления наиболее мелкие частицы глинистого раствора попадают в поры породы, а крупные задерживаются на стенках скважины.

В первоначальной стадии этого процесса глинистый раствор может проходить между частицами глины, но промежутки со временем становятся настолько малы, что сквозь них может пройти только свободная вода из раствора, поступление которой в пласт зависит от параметров глинистого раствора. Поступающие вместе с водой частицы глины полностью закупоривают оставшиеся проходы и таким образом образуют тонкую глинистую корку на стенках скважины. Поступление воды в пласт при этом значительно ограничивается.

Когда глинистый раствор имеет большую водоотдачу, то на стенках скважины образуется толстая рыхлая корка. Следовательно, чем меньше водоотдача промывочной жидкости, тем меньшее количество воды переходит из глинистого раствора в пласт, тем тоньше и прочнее корка, образующаяся на стенке скважины.

Значение глинизации стенок скважины заключается в том, что в процессе бурения ствол скважины предохраняется от обвалов, кроме того, водоносные горизонты изолируются друг от друга.

Удерживающая способность глинистых растворов

Структурообразование глинистых растворов является одним из важнейших его свойств.

Удлиненные, листочкообразные глинистые частицы, слипаясь между собой по краям, образуют сотообразную структуру. Вода остается в ячейках структурной сетки и теряет возможность перемещаться. Для того чтобы обеспечить движение тела в этом растворе, следует приложить определенную силу. Эта минимальная сила, обеспечивающая движение плоского тела площадью 1 см^2 в растворе, называется статическим напряжением сдвига и измеряется в мГ/см^2 . Если загустевший глинистый раствор перемещать, то глинистые частицы отрываются друг от друга и статическое напряжение сдвига уменьшается.

При прекращении перемешивания структура вновь восстанавливается. Эта способность глинистого раствора загустевать в состоянии покоя и вновь разжижаться при перемешивании называется тиксотропией. Так как глинистый раствор обладает структурой, кусочки выбуренной породы при остановках или прекращении циркуляции не могут преодолеть статическое напряжение сдвига и остаются во взвешенном состоянии.

Вынос выбуренной породы

Вынос выбуренной породы тем эффективнее, чем большее количество глинистого раствора будет подаваться на забой в 1 сек . При этом будет лучше очищаться забой скважины, создадутся лучшие условия для безаварийной проходки, а также увеличится скорость бурения. Таким образом, скорость проходки тем больше, чем выше производительность буровых насосов. Обычно эти скорости должны быть не менее $1,0 \text{ м/сек}$ для долот диаметром 299 мм и $0,5 \text{ м/сек}$ для долот диаметрами $349-451 \text{ мм}$.

Скорость восходящего потока глинистого раствора в затрубном пространстве определяют по формуле

$$v = \frac{Q}{0,785 (D^2 - d^2)},$$

где v — скорость подъема глинистого раствора в затрубном пространстве в м/сек ; Q — производительность насосов в $\text{м}^3/\text{сек}$; D — диаметр долота в м ; d — диаметр бурильных труб в м .

§ 2. ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ НА ВОДООТДАЧУ

В СССР для водоснабжения и осушения сооружается огромное количество водозаборных и водопонижающих скважин. При бурении скважин на воду основной задачей является получение из водоносного горизонта необходимого количества воды, что определяется в основном гидрогеологическими условиями данного разреза. Часть

из буримых скважин имеет полный приток воды, и погружные насосы в таких скважинах работают с полной нагрузкой. Однако более 70% пробуренных на воду скважин оказываются малодебитными, а часть и совсем безводными.

Чем меньше дебиты скважин, тем большее их количество необходимо пробурить для того, чтобы обеспечить в достаточном количестве водой тот или иной населенный пункт, промышленное предприятие или сельскохозяйственную ферму. Поэтому стремятся увеличить дебиты скважин и уменьшить их количество.

В результате изучения керна или шлама, наблюдения за состоянием глинистого раствора, каротажных измерений определяют мощность водоносного горизонта, его литологический состав, гидрогеологическую характеристику водовмещающего пласта. Однако эти исследования не могут дать исчерпывающих сведений о продуктивном горизонте, они дают лишь предварительную характеристику, необходимую для определения интервалов водоносных горизонтов, подлежащих опробованию, а в дальнейшем промышленному вводу в эксплуатацию.

Таким образом, опробование является пока единственным способом определения перспективности водоносных горизонтов. Для этого в процессе бурения скважин необходимо отдельно опробовать все водоносные горизонты с тем, чтобы выбрать для эксплуатации наиболее водообильный.

При опробовании горизонтов необходимо снижать гидростатическое давление жидкости на испытываемый горизонт для обеспечения притока из пласта. По получении притока берут пробы воды на химический и бактериологический анализы, измеряют дебит и удельный дебит. Эти данные необходимы при промышленной оценке опробуемого водоносного горизонта. Технически грамотное вскрытие продуктивного пласта значительно влияет на первоначальный дебит, а впоследствии на общую водоотдачу пласта.

Буровыми организациями, ведущими бурение водяных скважин, за последнее время накоплен опыт по вскрытию и опробованию водоносных горизонтов, однако этот опыт не всегда правильно применяется в конкретных гидрогеологических условиях из-за недостаточной квалификации исполнителей буровых работ, особенно в мелких буровых организациях.

Роторный способ бурения скважин на воду в системе треста Промбурвод и других организациях нашел более широкое применение лишь несколько лет тому назад. По мере внедрения роторного способа бурения непрерывно накапливался и систематизировался опыт по сооружению водяных скважин. Эффективность роторного способа бурения водяных скважин во многом зависит также и от того, как поставлена гидрогеологическая служба.

При вскрытии продуктивного водоносного горизонта под влиянием разности давлений столба циркулирующего глинистого раствора в скважине и пластового давления водоносного горизонта часть воды вместе с частицами глины проникает в пласт. Частицы

глинистого раствора, проникая в поры и трещины пласта, снижают проницаемость призабойной зоны водоносного горизонта, что приводит иногда к значительному снижению притока пластовой воды в скважину.

Для уменьшения вредного влияния отфильтровывания и глинизации водоносного горизонта применяют высококачественные глинистые растворы с незначительной водоотдачей, образующие тонкую глинистую корку на стенках скважины. При откачках глинистая корка размывается и выносится на дневную поверхность, что создает благоприятные условия для притока воды из пласта в скважину. Не менее важно своевременно опробовать намеченный к испытанию пласт; при этом необходимо обеспечить минимальный срок пребывания эксплуатационного горизонта под воздействием глинистого раствора.

Пласт вскрывают следующим образом: бурят скважину до кровли водоносного горизонта, опускают обсадную колонну и цементируют ее. После этого приступают к разбуриванию водоносного горизонта. При устойчивом разрезе стенки пласта оставляют открытыми, а при наличии неустойчивых пород спускают колонну с фильтром против продуктивного пласта. Иногда ствол скважины углубляют несколько ниже водоносного горизонта, спускают колонну с фильтром, а затем производят так называемую манжетную заливку, т. е. цементируют только часть колонны обсадных труб выше кровли водоносного горизонта.

При вызове притока воды и освоении скважин разглинизируется водоносный горизонт, т. е. разрушенная глинистая корка со стенок скважины выносится на поверхность и глинистый раствор удаляется из водоносного пласта.

В зависимости от качества раствора проникновение его в водоносный пласт различно. Так, в мелкозернистых песках глинистые растворы проникают на глубину двух-трех диаметров бурения, в трещиноватых породах на глубину до нескольких метров.

Наиболее водообильными водоносными горизонтами являются трещиноватые известняки (в зоне контакта с нижележащими упорными породами); трещиноватые граниты также отличаются значительным водообилием.

Выбор способа разглинизации водоносных пластов, пройденных роторным способом, зависит не только от геологических и гидрогеологических условий, но и от качества применяемой промывочной жидкости. Для успешной разглинизации и увеличения водоотдачи пласта необходимо применять при бурении скважин на воду высококачественный глинистый раствор, после окончания бурения скважины и ее проработки немедленно устанавливать фильтр, работы по разглинизации водоносного горизонта начинать сразу же после установки фильтра независимо от календарных дней и времени суток, каркас фильтровой части колонны должен иметь скважность не менее 25%.

Глава IV

ОЧИСТКА И ОБРАБОТКА ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ

§ 1. ОЧИСТКА ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ ОТ ВЫБУРЕННОЙ ПОРОДЫ

При бурении качество глинистого раствора ухудшается вследствие смешения его с разбуренной породой. Для очистки раствора от шлама и песка пользуются специальной системой желобов, кроме того, раствор очищают от шлама с помощью отстойников.

Желобная система должна устанавливаться с уклоном, равным не менее 0,01 м, и иметь на всем своем протяжении несколько перепадов (перегородок разной высоты). При прохождении раствора по желобам около стенок и дна их структурный скелет глинистых частиц разрушается и вследствие этого песок и шлам из раствора выпадают в осадок. В процессе бурения без остановки циркуляции желобная система должна по мере накопления на дне песка и шлама очищаться. Для облегчения труда рабочих буровых бригад целесообразно применять механический способ очистки раствора виброситами или гидроциклонами.

Улучшение качества глинистого раствора

Глинистые растворы при нормальных условиях бурения скважин на воду должны иметь следующие параметры (табл. 5).

Таблица 5

Состав проходимых пород	Вязкость по СПВ-5, сек	Водоотдача, см ³ за 30 мин	Статическое напряжение сдвига, мГ/см ²	Содержание песка, %
Глина	16—18	Не более	10—18	Не более
Пески мелкозернистые	18—20	20 см ³ за	25—35	4%
Пески среднезернистые	20—22	30 мин	35—45	
Пески крупнозернистые .	20—24		40—50	

Удельный вес глинистого раствора для принятых вязкостей, G/cm^3	1.05—1.1
Толщина глинистой корки, мм	2
Стабильность, G/cm^3	0.04—0.05
Суточный отстой, %	3—5

Качество бентонитовых глин, применяемых для приготовления растворов, проверяется по их физическим свойствам. В глинах должно содержаться песчаных частиц крупнее 0,1 мм не более 6%, крупнее 0,05 мм — не более 12%, мельче 0,0001 мм (глинистая составляющая) — не меньше 40—50%. В тестообразном состоянии глина должна раскатываться в длинные тонкие шнуры (диаметром до 1 мм), не разрываясь и не разламываясь. Жесткость пресной воды, употребляемой для приготовления раствора, не должна превышать 12—15°.

Параметры глинистого раствора должны строго соответствовать установленным нормам в зависимости от литологического состава проходимых пород. В породах с мелкой трещиноватостью (известняки, доломиты и др.) применяются глинистые растворы с удельным весом 1,10—1,15 G/cm^3 , вязкостью 17—19 сек и водоотдачей не более 10—15 cm^3 за 30 мин. Содержание песка при этом не должно превышать 3%.

При разбурировании набухающих пород (глины, мергели и др.) должны применяться растворы с малой водоотдачей (5—7 cm^3 за 30 мин) и статическим напряжением сдвига 40 mG/cm^2 .

Когда при бурении водяных скважин проходят пески, содержащие непригодную для водоснабжения воду, необходимо применять такой глинистый раствор, который способствовал бы удержанию стенок от обвалов и создавал плотную глинистую корку, препятствующую проникновению воды из пласта в скважину. Параметры глинистого раствора при этом должны быть таковы: удельный вес 1,18—1,20 G/cm^3 , вязкость 25—28 сек, водоотдача 10—15 cm^3 за 30 мин и содержание песка не более 4%.

Промышленная жидкость, применяемая при разбурировании водоносных пластов, намечаемых для постоянной эксплуатации, должна иметь особые качества. Если напорный водоносный горизонт представлен среднезернистыми песками, то необходимо применять глинистый раствор большого удельного веса (1,2—1,25 G/cm^3), достаточной вязкости (25—30 сек) и водоотдачи (5—10 cm^3 за 30 мин).

При бурении слабонапорного водоносного горизонта можно рекомендовать глинистый раствор удельного веса не более 1,05—1,10 G/cm^3 , вязкостью 16—18 сек и водоотдачей не более 10 cm^3 за 30 мин.

Параметры глинистого раствора можно улучшить, обработав его специальными химическими реагентами. Однако в практике бурения скважин на воду химическая обработка глинистых растворов, как это делается при бурении глубоких нефтяных и газовых скважин, получила ограниченное распространение.

Выбор величины значения удельного веса глинистого раствора зависит от геолого-гидрогеологических условий проходимых горных пород. Практически применяют глинистые растворы, удельный вес которых изменяется от близкого к удельному весу воды до $2,2 \text{ Г/см}^3$. Удельный вес глинистого раствора можно увеличить, добавляя специальные утяжелители.

Удельный вес можно понизить, применив высококоллоидальные глины (аскангель, огланглина и др.), которые создают глинистый раствор удельного веса, близкого к удельному весу воды. Изменение удельного веса глинистого раствора всегда вызывает изменение и других его параметров, поэтому всякое изменение удельного веса должно быть связано с дополнительной обработкой раствора химическими средствами, которые должны регулировать в необходимых пределах остальные параметры.

В процессе бурения водяных скважин широко распространены высококоллоидальные бентонитовые глины и промывочные растворы, приготовленные на их основе. Эти растворы характеризуются в основном двумя показателями — удельным весом и вязкостью.

При вязкости глинистого раствора $20\text{—}21 \text{ сек}$ удельный вес не превышает $1,05 \text{ Г/см}^3$; при этом глина не должна содержать песчаных частиц более 4%, а водорастворимые соли должны практически отсутствовать. Водоотдача подобного раствора не превышает $14\text{—}18 \text{ см}^3$. Когда водяные скважины бурят с промывкой растворами, приготовленными из местных низкосортных глин, добавка порошкообразной бентонитовой глины улучшает качество глинистых растворов. Для этого бентонитовую глину добавляют в количестве $15\text{—}20\%$ по весу от веса местной глины или $3\text{—}5\%$ по весу от объема глинистого раствора.

На практике используют и другой способ улучшения качества глинистых растворов. В этом случае приготовленный в глиномешалке бентонитовый раствор спускают в желобную систему и закачивают в скважину вместе с циркулирующим раствором, приготовленным из местных глин; при этом в такой раствор необходимо добавлять воду для снижения вязкости.

При прохождении минерализованных водоносных горизонтов, непригодных для эксплуатации, желательно увеличивать количество бентонитовой глины в растворе, так как в присутствии даже небольшого количества солей вязкость раствора из бентонитовых глин сильно понижается, в результате этого нельзя обеспечить нормальное прохождение указанных горизонтов.

Если в процессе бурения артезианской скважины промывочный раствор частично или полностью поглощается (на что будет указывать понижение уровня столба жидкости в стволе скважины), то необходимо закрыть пути поглощения раствора, зацементировав участок ствола скважины, где оно обнаружено.

Но цементный раствор не обладает структурой, поэтому, будучи закачан в скважину, он не прекратит поглощения, так как раствор

растечется по трещинам. Во избежание этого необходимо придать цементному раствору мощную структуру.

Вторым свойством, которым должен обладать цементный раствор, предназначенный для прекращения поглощения глинистого раствора, является определенное время начала его схватывания. При быстром схватывании он может остаться в стволе скважины и зацементировать инструмент, с помощью которого раствор закачивают в скважину. При замедленном схватывании цементный раствор может полностью поглотиться.

Для решения поставленных задач в практике бурения водных скважин при прохождении поглощающих горизонтов применяются гельцементные смеси, т. е. цементный раствор, приготовленный на основе глинистого раствора. Эти смеси создают плотную структуру раствора, обеспечивая цементацию трещин в зоне поглощения.

Время начала схватывания подбирается испытанием гельцементов с различным количеством цемента. Гельцементная смесь готовится из расчета 500—900 кг тампонажного цемента и 700—800 л глинистого раствора на 1 м³ смеси. При увеличении количества цемента в гельцементе срок начала схватывания уменьшается. Растекаемость гельцементного раствора не должна превышать 7 см по конусу АзНИИ.

Водопроявления, т. е. наличие пластовой воды при бурении скважины, можно обнаружить еще до выхода циркулирующего разбавленного раствора на поверхность, определив его удельный вес (удельный вес раствора при этом снижается, кроме того, увеличивается количество раствора). В этом случае глинистый раствор должен выполнять функции промывочной жидкости при бурении и препятствовать проникновению пластовой воды в скважину.

Наряду с выбором рациональной конструкции скважины, которая бы предусматривала изоляцию зон водопритока друг от друга путем спуска промежуточной колонны обсадных труб, применение качественного глинистого раствора почти всегда способствует ликвидации водопритока в скважину. Для создания необходимой при этом глинистой корки на стенках скважины глинистый раствор должен иметь водоотдачу не более 10 см³.

Если указанные методы малоэффективны, то удельный вес раствора увеличивают добавлением глины.

Не менее важно обеспечить максимальную скорость бурения и минимальные простои при постоянном уровне глинистого раствора в скважине.

При бурении скважин на воду применение воды в качестве промывочной жидкости связано с определенными геологическими условиями. Вода как промывочная жидкость имеет ряд преимуществ по сравнению с глинистым раствором. Применяя воду как промывочную жидкость, мы экономим значительные количества глины, реагентов, а также время на приготовление и стабилизацию глинистого раствора.

Обладая меньшим (по сравнению с глинистым раствором) гидравлическим сопротивлением, вода увеличивает полезную мощность буровых насосов; кроме того, устранение абразивности раствора уменьшает расход запасных частей насосов, улучшает условия работы бурильного инструмента, долот, бурового шланга. Все это резко снижает стоимость строительства скважин.

Водоносные горизонты с высоким пластывым давлением или поглощающие интервалы не рекомендуется бурить с промывкой водой; в таких случаях следует переходить на бурение с промывкой глинистым раствором. Воду заменяют на глинистый раствор заранее и не менее чем за 20—30 м до входа в зоны возможных осложнений, чтобы закачиваемый в скважину высококачественный глинистый раствор в течение одного цикла циркуляции мог вытеснить воду из ствола скважины. Вследствие того что вода как промывочная жидкость может удерживать во взвешенном состоянии кусочки выбуренной породы, наибольший эффект при бурении может быть получен при обеспечении интенсивной очистки забоя скважины от шлама, а также достаточно полной очистки раствора в желобной системе.

§ 2. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ГЛИНЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ 1 м³ ГЛИНИСТОГО РАСТВОРА ЗАДАННОГО УДЕЛЬНОГО ВЕСА

Для этого пользуются формулой

$$P = \frac{\gamma_1 (\gamma - \gamma_2)}{\gamma_1 - \gamma_2},$$

где P — количество глины, идущей на приготовление 1 м³ глинистого раствора, в т; γ — заданный удельный вес глинистого раствора; γ_1 — удельный вес глины; γ_2 — удельный вес воды.

Обычно удельный вес глины в плотном теле колеблется в пределах 2,5—2,8 г/см³; удельный вес пресной воды равен 1,0 т/м³. Объемный вес сухой комовой глины в раздробленном виде колеблется в среднем от 1,63 до 1,7 т/м³.

Если принять удельный вес глины $\gamma_1 = 2,6$ и подставить эти величины в формулу, то получим

$$P = \frac{2,6 (\gamma - 1)}{2,6 - 1} = 1,63 (\gamma - 1).$$

Разделив вес глины P на объемный вес в раздробленном виде (1,7), получим количество раздробленной глины Q , необходимое для приготовления 1 м³ раствора, т. е.

$$Q = \frac{1,63}{1,7} (\gamma - 1) = 0,96 (\gamma - 1).$$

Если необходимо определить это количество в кубических метрах, то, принимая объемный вес сухой комовой глины в среднем 1,6—1,7 т/м³ и воды $\gamma_2 = 1,0$ т/м³, получим

$$V_r = 0,94 (\gamma - 1),$$

где V_r — объем глины, необходимый для приготовления 1 м³ глинистого раствора, в м³.

Пример. Определить количество глины и воды, необходимое для приготовления 1 м³ глинистого раствора.

Количество глины находим по формуле

$$q = \frac{\gamma_{гг} (\gamma_p - \gamma_v)}{\gamma_{гг} - \gamma_v},$$

где q — количество глины в т; $\gamma_{гг}$ — удельный вес глины (в зависимости от вида глины колеблется от 2,2 ÷ 2,7 Т/м³); γ_p — удельный вес глинистого раствора 1,2 Т/м³; γ_v — удельный вес пресной воды, равный 1 Т/м³. Тогда

$$q = \frac{2,2 (1,2 - 1)}{2,2 - 1} \approx 0,37 \text{ т.}$$

Объем глины

$$V_{гг} = \frac{q}{\gamma_{гг}} = \frac{0,37}{2,2} = 0,17 \text{ м}^3.$$

Объем воды

$$\gamma_v = 1 - 0,17 = 0,83 \text{ м}^3.$$

§ 3. ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И РАЗМЕРНОСТИ

Параметры глинистых растворов имеют определенные названия, обозначения и размерности.

1. Водоотдача обозначается через B и имеет размерность см³ за 30 мин.

2. Толщина образующейся глинистой корки в процессе циркуляции глинистого раствора в скважине обозначается через k и измеряется в мм.

3. Статическое напряжение сдвига обозначается через θ , измеряется через 1 и 10 мин и имеет размерность мГ/см².

4. Вязкость растворов обозначается через T , размерность — сек по СПВ-5.

5. Структурная вязкость растворов обозначается через η и измеряется в спз.

6. Стабильность (постоянство свойств) растворов обозначается через S , размерность Г/см³.

7. Вода, отстоявшаяся за сутки, называется «отстой», обозначается через O и выражается в %.

8. Удельный вес глинистого раствора обозначается через γ и имеет размерность Г/см³.

§ 4. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ

Удельный вес — вес 1 см³ вещества, выраженный в граммах. Удельный вес глинистого раствора определяют при помощи ареометра, весов Линевского и наиболее точно при помощи пикнометра. Удельный вес промывочной жидкости определяет величину

гидростатического давления последней на стенки скважины. Это давление подсчитывают по формуле

$$p = \frac{H\gamma}{10} \text{ кг/см}^2,$$

где H — глубина в м; γ — удельный вес жидкости (по отношению к воде).

Пикнометр представляет собой металлическую или стеклянную колбочку с притертой пробкой (рис. 6). На пробке имеется канавка,

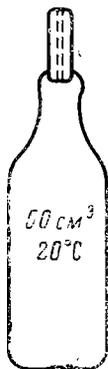


Рис. 6. Пикнометр.

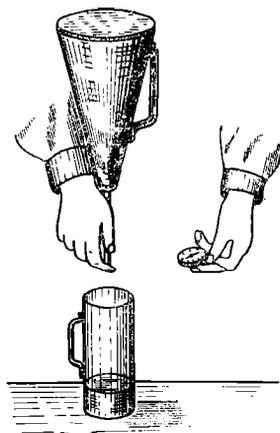


Рис. 7. Стандартный полевой вискозиметр СПВ-5.

через которую выходит воздух. Удельный вес определяют следующим образом. Подсчитывают вес пикнометра: «сухого» — P_1 , с дистиллированной водой — P_2 и с глинистым раствором — P_3 .

После заполнения пикнометра глинистым раствором удаляют воздух и определяют удельный вес раствора

$$\gamma = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \text{ Г/см}^3.$$

Вязкость — мера внутреннего трения в жидкости, обуславливающего сопротивление течению. Вязкость измеряют вискозиметрами. На рис. 7 показан стандартный полевой вискозиметр с трубкой диаметром 5 мм (СПВ-5).

Порядок определения вязкости этим прибором следующий: через сетку заливают 700 см³ тщательно перемешанного глинистого раствора в воронку, отверстие которой закрывают пальцем левой руки. Затем, убрав палец и одновременно пустив секундомер, засекают время истечения 500 см³ раствора. Мерником раствора служит большое отделение кружки; вязкость измеряют в секундах.

Перед измерением вязкости глинистого раствора вискозиметр проверяют водой. Время истечения 500 см^3 воды при заливе 700 см^3 должно равняться 15 сек . Нормальной считается вязкость глинистого раствора в пределах $T = 18 \div 25 \text{ сек}$; утяжеленные растворы имеют вязкость $30\text{—}70 \text{ сек}$. Для борьбы с поглощением вязкость раствора увеличивают до такой величины, что раствор не вытекает из воронки («не течет»).

Водоотдача — отделение воды от глинистого раствора, происходящее у фильтрующей поверхности.

Водоотдача имеет очень большое значение при бурении в пористых, рыхлых и нарушенных породах. Впервые важность явления водоотдачи глинистых растворов при бурении была установлена в 1935 г. грозненским ученым В. С. Барановым, который разработал первые приборы для измерения водоотдачи, а также предложил химические реагенты для ее снижения.

На буровых водоотдачу измеряют при помощи приборов ВМ-6 (рис. 8). Основными частями прибора являются: напорный цилиндр и фильтрационный стакан, установленные на подставке. Узел напорного цилиндра состоит из собственно цилиндра 1, плунжера 9 и связанного с ним полого цилиндрического корпуса. Узел фильтрационного стакана состоит из стакана 4, поддона 3, решетки и клапана 6.

Для определения водоотдачи плунжер вынимают из цилиндра, последний вывинчивают из стакана и разбирают. На решетку накладывают фильтр из смоченной фильтровальной бумаги 5. После этого стакан собирают, заполняют глинистым раствором и помещают в кронштейн 7; на стакан навинчивают цилиндр. Игла 2 цилиндра должна быть завинчена. В цилиндр заливают машинное масло так, чтобы до верхнего края втулки остался 1 см , и затем вставляют плунжер. При этом избыток масла спускают, устанавливая нулевое деление шкалы 8 на отсчетной риске 10. Затем открывают клапан, отвинчивают винт поддона на один-два оборота и одновременно включают секундомер. Через 30 мин снимают показания водоотдачи по шкале прибора.

Нормальной для глинистых растворов, предназначенных для неосложненных условий бурения, считается водоотдача 25 см^3 за 30 мин . Глинистые растворы, имеющие водоотдачу свыше 25 см^3

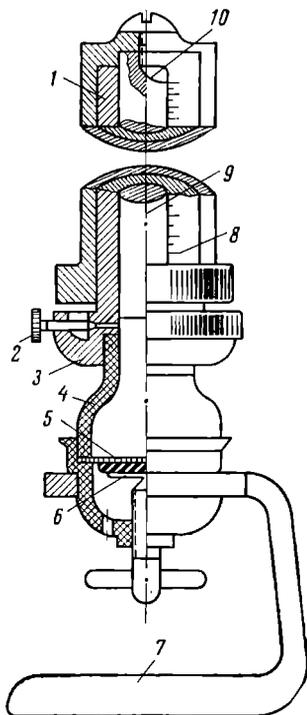


Рис. 8. Прибор ВМ-6.

за 30 мин, считаются недоброкачественными и создают осложнения при бурении в пористых породах.

Содержание песка. В глинистых растворах количеством взвешенных крупных частиц — остатков выбуренной породы, глины и т. д. — определяется возможность прихвата инструмента в скважинах; эти частицы, состоящие из твердых пород, увеличивают скорость износа деталей буровых насосов, опор шарошечных долот, бурильных замков и труб. Все эти частицы условно называют песком.

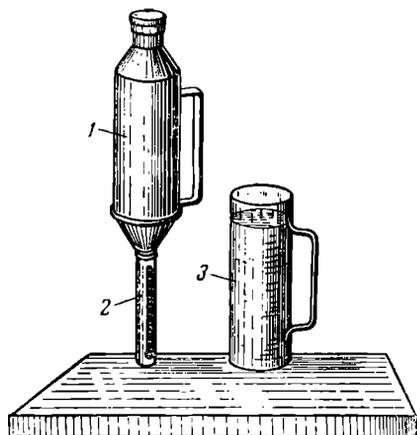


Рис. 9. Отстойник ОМ-1.

Загрязненность раствора оценивают по процентному содержанию этих инертных примесей в некотором объеме. Содержание песка измеряют отстойником ОМ-1 (рис. 9). Мерной кружкой 3 (разделенной на две полости — 50 и 450 см³) в отстойник заливают 50 см³ глинистого раствора и 450 см³ воды. Перемешав глинистый раствор с водой, встряхивая и перевертывая сосуд 1, устанавливают последний вертикально и держат в таком положении 1 мин. За это время на дне стеклянной мензурки 2, имеющей на стенках шкалу с делениями, оседают крупные частицы, находящиеся в растворе. Определив объем осадка, образовавшегося за 1 мин, умножают его на 2, чтобы перевести в проценты.

Для неутяжеленных глинистых растворов допустимым считается содержание песка до 2%. Если количество песка в растворе превышает 2%, значит глинистый раствор плохо очищен от выбуренной породы.

Суточный отстой характеризует способность глинистого раствора выделять воду при стоянии в течение суток. Суточный отстой определяется в градуированном цилиндре емкостью 100 см³ (рис. 10). Для этого наливают глинистый раствор в цилиндр и оставляют в покое в течение 24 ч. Количество отстоявшийся за это время жидкости, выраженное в делениях цилиндра, показывает процент отстоя. Для нормальных глинистых растворов суточный отстой равен 0, он не должен превышать 2—4%.

Стабильность — способность раствора удерживать во взвешенном состоянии твердые частицы. Стабиль-

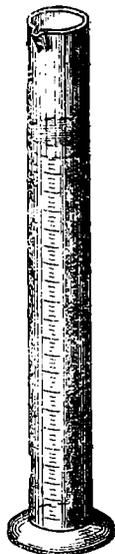


Рис. 10. Стакан, градуированный для определения величины отстоя глинистого раствора.

ность определяется разностью удельных весов нижнего и верхнего слоев глинистого раствора после определения суточного отстоя.

Стабильность измеряют в следующем порядке: верхний слой (50 см³) сливают в чашку, тщательно перемешивают, после чего пикнометром замеряют удельный вес. Нижний слой взбалтывают в цилиндре и с помощью пикнометра определяют удельный вес. Чем больше стабильность, тем хуже качество глинистого раствора. Для неутяжеленных глинистых растворов стабильность должна быть не более 0,02 г/см³, а для утяжеленных не более 0,06 г/см³.

Перечисленные параметры глинистого раствора контролируются на буровых при сооружении водяных скважин.

Удельный вес породы γ — отношение веса абсолютно сухой породы к объему вытесненной ею жидкости.

Он вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{g_0}{(g_0 + g_2) - g_1},$$

где g_0 — вес высушенного образца породы, введенного в колбу; g_1 — вес колбы с породой и водой, налитой до черты; g_2 — вес колбы с водой.

Для каждого образца породы проводят два параллельных определения удельного веса; среднее арифметическое двух результатов принимают за удельный вес образца.

Удельный вес основных минералов и некоторых пород приведен в табл. 6.

Таблица 6

Минералы	Средний удельный вес, Г/см ³	Породы	Средний удельный вес, Г/см ³
Альбит	2.60—2.65	Гранит	2.60—2.70
Биотит	2.7—3.1	Диабаз	2.90
Гипс	2.3	Базальт	2.9—3.3
Глаукоцит	2.2—2.8	Мрамор	2.72
Доломит	2.8—2.9	Известняк-ракушечник . .	2.70
Кальцит	2.71—2.72	Песчаник	2.35—2.65
Кварц	2.65—2.66	Глина майкопская	2.73
Каолинит	2.6	Глина верхнекамешно-угольная	2.78
Лимонит	3.6—4.0	Глина верхнеюрская . . .	2.92
Магнетит	5.17—5.18	Суглинок валунный . . .	2.68
Монтмориллонит	2.0—2.2	Песок кварцевый	2.65
Ортоклаз	2.56—2.58	Лёсс	2.68—2.70
Роговая обманка	3.0—3.3	Чернозем	2.37
		Горф	0.5—0.8

§ 5. ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ

При химической обработке в глинистый раствор добавляют вещества, обеспечивающие получение глинистых растворов определенных коллоидных свойств. По своему составу химические реагенты

разделяются на простые, состоящие из одного химического вещества, и сложные, включающие несколько веществ. По роду действия на глинистый раствор они могут быть понизителями водоотдачи и вязкости, структурообразователями и др. В бурении скважин наибольшее распространение получили каустическая и кальцинированная сода, бурый уголь, торф, сульфит-спиртовая барда (ССБ), жидкое стекло, ОП-10, натровая карбоксиметилцеллюлоза, гипан и др.

Количество жидкой сульфит-спиртовой барды и жидкой каустической соды, необходимое для приготовления реагента

Щелочной раствор ССБ применяют вместе с каустической или кальцинированной содой в соотношениях 1 : 0,1; 1 : 0,2; 1 : 0,3 и т. д. Это значит, что на 100 кг сухой ССБ берут 10, 20 или 30 кг соды и т. д.

Плотность (средняя) жидкой ССБ, поступающей с заводов, равна $1,26 \text{ г/см}^3$, т. е. вес 1000 л барды равен 1260 кг. Если в 1000 л содержится сухого остатка 52%, а воды 48%, то в указанном количестве ССБ сухой остаток составит $1260 - 480$ (вес воды) = 780 кг.

Чтобы приготовить реагент 20%-ной концентрации, на 1000 л воды нужно взять 200 кг сухой ССБ, что соответствует следующему количеству жидкой ССБ плотностью $1,26 \text{ г/см}^3$:

$$\frac{1000 \times 200}{780} = 256 \text{ л,}$$

а при 30%-ной концентрации

$$\frac{1000 \times 300}{780} = 384 \text{ л.}$$

Для приготовления реагента 20%-ной концентрации (при соотношении ССБ к каустической соде 1 : 0,2) на 1000 л требуется твердой каустической соды $200 \times 0,2 = 40 \text{ кг}$. Поступающая с завода жидкая сода плотностью $1,514 \text{ г/см}^3$ в 1000 л содержит 732 кг сухой соды. Таким образом, для приготовления реагента 20%-ной концентрации при соотношении ССБ к соде 1 : 0,2 необходимо жидкой соды

$$\frac{1000 \times 40}{732} = 55 \text{ л.}$$

Пример. Приготовить 1 м³ реагента 20%-ной концентрации при соотношении ССБ к каустической соде 1 : 0,2. Плотность жидкой соды равна $1,514 \text{ г/см}^3$, или в 1 л содержится 732 г твердой соды.

Следовательно, для приготовления 1 м³ реагента потребуется 200 л ССБ или $126 \times 2 = 252 \text{ кг}$, твердой каустической соды $252 \times 0,2 = 50,4 \text{ кг}$, или $\frac{1000 \cdot 50,4}{732} = 68,8 \text{ л}$.

Практикой установлено, что в жидкой ССБ, плотность которой равна 1,2—1,3 кг/см³, содержится 50% воды.

Концентрация сухой барды, содержащейся в растворе, определяется в лаборатории опытным путем. Сначала выбирают рецепт для первичной обработки промывочной жидкости, а затем систематически регулируют качество раствора.

Составные части углещелочного реагента — бурый уголь, сода и вода

Углещелочной реагент (УЩР) является одним из самых эффективных и дешевых реагентов. Он применяется для улучшения буровых растворов, повышения их дисперсности и агрегативной устойчивости, снижения водоотдачи и вязкости. УЩР регулирует вязкость и статическое напряжение сдвига растворов, загустевших от выбуренной породы. УЩР пригоден при бурении пород, содержащих пресные и небольшой минерализации воды (до 1,5 ÷ 2% соли), он сохраняет низкую водоотдачу пресных растворов при высокой забойной температуре (373—473° К).

Углещелочной реагент готовят из бурого угля, обрабатывая его каустической или кальцинированной содой. Для приготовления углещелочного реагента дробленный и просеянный через сито бурый уголь перемешивают в глиномешалке с раствором соды в воде.

Соотношение количеств бурого угля, соды и воды для приготовления реагента подсчитывают в расчете на сухой вес бурого угля.

Определение в углещелочном реагенте количества бурого угля и соды с учетом их влажности

Бурый уголь не может быть абсолютно сухим.

Запись 10% УЩР (1 : 0,2) означает, что в 1000 л реагента содержится 100 кг безводного бурого угля, 20 кг безводного (кристаллического) едкого натра, а остальное вода (пресная или морская).

В зависимости от сорта бурого угля, способа его хранения и времени года влажность его колеблется в пределах от 10 до 50%. Естественную влажность определяют высушиванием образца исследуемой горной породы до постоянного веса, причем количество содержащейся в породе воды выражают в виде весовой и объемной влажности. Весовая влажность — это отношение веса воды к весу сухой породы; ее определяют по формуле

$$w_n = \frac{B_1 - B_2}{B_1} 100\%,$$

где w_n — естественная весовая влажность в %; B_1 — вес образца исследуемой горной породы с естественной влажностью в г; B_2 — вес образца той же породы, высушенной при 100—105° С, в г.

Объемная влажность выражается объемом воды, содержащейся в 1 см³ влажной породы, и определяется по формуле

$$w_o = w_n \delta,$$

где w_o — объемная влажность в %; w_n — весовая влажность в %; δ — объемный вес сухой породы в г/см³.

Для определения влажности берут навеску бурого угля B_1 (около 5 г), помещают в сушильный шкаф с температурой 100—105° С и периодически взвешивают, пока взвешивание не даст два одинаковых результата — пусть это будет вес B_2 .

Предположим, что вес навески угля 5 г, после сушки вес угля снизился до 3,5 г, тогда влажность угля будет

$$w = \frac{5-3,5}{5} 100 = 30\%.$$

Если влажность уже определена, то количество бурого угля Q_w , необходимое для приготовления реагента, определится по формуле

$$Q_w = \frac{Q}{1 - \frac{w}{100}},$$

где Q — количество безводного угля, определенное по рецептуре реагента.

Для приготовления 1 м³ 10%-ного УЩР требуется 100 кг безводного угля, а влажного угля следует взять

$$Q_w = \frac{Q}{1 - \frac{w}{100}} = \frac{100}{1 - \frac{30}{100}} = \frac{100}{0,7} = 143 \text{ кг.}$$

Согласно принятой рецептуре для приготовления реагента требуется 20 кг (1 : 0,2, т. е. 100 × 0,2 = 20) безводного едкого натра (каустической соды).

Таблица 7

Удельный вес раствора, г/см ³	Содержание NaOH в 1 л раствора, г	Удельный вес раствора, г/см ³	Содержание NaOH в 1 л раствора, г
1.332	399.6	1.397	507.9
1.345	419.6	1.410	530.9
1.357	441.0	1.424	556.2
1.370	462.1	1.438	582.0
1.383	484.1	1.453	610.6

Концентрацию раствора едкого натра определяют по удельному весу раствора. Удельный вес раствора едкого натра колеблется от 1,332 до 1,453 г/см³. Для приготовления УЩР предварительно определяют пикнометром удельный вес раствора едкого натра (пусть в нашем случае удельный вес равен 1,438 г/см³), затем по таблич-

ным данным определяют содержание едкого натра в растворе данного удельного веса (табл. 7).

Если обозначить через g весовое количество ($кг$) безводного натра, то объем его в литрах V , необходимый для приготовления реагента,

$$V = \frac{1000g}{a},$$

где a — содержание едкого натра (в $г$) в $1 л$ раствора данной плотности (a находим по табл. 7).

Для нашего случая $g = 20 кг$, $a = 582 г$. Удельный вес раствора едкого натра равен $1,438 Г/см^3$, следовательно,

$$V = \frac{1000 \times 20}{582} = 34 л.$$

Поэтому для приготовления $1000 л$ реагента по рецепту 10% УЩР ($1 : 0,2$) требуется $143 кг$ бурого угля (при влажности 30%), $34 л$ раствора едкого натра (при удельном весе раствора едкого натра $1,438 Г/см^3$), остальное количество, равное

$$\left[1000 - \left(\frac{143}{\gamma_{уг}} + 34 \right) \right] \approx 854 л,$$

составляет вода.

Таблица 8

Концентрация УЩР, %	Расход бурого угля в кг при содержании влаги в нем, %					Расход жидкой каустической соды в л при удельном весе жидкой каустической соды, Г/см ³					Расход твердой каустической соды, кг
	15	20	30	40	50	1,45	1,48	1,50	1,51	1,53	
5	59	62	71	83	100	16	15	14	13,5	13	10
10	117	125	143	166	200	32	30	28	27	26	20
13	153	162	186	217	260	43	39	37	35	34	26
15	176	190	215	250	300	49	45	43	41	39	30
20	235	250	285	335	400	65	60	57	55	52	40

Примечание. Соотношение ССБ и NaOH $1 : 0,2$.

В этой формуле через $\gamma_{уг}$ обозначена плотность бурого угля в $кг/дм^3$, которая может изменяться от $0,2$ до $1,5 кг/дм^3$. В нашем примере плотность бурого угля равна $1,3 кг/дм^3$. Расход бурого угля (в $кг$) и жидкой или твердой каустической соды (в $л$) для приготовления $1 м^3$ углещелочного реагента (УЩР) различной концентрации приведен в табл. 8.

Пример. Необходимо рассчитать количество угля и щелочи в углещелочном реагенте, содержащем 13% угля и 2% NaOH (влажность угля 40% , удельный вес NaOH — $1,45 Г/см^3$, рассчитываем на $1 м^3$ реагента).

Если бы уголь был сухим, то его следовало бы взять $130 кг$, но в нем содержится 40% воды, поэтому нужно определить количество влажного угля, эквивалентное $130 кг$ сухого. Из пропорции $x : 130 = 100 : 60$ находим, что

$$x = \frac{130 \times 100}{60} = 216,6 кг.$$

Таблица 9

Концентрация ССБ, %	Расход жидкой ССБ в л при ее удельном весе, Г/см ³										Расход жидкой NaOH (ССБ : NaOH = 1 : 0,2) в л при удельном весе жидкой NaOH, Г/см ³										Расход твердой NaOH (ССБ : NaOH = 1 : 0,1) в л при ее удельном весе, Г/см ³									
	1,14	1,16	1,18	1,20	1,22	1,24	1,26	1,28	1,30	1,32	1,45	1,50	1,51	1,53	1,45	1,48	1,50	1,51	1,53	1,45	1,48	1,50	1,51	1,53						
5	460	439	424	413	401	93	85	78	73	68	16	15	14	13,5	13	10	8	7,5	7	6,7	6,5	5								
10	319	279	249	225	203	185	170	156	146	135	32	30	28	27	26	20	16	15	14	13,4	13	10								
15	479	418	373	338	304	278	255	234	219	203	49	45	43	41	39	30	24,5	22,5	21,5	20,5	19,5	15								
20	638	558	498	450	406	370	340	312	292	270	65	60	57	55	52	40	32,5	30	28,5	27,5	26	20								
25	800	695	620	565	505	465	425	390	365	340	82	75	72	69	65	50	41	37,5	36	34,5	32,5	25								
30	958	836	746	676	608	556	510	468	438	406	98	90	86	82	78,5	60	49	45	43	41	39	30								

Из табл. 8 следует, что для приготовления 1 м³ реагента требуется 20 кг твердой каустической соды. Пользуясь данными табл. 7, находим, что при удельном весе соды 1,45 Г/см³ 1 м³ реагента содержит 610,6 г каустической соды, т. е. 1 м³ = 610 кг. Составляем пропорцию: $x : 20 = 1000 : 610$, откуда

$$x = \frac{1000 \times 20}{610} = 32,7 \text{ л.}$$

Таким образом, для приготовления 1 м³ УЩР — углещелочного реагента, содержащего 13% сухого угля и 2% NaOH, нужно израсходовать 216,6 кг угля с влажностью 40% и 32,7 л щелочи удельного веса 1,45 кг/см³.

Расчет ССБ и каустической соды для приготовления сульфит-щелочного реагента

Сульфит-спиртовая барда является отходом бумажного производства. Она может быть в твердом и жидком состоянии в зависимости от степени упаривания; поступает к потребителю обычно в виде жидкости удельного веса 1,20—1,30 Г/см³. Основное назначение сульфит-спиртовой барды вместе с поваренной солью — снизить водоотдачу глинистых растворов. Реагенты из сульфит-спиртовой барды рекомендуется применять при проходке засоленных пород и поступлении в раствор минерализованных вод.

Пример. Приготовить 1 м³ реагента, содержащего 25% сульфит-спиртовой барды и 6% щелочи, при удельном весе барды и щелочи соответственно 1,24 и 1,44 Г/см³. Для приготовления 1 м³ реагента требуется 250 кг твердой барды. Определим, какое количество жидкой барды соответствует 250 кг твердой.

Жидкая барда удельного веса 1,24 Г/см³ согласно данным табл. 9

содержит 46,5% сухих веществ. Это значит, что в 1000 кг жидкой барды содержится 465 кг сухой.

Из пропорции находим

$$x : 250 = 1000 : 465,$$

$$x = \frac{1000 \times 250}{465} = 534,4 \text{ кг жидкой ССБ.}$$

При удельном весе жидкой барды, равном 1,24 Г/см³, 534,4 кг жидкой барды соответствуют в объемных единицах:

$$534,4 : 1,24 = 430,9 \text{ л.}$$

При наличии сухой щелочи на 1 м³ реагента необходимо было бы парасходовать ее 50 кг. Из табл. 8 видно, что в 1 л щелочи удельного веса 1,44 Г/см³ содержится примерно 582 г сухого вещества, или в 1 м³ 582 кг.

Чтобы определить, сколько литров жидкой щелочи удельного веса 1,44 Г/см³ нужно взять, чтобы в ней содержалось 50 кг твердой, составляем пропорцию

$$x : 50 = 1000 : 582,$$

откуда

$$x = \frac{1000 \times 50}{582} = 85,9 \text{ л.}$$

Таким образом, для приготовления 1 м³ реагента нужно взять 430,9 л сульфит-спиртовой барды, 85,9 л раствора щелочи данного удельного веса и 483,2 л воды.

§ 6. МЕРЫ БОРЬБЫ С ВОДОПРОЯВЛЕНИЯМИ

В процессе бурения скважин на воду вскрываются водоносные горизонты, содержащие слабо- или сильноминерализованные воды, непригодные для хозяйственного и питьевого водоснабжения. При этом глинистый раствор иногда не обеспечивает необходимое противодавление на пласт, вследствие чего вода поступает в глинистый раствор и параметры циркулирующего в скважине раствора изменяются в зависимости от качества и количества поступающей воды. При поступлении воды повышается водоотдача и уменьшаются удельный вес, вязкость и статическое напряжение сдвига глинистого раствора.

Для борьбы с водопроявлениями глинистый раствор должен иметь следующие параметры: повышенный до необходимых значений удельный вес, водоотдачу не более 10 см³, статическое напряжение сдвига не меньше 80 мГ/см².

Для определения удельного веса глинистого раствора, препятствующего поступлению воды из пласта на данной глубине, пользуются формулой

$$\gamma = \frac{10p}{H} + 0,2 \text{ Г/см}^3,$$

где γ — удельный вес в Г/см³, p — пластовое давление в кг/см², H — глубина скважины в м.

Утяжеление глинистого раствора

Глинистый раствор утяжеляют, когда давление вскрываемых пластов оказывается больше гидростатического давления на пласт или бурение скважины ведется в условиях, характеризующихся сильными водопроявлениями пласта. Утяжелитель предварительно

Таблица 10

Утяжелители	Удельный вес, Г/см ³	
	в руде	чистого
Барий кировабадский	3,5—3,85	—
» беловский	4,1—4,2	4,3—4,5
Гематит	4,3—4,6	5,19—5,28
Магнетитовые пески	3,6—4,5	4,9—5,2
Пиритовые огарки	3,6—3,8	—
Колошниковая пыль	—	4,1

нужно слегка смочить (при применении сухого утяжелителя вязкость раствора резко увеличивается и раствор при циркуляции выносит большое количество пузырьков воздуха).

Таблица 11

Удельный вес исходного глинистого раствора, Г/см ³	Требуемый удельный вес утяжеленного глинистого раствора, Г/см ³	Необходимое количество утяжелителя в т (приблизительно) при удельном весе его, Г/см ³	
		4,5	4,0
1,1	1,2	0,136	0,143
	1,3	0,281	0,296
	1,4	0,436	0,462
	1,5	0,600	0,640
	1,6	0,776	0,833
1,2	1,3	0,141	0,148
	1,4	0,290	0,308
	1,5	0,450	0,480
	1,6	0,621	0,667
1,3	1,4	0,145	0,154
	1,5	0,300	0,320
	1,6	0,466	0,500

Применяемые утяжелители и их удельные веса приводятся в табл. 10.

Необходимое количество утяжелителя в тоннах на 1 м³ глинистого раствора определяется по формуле

$$g = \frac{\gamma(\delta - a)}{\gamma - \delta},$$

где γ — удельный вес утяжелителя; a — удельный вес глинистого раствора до утяжеления; δ — требуемый удельный вес глинистого раствора после утяжеления.

Расход утяжелителя в тоннах на 1 м³ исходного

глинистого раствора может быть определен по табл. 11.

Пр и м е р. Определить необходимое количество утяжелителя для скважины диаметром 273 мм при бурении до глубины 200 м и диаметром 247 мм — от 200 до 650 м. Утяжеленный раствор требуется для бурения скважины в интервале от 650 до 740 м; необходимо повысить удельный вес раствора с 1,2 до 1,5 Г/см³.

Р е ш е н и е. 1. Примем, что ствол скважины от 0 до 650 м имеет диаметр 247 мм. При этом объем глинистого раствора, подлежащий первоначальному

утяжелению, будет состоять из объемов скважины, желобов и приема насосов т. е.

$$V = V_{\text{скв}} + V_{\text{ж}} + V_{\text{пр}},$$

где $V_{\text{скв}} = 0,048 \times 650 = 31 \text{ м}^3$, $V_{\text{ж}} = 0,8 \times 0,4 \times 25 = 8 \text{ м}^3$ (ширина желобов 0,8 м, высота потока раствора 0,4 м, длина желобов 25 м), $V_{\text{пр}} = 1 \times 10 = 10 \text{ м}^3$ (один прием объемом 10 м³);

тогда

$$V = 31 + 8 + 10 = 49 \text{ м}^3.$$

2. Количество утяжелителя для первоначального утяжеления раствора определяется по формуле

$$P = V \frac{\gamma(\delta - a)}{\gamma - \delta},$$

где V — объем раствора, подлежащий утяжелению и равный 49 м³; γ — удельный вес утяжелителя, принимаемый равным 4,5 Т/м³; δ — удельный вес утяжеленного раствора, равный 1,5 Т/м³; a — удельный вес глинистого раствора до утяжеления, равный 1,2 Г/см³;

тогда

$$P = 49 \frac{4,5(1,5 - 1,2)}{4,5 - 1,5} = 22,1 \text{ т.}$$

3. При бурении в интервале от 650 до 740 м дополнительно будем утяжелять раствор через каждые 30 м, тогда количество обработок будет

$$n = \frac{740 - 650}{30} = 3.$$

4. На одну дополнительную обработку потребуется утяжелителя

$$g = \frac{4,5(1,5 - 1,2)}{4,5 - 1,5} (0,048 \times 30) + 0,5 = 1,1 \text{ т.}$$

Здесь число 0,5 обозначает, что при каждой чистке желобов от разбуренной породы теряется 0,5 м³ раствора.

5. На три дополнительных обработки раствора потребуется утяжелителя

$$g' = 3g = 3,3 \text{ т.}$$

6. Таким образом, общая потребность утяжелителя будет равна

$$G = 22,1 + 3,3 = 25,4 \text{ т.}$$

§ 7. БОРЬБА С ПОГЛОЩЕНИЯМИ

В процессе бурения скважин на воду нередко бывает частичное или полное поглощение промывочной жидкости. В первом случае часть жидкости возвращается на поверхность, а часть поглощается проницаемыми пластами, имеющими давление меньше гидростатического. При частичном поглощении бурят с промывкой глинистым раствором пониженного удельного веса, повышенной вязкости и статического напряжения сдвига.

Краткая характеристика определяющих признаков и основные способы борьбы с поглощениями приведены в табл. 12.

Характер поглощения	Признаки	Основные методы борьбы
Слабое	Наблюдается при бурении с промывкой раствором, по вязкости мало отличающимся от воды	Добавление свежего глинистого раствора повышенной вязкости
Нормальное	Потеря раствора становится реально ощутимой	Увеличение вязкости раствора до 40—60 сек по СПВ-5
Сильное	Поглощается раствор любой вязкости	Специальная обработка раствора с вводом в него волокнистых добавок; увеличение вязкости до 80—120 сек по СПВ-5
Частичное	Уровень раствора находится недалеко от устья и из скважины в прием насоса раствор не попадает	Применение специальных смесей, паст и т. д.
Полное	Уровень раствора в скважине находится на значительном расстоянии от устья и при работе бурового насоса не поднимается	Бурение с промывкой аэрированным раствором; если это не дает результата — спуск обсадной колонны
Катастрофическое	Известные средства борьбы с поглощением не дают результата	Спуск обсадной колонны

Поглощения ликвидируются применением высоковязких и тиксотропных растворов. Более эффективной мерой является смена промывочной жидкости на специальную за 50 м до вскрытия поглощающего пласта.

Глинистый раствор часто полностью поглощается при вскрытии долотом больших трещин, каверн и сильнодренированных водоносных горизонтов. При этом уровень жидкости в стволе скважины понижается, несмотря на работу буровых насосов, и устанавливается на некоторой глубине. Для устранения подобного рода осложнений применяют заливку зоны поглощения гелецементными тампонирующими смесями с последующим ее разбуриванием.

Для приготовления БСС принимается примерно следующее количество вводимого в смесь компонента (в % к весу тампонажного цемента):

Каустическая сода	до 5
Кальцинированная сода	до 5
Хлористый кальций	до 7
Жидкое стекло	до 10
Гипсоглиноземистый или глиноземистый цемент	до 30
Бентонитовая глина	до 10

Если глинистый раствор полностью поглощается, то бурят с промывкой водой без выхода циркуляции, при этом выбуренная

порода многократно измельчается долотом и уносится водой в поглощающие ее зоны.

Для удаления выбуренной породы с забоя на буровой необходимо иметь достаточное количество воды, при закачивании которой следует соблюдать меры, исключающие прихват бурильного инструмента при перерывах в работе буровых насосов.

Для оценки интенсивности поглощения А. А. Гайворонский и Б. М. Шайдеров предложили определять коэффициент поглощающей способности по следующей формуле:

$$k = \frac{Q}{\sqrt{H}},$$

где H — напор, при котором происходит поглощение в *м вод. ст.*; Q — количество жидкости, поглощаемое пластом при данной величине напора, в *м³/ч.*

Для определения k измеряют статический уровень жидкости, затем в скважину спускают бурильный инструмент, нижний конец которого должен находиться на 5—10 м ниже статического уровня, включают буровые насосы и измеряют установившийся динамический уровень. Расход жидкости определяют по изменению уровня жидкости в приемном чане.

Коэффициент k при частичном поглощении вычисляют по формуле

$$k = \frac{Q}{\sqrt{H_0 + h}},$$

где H_0 — глубина динамического уровня от устья скважины; h — гидравлические потери в затрубном пространстве, подсчитываемые по формуле Дарси — Вейсбаха,

$$h = \lambda \frac{v^2}{2g} \frac{l}{d},$$

где h — потеря напора в метрах столба промывочной жидкости; v — средняя объемная скорость течения, определяемая делением расхода жидкости на площадь поперечного сечения трубы, в *м/сек*; l и d — длина и внутренний диаметр трубы в *м*; λ — безразмерный коэффициент сопротивления, зависящий от шероховатости стенок труб.

Для новых стальных труб при турбулентном режиме коэффициент сопротивления вычисляют по формуле

$$\lambda = \frac{0,0121}{d^{0,226}},$$

где d — внутренний диаметр труб в *м*.

Практически число Рейнольдса при течении воды в бурильных трубах изменяется от 3×10^5 до 8×10^5 , т. е. имеется только турбулентный режим течения.

Борьба с поглощением промывочной жидкости с помощью реагентов-структурообразователей, гельцементов и быстросхватывающихся смесей

Реагенты-структурообразователи увеличивают вязкость глинистых растворов и повышают их тиксотропные свойства. Вязкий глинистый раствор с резко выраженными тиксотропными свойствами, попадая в поры и трещины породы, загустевает и закупоривает их, что предупреждает поглощение раствора.

К структурообразователям относятся поваренная соль, жидкое стекло, известь, цемент, каустическая и кальцинированная сода и др.

Таблица 13

Состав смеси	Смесь	
	подвижная	мало-подвижная
Тампонажный цемент, кг	1000	1100
Глинистый раствор, л	500	450
Жидкое стекло, л	35	120
Каустическая сода, кг	75	120
Вода, л	100	50

Чтобы получить растворы с очень большой вязкостью (иногда до состояния «не течет») и большим статическим напряжением сдвига, применяют следующие добавки: жидкое стекло до 5% по массе от объема циркулирующего раствора; кальцинированную соду до 6% по массе от объема циркулирующего раствора; различные инертные добавки — опилки, рисовую шелуху, кордное волокно, торф, слюду, паклю и т. д. — в количестве 2—3% по массе от объема циркулирующего раствора (количество инертных

Примечание. Начало схватывания после приготовления подвижной смеси 105 мин, малоподвижной — 45 мин; продолжительность схватывания — соответственно 240 и 105 мин.

добавок определяется в зависимости от конкретных условий бурения).

Гельцементы состоят из глинистого раствора и цемента. Чтобы приготовить 1 м³ геляцемента (обычно применяемого для ликвидации поглощений при бурении водяных скважин), берут 600—1000 кг тампонажного цемента и 600—700 л глинистого раствора. Приготовленную в глиномешалке смесь закачивают буровым насосом через бурильные трубы на забой скважины или в зону возможного поглощения и через одни-два суток приступают к дальнейшему бурению.

При катастрофических поглощениях применяют быстросхватывающиеся смеси (БСС), в состав которых помимо цемента входят жидкое стекло и каустическая сода. Эти реагенты повышают прочность затвердевшей массы и сокращают сроки схватывания. Реценты для приготовления 1 м³ некоторых БСС приведены в табл. 13.

§ 8. ОБРАБОТКА ГЛИНИСТОГО РАСТВОРА

Перед обработкой глинистого раствора необходимо определить, какой реагент и в каком количестве на 1 м³ раствора нужно взять для получения необходимых параметров глинистого раствора.

Для полного смешения реагент должен вводиться в начале желобной системы, и за время, равное полному циклу прохождения раствора, иначе удельный вес глинистого раствора может уменьшиться. В связи с этим необходимо соблюдать скорость подачи реагента, которую можно определить по формуле

$$v = \frac{1}{60} \frac{Q}{mT} \text{ л/мин},$$

где Q — объем реагента, необходимый для обработки глинистого раствора, в л; m — число циклов, в течение которых обрабатывается раствор; T — продолжительность одного цикла в ч.

Пример. Глубина скважины 400 м, диаметр 298 мм, производительность бурового насоса 17,5 л/сек. Согласно данным табл. 14 находим, что время одного цикла примерно равно 30 мин.

Таблица 14

Интервал бурения, м	Время (n — мин) одного цикла глинистого раствора при производительности насосов, л/сек							
	от 15 до 20				от 20 до 30			
	Диаметр скважины, мм							
	552	400	298	197	552	400	298	197
0—200	50	25	15	7	40	20	12	5
200—400	1—40	50	30	14	1—20	40	25	10
400—600	2—40	1—20	40	20	2—00	60	35	15
600—800	3—30	1—30	1—00	25	2—40	80	45	20
800—1000	4—30	2—20	1—20	30	4—20	1—40	1—00	25
1000—1500	6—50	3—30	2—00	50	5—30	2—40	1—30	35

По данным лаборатории количество реагента равно 500 л.⁵ Раствор обрабатывают в течение шести циклов. Тогда скорость добавления реагента будет

$$v = \frac{1}{60} \frac{500}{6 \times 0,5} = 2,78 \text{ л/мин}.$$

При химической обработке глинистого раствора реагентом большое значение имеет также и скорость добавления воды, которая устанавливается, исходя из вязкости раствора. Так, при вязкости 60—100 сек скорость добавления воды должна составить 1,5—2 м³/ч, при вязкости 30—60 сек 0,6—1,5 м³/ч.

Скорость вводимого реагента необходимо устанавливать в зависимости от скорости добавления воды.

Пример. Для химической обработки 42 м³ глинистого раствора необходимо добавить 3 м³ реагента и 1,5 м³ воды при вязкости раствора 40 сек по СПВ-5. Воду добавляют со скоростью 1,5 м³/ч.

В этом случае скорость подачи реагента вычисляется по формуле

$$v_p = v_v \frac{P_p}{P_v} \text{ м}^3/\text{ч},$$

где v_p — скорость подачи реагента в $\text{м}^3/\text{ч}$; v_w — скорость подачи воды в $\text{м}^3/\text{ч}$; P_w — количество воды для разбавления 1 м^3 раствора, равное 1,5 : 42 = 0,036 м^3 ; P_p — количество реагента, необходимое для обработки 1 м^3 раствора (в данном случае равно 3 : 42 = 0,071 м^3).

Тогда скорость подачи реагента составит

$$v_p = 1,5 \frac{0,071}{0,036} = 2,95 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для определения скорости добавления воды в глинистый раствор необходимо заданное количество воды (в $л$) разделить на продолжительность цикла обработки раствора.

П р и м е р. Диаметр скважины равен 300 мм (30 см), глубина скважины $L = 150 \text{ м} = 15\,000 \text{ см}$. Количество воды для добавления в раствор (по лабораторным данным) $Q = 500 \text{ л}$; производительность буровых насосов 9Гр $Q_1 = 30 \text{ л/сек}$.

Объем скважины будет равен

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4} = \frac{3,14 \times 30^2 \times 15\,000}{4 \times 1000} = 10\,600 \text{ л}.$$

Тогда продолжительность цикла будет

$$z = \frac{V}{Q_1} = \frac{10\,600}{30} = 354 \text{ сек}.$$

Скорость добавления реагента в раствор

$$v_1 = \frac{Q_1}{z} = \frac{500}{563} = 0,89 \text{ л/сек} = 53,4 \text{ л/мин}.$$

§ 9. СНИЖЕНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО СТОЛБА ЖИДКОСТИ НА ЗАБОЙ ПРИ ПОДЪЕМЕ БУРИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Давление на забой, оказываемое столбом глинистого раствора, может быть уменьшено при подъеме бурильных труб. При сооружении водяных скважин часто проходят верхние непригодные для хозяйственного и питьевого снабжения водоносные горизонты, поэтому нежелательно, чтобы давление пласта было больше давления гидростатического столба жидкости.

Величину снижения гидростатического столба жидкости на забой при подъеме бурильных труб определяют по формуле

$$p_0 = \frac{4l\theta}{D-d} \text{ кг/см}^2,$$

где p_0 — снижение давления гидростатического столба жидкости на забой в начале подъема бурильных труб в кг/см^2 ; l — глубина скважины в см; θ — статическое напряжение сдвига в кг/см^2 ; D — диаметр скважины в см; d — диаметр бурильных труб в см.

П р и м е р. Определить величину снижения давления гидростатического столба жидкости на забой, если глубина скважины $l = 450 \text{ м} = 45\,000 \text{ см}$, $\theta = 0,2 \text{ кг/см}^2$, $D = 19,7 \text{ см}$, $d = 8,9 \text{ см}$.

$$p_0 = \frac{4 \times 45\,000 \times 0,2}{19,7 - 8,9} = 3,2 \text{ кг/см}^2,$$

или при удельном весе глинистого раствора $\gamma = 1,2 \text{ Г/см}^3$ снижение давления гидростатического столба жидкости на забой равносильно снижению уровня глинистого раствора в скважине

$$\frac{3,2}{1,2} \approx 26,8 \text{ м вод. ст.}$$

§ 10. СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ РАСТВОРА

Для определения скорости движения глинистого раствора количество раствора (в м^3), которое буровой насос закачивает в скважину, нужно разделить на площадь (в м^2) поперечного сечения кольцевого пространства.

П р и м е р. Скважину бурят 114-мм бурильными трубами, 248-мм долотом при производительности двух буровых насосов 9Гр — 34 л/сек. Скорость движения восходящего потока раствора определяют по формуле

$$v = \frac{Q}{F} \text{ м/сек,}$$

где Q — производительность насоса в $\text{м}^3/\text{сек}$, F — площадь поперечного сечения кольцевого пространства между стенками скважины и бурильными трубами в м^2 . Для получения производительности насоса в $\text{м}^3/\text{сек}$ нужно производительность в л/сек разделить на 1000; в нашем случае производительность насоса будет равна $34 : 1000 = 0,034 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Для определения площади поперечного сечения кольцевого пространства нужно из площади сечения скважины вычесть площадь сечения бурильных труб.

Площадь сечения скважины диаметром 0,248 м

$$F_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,248^2}{4} = 0,048 \text{ м}^2.$$

Площадь сечения бурильных труб диаметром 0,114 м

$$F_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,114^2}{4} = 0,0102 \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения кольцевого пространства

$$F = F_1 - F_2 = 0,048 - 0,0102 \approx 0,038 \text{ м}^2.$$

Скорость движения жидкости

$$v = \frac{0,034}{0,038} \approx 1 \text{ м/сек.}$$

Данный пример можно решить также в обратном порядке, т. е. подсчитать производительность бурового насоса для получения определенной скорости движения жидкости в скважине.

П р и м е р. Необходимо получить скорость движения жидкости

$$v = 0,72 \text{ м/сек.}$$

Тогда производительность бурового насоса должна быть

$$Q = vF,$$

для нашего случая $F = 0,038 \text{ м}^2$, а производительность будет равна

$$Q = 0,72 \times 0,038 = 0,027 \text{ м}^3/\text{сек} = 27 \text{ л/сек.}$$

Пример. Определить количество глинистого раствора, необходимое для заполнения скважины диаметром $D = 320$ м.м., глубиной $H = 200$ м и системы циркуляции объемом $V = 24$ м³.

Искомый объем будет

$$V_0 = \frac{\pi D^2}{4} H + C.$$

Тогда

$$V_0 = \frac{3,14 \times 0,320^2}{4} 200 + 24 = 40,5 \text{ м}^3.$$

§ 11. УДЕРЖИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГЛИНИСТОГО РАСТВОРА

Статическое напряжение сдвига есть минимальная сила, обеспечивающая движение тела площадью 1 см^2 в глинистом растворе.

При прекращении движения глинистого раствора обломки выбуренной породы не могут преодолеть статическое напряжение сдвига и остаются в растворе во взвешенном состоянии, так как раствор обладает структурой. Увеличение статического напряжения сдвига выше определенной величины нежелательно, так как буровые насосы не смогут прокачать глинистый раствор, застывший в трубах, кроме того, при этом трудно очистить раствор от шлама и проводить электрометрические работы.

Размер кусочков породы, удерживаемых статическим напряжением сдвига, определяют по формуле

$$d = \frac{0,006m\theta}{\gamma_2 - \gamma_1},$$

где d — диаметр обломка горной породы в см; m — коэффициент, зависящий от формы обломка породы (для неправильной формы $m = 2$); θ — статическое напряжение сдвига в мГ/см²; γ_2 — удельный вес породы в Г/см³; γ_1 — удельный вес глинистого раствора в Г/см³.

Для удержания обломков выбуренной породы необходимо и достаточно статическое напряжение сдвига глинистых растворов: 25—50 мГ/см² после 1-мин нахождения раствора в покое и 75—150 мГ/см² после 10-мин.

§ 12. ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ

Нормальный процесс бурения скважины может быть осуществлен при гидростатическом давлении столба глинистого раствора, превышающем давление пласта; при этом условии стенки скважины глинизируются и удерживаются от обвала. Гидростатическое давление столба жидкости зависит от глубины скважины и удельного веса глинистого раствора. Эта величина определяется по формуле

$$p = \frac{H\gamma}{10} \text{ кг/см}^2,$$

где p — давление в кг/см²; H — глубина скважины в м; γ — удельный вес глинистого раствора в Г/см³.

Гидростатическое давление столба глинистого раствора регулируют, изменяя его удельный вес.

Если давление гидростатического столба жидкости будет значительно больше пластового, раствор будет поглощаться и уровень раствора будет падать до тех пор, пока гидростатическое давление столба жидкости не станет равно давлению пласта. Если гидростатическое давление столба глинистого раствора равно пластовому, то раствор не поглотится. Таким образом, можно подсчитать, какой удельный вес должен иметь глинистый раствор, чтобы не было поглощения.

Пример. В скважине глубиной 300 м уровень глинистого раствора удельного веса $1,24 \text{ Г/см}^3$ опустился на 250 м. Определить удельный вес раствора, который обеспечит предупреждение поглощения,

$$\gamma = 1,24 \frac{250}{300} = 1,04 \text{ Г/см}^3.$$

Таким образом, для предотвращения поглощения необходимо применять глинистый раствор возможно меньшего удельного веса.

Для оценки пластового давления обычно пользуются относительным давлением p_0 , т. е. отношением давления в пласте $p_{пл}$ к тому давлению в скважине $p_{скв}$, которое оказывал бы столб воды высотой, равной глубине залегания пласта от поверхности до забоя (т. е. к гидростатическому давлению).

Пример. Допустим, что $p_{пл} = 30 \text{ кг/см}^2$ и пласт залегает на глубине 260 м от поверхности, тогда относительное давление p_0 будет равно

$$p_0 = \frac{p_{пл}}{p_{скв} \gamma_w} = \frac{30 \times 10}{260 \times 1,0} \approx 1,16 \text{ кг/см}^2.$$

Пример. В скважине глубиной 200 м уровень глинистого раствора удельного веса $1,2 \text{ Г/см}^3$ снизился на 40 м.

Тогда относительное давление на глубине 200 м будет равно

$$p_0 = \frac{1,2(200 - 40)}{200} = 0,96 \text{ кг/см}^2,$$

на глубине 400 м

$$p_0 = \frac{1,2(400 - 40)}{400} = 1,08 \text{ кг/см}^2.$$

Пример. Если уровень глинистого раствора в скважине снизился на 30 м от устья скважины, то относительное давление при удельном весе глинистого раствора $\gamma = 1,2 \text{ Г/см}^3$ будет равно:

$$p_0 = \frac{1,2(100 - 30)}{100} = 0,84,$$

на глубине 200 м

$$p_0 = \frac{1,2(200 - 30)}{200} = 1,02$$

на глубине 300 м

$$p_0 = \frac{1,2(300 - 30)}{300} = 1,08.$$

§ 13. ГЛУБИНА ПРОНИКНОВЕНИЯ ГЛИНИСТОГО РАСТВОРА В ПОРОДЫ

Глубина проникновения глинистого раствора в песчаные породы прямо пропорциональна диаметру зерен породы, разности давлений между пластом и столбом глинистого раствора в скважине и обратно пропорциональна начальному статическому напряжению сдвига глинистого раствора. Глубина проникновения глинистого раствора выражается формулой

$$l = k \frac{d p}{\theta},$$

где l — глубина проникновения глинистого раствора в пласт в мм; k — коэффициент, зависящий от формы и величины зерен, слагающих породу (по данным АзНИИ для однородных зерен $k \approx \approx 0,154 - 0,146$); d — диаметр зерен в мм; p — разность давлений столба глинистого раствора в скважине и поглощающих пород в кг/см²; θ — статическое напряжение сдвига в мГ/см².

Таким образом, при одном и том же качестве глинистого раствора глубина проникновения его тем больше, чем крупнее величина пор. В пористые породы проникает тем меньше глинистого раствора, чем больше начальное статическое напряжение сдвига и вязкость глинистого раствора.

Поэтому для ликвидации поглощений применяются глинистые растворы с большей вязкостью. При этом удельный вес глинистого раствора для проходки поглощающих зон должен быть как можно меньше, но таким, чтобы обеспечивалось превышение давления столба глинистого раствора над пластовым, ибо в противном случае произойдет разжижение раствора и, следовательно, резкое уменьшение вязкости.

Пример. Определить глубину проникновения глинистого раствора в породу, если $k = 0,146$, $d = 0,6$ см, $p = 3$ кг/см², $\theta = 66$ мГ/см², тогда

$$l = 0,146 \frac{6 \times 3 \times 10^3}{66} = 39,6 \text{ мм} = 4,0 \text{ см.}$$

Таким образом, глинистый раствор пропикает в пласт, сложенный породами с размером зерен 6 мм, на глубину 40 см.

§ 14. СТЕПЕНЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ГЛИНИСТОГО РАСТВОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОХОДИМЫХ ПОРОД

В практике бурения скважин на воду в проходимых породах иногда встречаются растворимые соли (до 0,2%), обогащающие циркулирующий глинистый раствор.

Для определения степени минерализации раствора определим количество соли на 1 м³ глинистого раствора.

Пример. Объем выбуренной породы в скважине глубиной 960 м при диаметре долота 197 мм составляет

$$\frac{\pi d^2}{4} \times 960 = 29,3 \text{ м}^3.$$

Принимая средний объемный вес породы равным 2,3 $T/\text{м}^3$, получим вес породы

$$29,3 \times 2,3 = 68 \text{ т}.$$

Если водорастворимые соли (0,2%) растворяются в глинистом растворе, то их количество составит

$$\frac{68 \times 0,2}{100} = 0,136 \text{ т}.$$

Если принять, что на 1 м проходки расходуется 0,3 м^3 глинистого раствора, то общее количество раствора на проходку 960 м равно

$$960 \times 0,3 = 288 \text{ м}^3.$$

На 1 м^3 глинистого раствора примесь растворимых солей составит

$$\frac{0,136}{288} = 0,00047 \text{ кг/м} \approx 0,005\%.$$

Такое количество соли в глинистом растворе ухудшает его качество, поэтому раствор необходимо обработать химическими реагентами.

§ 15. УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ГЛИНИСТОГО РАСТВОРА ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОТКРЫТОГО ФОНТАНИРОВАНИЯ ВОДЫ ИЗ СКВАЖИНЫ ПРИ БУРЕНИИ ИЛИ ВСКРЫТИИ ПЛАСТА

Удельный вес глинистого раствора в этом случае нужно определять по формуле

$$\gamma = p_0 + (0,15 \div 0,20),$$

где γ — удельный вес глинистого раствора в $\Gamma/\text{см}^3$;

$$p_0 = \frac{10 p_{\text{пл}}^*}{H_{\text{свж}} \gamma_{\text{в}}},$$

где $p_{\text{пл}}$ — пластовое давление в $\text{кг}/\text{см}^2$; $H_{\text{свж}}$ — глубина скважины в м; $\gamma_{\text{в}}$ — удельный вес воды в $\Gamma/\text{см}^3$.

§ 16. ВЛИЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И РАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ В ПОРОДАХ НА КАЧЕСТВО ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

В карбонатных отложениях водой насыщается не вся толща пород; в зависимости от их пористости и проницаемости отдельные участки разреза насыщаются водой неодинаково. При бурении

* Пластовое давление практически определяют по изменению статического уровня в скважине при заполнении ствола скважины несколько утяжеленным раствором.

отдельных интервалов в скважинах отмечаются мощные водопроявления: разжижение глинистого раствора, поглощение и резкое изменение химического состава фильтрата глинистого раствора.

Подземные воды, как правило, в какой-то мере минерализованы. Пресные и слабоминерализованные воды встречаются только в верхних частях разреза. В подземных водах обычно встречаются хлористый натрий (поваренная соль), хлористый кальций и магний и незначительное количество карбонатов кальция.

Водорастворимые соли имеются не только в подземных водах, но и в самих породах. В процессе бурения скважин при интенсивном перемешивании шлама разбуренных горных пород с глинистым раствором такие водорастворимые соли, как поваренная, хлористый кальций и хлористый магний, выщелачиваются из пород и растворяются в воде глинистого раствора.

П р и м е р. При бурении скважин глубиной 1000 м (например, для месторождений Самарской Луки) до 250 м скважину бурят долотом диаметром 400 мм, а остальной интервал — 298-мм долотом. Объем выбуренной породы в этом случае, как показывает расчет, равен примерно 84 м³. Принимая средний объемный вес равным 2,2, получим вес выбуренной породы

$$84,0 \times 2,2 = 185 \text{ м.}$$

Если приять, что все водорастворимые соли переходят в раствор, то общее их количество при проходке скважины будет равно

$$\frac{185 \times 0,2}{100} = 0,37 \text{ м.}$$

Принимая расход глинистого раствора на 1 м проходки равным 1 м³, получим, что общий его расход составляет 1000 м³, или при среднем удельном весе глинистого раствора 1,2 Г/см³ расход его в весовом выражении будет равным 1200 т.

Таким образом, примесь растворимых солей составляет 0,30 кг на 1 т глинистого раствора

$$\frac{370}{1200} \approx 0,308 \text{ кг, или } 0,031\%.$$

Такое содержание солей в глинистом растворе будет заметно ухудшать качество глинистых растворов, применяемых для проходки скважины.

Для нейтрализации вредного действия солей подземных вод на глинистые растворы необходимо к ним добавлять вещества, имеющие обратное действие на свойства глинистых растворов, например щелочи. Поэтому при проходке карбонатных разрезов, обильно насыщенных водой, нужно применять глинистые растворы, улучшенные щелочами, которые нейтрализуют вредное действие этих солей.

§ 17. ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ ПО ПУТИ ДВИЖЕНИЯ ГЛИНИСТОГО РАСТВОРА

Гидравлические потери давления по пути движения глинистого раствора слагаются из следующих составляющих:

$$P_{\text{гид}} = P_{\text{обв}} + P_{\text{тр}} + P_{\text{к}} + P_{\text{з}} + P_{\text{УВТ}} + P_{\text{д}}$$

где $P_{гнд}$ — общие потери давления; $P_{обв}$, $P_{тр}$, $P_к$, $P_з$, $P_{убт}$, $P_д$ — потери давления соответственно в обвязке насосов, бурильных трубах, кольцевом пространстве, замках, удлинителях и утяжеленных бурильных трубах, долоте.

$$1. P_{обв} = cQ^{1,85},$$

где Q — количество прокачиваемого раствора в л/сек; c — постоянная, определяемая опытным путем и зависящая от пропускной способности обвязки насосов и характеристики прокачиваемой жидкости (для применяемых обвязок $c = 0,02$).

$$2. P_{тр} = \left(1,78 \frac{Q^{1,85}}{d_0^{4,85}} + \frac{3,88}{d_0}\right) L,$$

где L — длина бурильных труб в м; d_0 — внутренний диаметр бурильных труб в м; Q — количество прокачиваемого раствора в м/сек.

$$3. P_к = \left[1,78 \frac{Q^{1,85}}{(D_{скв} - d_{н})^{2,85} (D_{скв} - d_{н})^2} + \frac{3,88}{D_{скв} - d_{н}}\right] L,$$

где $D_{скв}$ — диаметр скважины в м; $d_{н}$ — наружный диаметр бурильных труб в м; L — глубина скважины в м; Q — количество прокачиваемого раствора в м³/сек.

$$4. P_{зам} = \frac{8\gamma}{\pi^2 q} \left[\left(\frac{1}{d'}\right)^2 - \left(\frac{1}{d_0}\right)^2 \right]^2 Q^2 \frac{L}{l},$$

где γ — удельный вес глинистого раствора в Г/см³; d' — внутренний диаметр замка или высадки бурильной трубы в м; d_0 — внутренний диаметр бурильных труб в м; l — расстояние между замками или длина одной трубы в м; q — ускорение силы тяжести (9,81 м/сек²); Q — количество прокачиваемого раствора в м³/сек.

5. $P_{убт}$ — подсчитывается по формуле (2).

$$6. P_д = \frac{\gamma\mu Q^2}{m_0^3 d_0^4},$$

где γ — удельный вес глинистого раствора в Г/см³; μ — коэффициент пропорциональности, зависящий от формы входной части промывочных отверстий долота (значения μ приведены ниже и составлены по данным В. Л. Ильского); Q — количество прокачиваемого раствора в м³/сек; m_0 — количество промывочных отверстий в долоте; d_0 — диаметр промывочных отверстий в долоте в см.

Форма входной части промывочного отверстия	μ
Остроугольный вход . . .	0.196
Закругление по радиусу 0,3 см	0.133
Конус 15° на длине 2 см	0.121

§ 18. ДЛИНА И УКЛОН ЖЕЛОБНОЙ СИСТЕМЫ

Очистка глинистого раствора от выбуренной породы зависит от скорости его движения. Движение раствора по желобу может начаться при некотором уклоне, который должен превышать

минимальный. Глинистый раствор от выбуренной породы должен очищаться непрерывно по мере разбуривания долотом забоя.

Лабораторные исследования АзНИИ показали, что желоба хорошо очищают раствор от песка лишь при наличии условий, обеспечивающих достаточное разрушение структуры раствора. Практически структурное сцепление между элементами глинистого раствора разрушается лишь около стенок и дна, где выпадают в основном песок и разбуренная порода.

Желобная система может быть рассчитана по следующим формулам:

$$L = \frac{V}{Bk}; \quad H = iL; \quad B = \frac{Q}{hv}; \quad v = av_1; \quad V = \frac{pQ}{100},$$

в этих формулах L — длина желобной системы в м; H — высота желоба в м; V — объем выбуренной породы в м³/ч; B — ширина желоба в м; h — глубина потока в м; i — уклон желоба; Q — расход в м³/сек; v — средняя объемная скорость, равная 20—25 см/сек; v_1 — поверхностная скорость раствора в желобе (определяется по плавлком), равная 12—18 см/сек; a — коэффициент; p — процент очистки.

Коэффициент a для очищенного от песка желоба равен 0,6—0,65, для загрязненного песком — 0,5.

Процентом очистки p задаются в зависимости от скорости проходки и диаметра скважины; при больших скорости и диаметре значение p должно быть большим.

Необходимый уклон желобной системы определяется по формуле

$$i = \frac{\theta m}{Rh\gamma},$$

где θ — статическое напряжение сдвига в Г/см²; m — коэффициент формы, по данным АзНИИ равный 2; γ — удельный вес глинистого раствора; R — гидравлический радиус потока.

Пример. Необходимость определить уклон желобной системы при $\theta = 0,02$ Г/см², $m = 2$, $\gamma = 1,2$, $B = 40$ см, $h = 12$ см.

$$Rh = \frac{40 \times 12}{40 + 2 \times 12} = 7,5 \text{ см},$$

тогда

$$i = \frac{0,02 \times 2}{7,5 \times 1,2} = 0,0045,$$

или на 1 м уклон должен составлять около 5 мм.

Длина желобной системы определяется по формуле

$$L = \frac{V}{Bk \cdot 60},$$

где V — объем выбуренной породы в м³/ч.

$$V = 0,785 D^2 S m,$$

где $0,785D^2$ — площадь скважины; Sm — механическая скорость бурения
 k — коэффициент очистной способности желобной системы (по данным АзНИИ
 может быть принят равным в пределах от 0,0002 до 0,0005 м/мин).

B — ширина желоба, которая определяется по формуле

$$B = \frac{Q}{hv},$$

где Q — производительность бурового насоса в л/сек; h — глубина погока в желобной системе в см; v — средняя объемная скорость глинистого раствора в м³/ч.

Пример. Определить длину желобной системы, если диаметр скважины $D = 243$ мм, или 0,24 м, $Sm = 8$ м/ч, $Q = 30$ л/сек (при параллельной работе двух насосов 9МГР), $h = 24$ см, $v = 20$ см/сек, $k = 0,0005$.

Тогда

$$V = 0,785 \times 0,24^2 \times 8 = 0,362 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$B = \frac{0,030}{0,24 \times 0,2} = 0,62 \text{ м}.$$

Подставляя полученные данные, определяем длину желобной системы

$$L = \frac{0,362}{0,62 \times 0,0005 \times 60} \approx 20 \text{ м}.$$

Пример. Определить длину желобной системы, если диаметр скважины $D = 0,3$ м, $Sm = 6$ м/ч, $Q = 30$ л/сек, $h = 20$ см, $v = 30$ см/сек, $k = 0,0005$. Объем выбуренной породы равен

$$V = 0,785 \times 0,3^2 \times 6 = 0,424 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$B = \frac{0,030}{0,20 \times 0,30} = 0,5 \text{ м}.$$

Вычисляем длину желоба

$$L = \frac{0,424}{0,5 \times 0,0005 \times 60} \approx 28 \text{ м}.$$

Пример. Определить объем глинистого раствора V , необходимый для наполнения скважины диаметром 0,248 м, глубиной 320 м и системы циркуляции $V_1 = 9$ м³. Искомый объем определяется следующим выражением:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} H + V_1,$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 0,248^2}{4} \times 320 + 9 \approx 24,5 \text{ м}^3.$$

Глава V

РАЗОБЩЕНИЕ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ. КРЕПЛЕНИЕ СКВАЖИН

§ 1. ПОДГОТОВКА СТВОЛА СКВАЖИНЫ К СПУСКУ КОЛОННЫ ОБСАДНЫХ ТРУБ

В процессе бурения глинистый раствор, проникая в стенки скважины, создает на них глинистую корку; эта корка, постепенно уплотняясь, затрудняет и затем препятствует проникновению глинистого раствора в породу. Кроме этого, на стенках скважины образуется еще поверхностный осадок из отложившихся из раствора глинистых и песчаных частиц. Для успешного крепления скважины необходимо удалить этот осадок со стенок скважины.

Хорошая промывка в процессе проработки скважины является необходимым условием надлежащей очистки и подготовки ствола скважины к креплению. Диаметр долота при проработке должен быть таким же, каким бурилась скважина. Во время проработки ствола скважины вследствие разрушения осадка удельный вес выходящего глинистого раствора повышается. При промывке в раствор нужно добавлять воду, если это позволяет характер скважины, или свежий глинистый раствор.

Проработка и очистка скважины может считаться законченной, когда удельный вес раствора, выходящего из скважины, одинаков с закачиваемым в скважину.

§ 2. ПОДГОТОВКА ОБСАДНЫХ ТРУБ

Доставленные на буровую для спуска обсадные трубы должны быть:

- 1) тщательно осмотрены для выявления возможных дефектов (овальности, плен, повреждения резьбы и пр.), обнаруженные дефектные обсадные трубы должны быть отбракованы и к спуску в скважину не должны допускаться;

- 2) через каждую трубу пропускается жесткий шаблон, диаметр которого должен быть меньше номинального внутреннего диаметра обсадных труб:

а) для труб диаметром от 140 до 219 мм на 3 мм,

б) для труб диаметром от 245 до 426 мм на 5 мм.

Длина шаблона должна быть: для труб диаметром до 219 мм — 150 мм, для труб диаметром 245 мм и более — 300 мм;

3) все трубы, проверенные шаблоном, замеряются рулеткой, нумеруются и укладываются на мостках в той последовательности, как это предусматривается порядком спуска их в скважину;

4) резьбовые соединения должны быть очищены от грязи и промыты керосином.

§ 3. ПОДГОТОВКА ВЫШКИ И БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Вышка и все буровое оборудование перед обсадкой скважины тщательно проверяется. Рассчитывают прочность с учетом работ по спуску колонны обсадных труб. Вышка должна быть проверена на центрирование положения верха с устьем скважины. Проверяются и смазываются кронблок, талевый блок, стальной канат, приводится в полный порядок тормозное устройство, болтовые соединения, оттяжки. В буровых насосах должны быть сменены работающие детали поршней и клапанов.

§ 4. СПУСК КОЛОННЫ

При спуске колонны необходимо выполнять следующие основные требования:

1) резьбовое соединение трубы должно быть смазано;

2) не допускается крепление трубы машинными ключами, если при навинчивании трубы вручную недовернули ее на 5—6 ниток, то такая труба должна быть заменена;

3) при спуске колонны с обратным клапаном колонну следует наполнять глинистым раствором после спуска примерно каждые десять труб;

4) колонну с обратным клапаном следует спускать равномерно с такой скоростью, чтобы колебание стрелки индикатора веса не выходило за пределы 4—5 делений.

§ 5. ГЛУБИНА «ПОРОЖНЕГО» МЕСТА

Допустимую глубину «порожного» места в колонне нужно держать с запасом прочности в 3—4 раза.

Пр и м е р. В спускаемой промежуточной колонне обсадных труб из стали марки С трубы имеют толщину стенок 9 мм.

Высоту порожнего места в колонне определяют по формуле

$$h = \frac{P_{см} \cdot 10}{m\gamma},$$

где h — высота порожнего места в колонне; $P_{см}$ — критическое сминающее усилие для труб, имеющих минимальную толщину (для указанных труб $P_{см} =$

$\approx 83 \text{ кг/см}^2$); m — принятый запас прочности, равный 3—4; γ — удельный вес глинистого раствора в скважине; принимаем $1,2 \text{ Г/см}^3$. Тогда высота h порожнего места будет:

при запасе прочности $m = 3$

$$h = \frac{83 \times 10}{3 \times 1,2} = 230 \text{ м.}$$

при запасе прочности $m = 4$

$$h = \frac{83 \times 10}{4 \times 1,2} = 172 \text{ м.}$$

Среднее значение $h \approx 200 \text{ м.}$

§ 6. ОБРАТНЫЕ КЛАПАНЫ!

Обратный клапан (рис. 11) устанавливается при спуске колонн для облегчения нагрузки на вышку, лебедку и талевую систему. Кроме того, обратный клапан обеспечивает постоянное движение глинистого раствора за колонной обсадных труб при ее спуске, препятствует обратному движению раствора из-за колонны. Обрат-

Таблица 15

Диаметр клапана, мм	Пробное давление, кг/см ²	Габаритные размеры, мм		Вес, кг
		D	L	
127	80	166	220	13
152	80	188	230	16
178	80	216	250	23
203	80	243	250	29
229	60	269	250	36
254	60	298	270	47
279	60	325	270	52
305	60	351	290	62

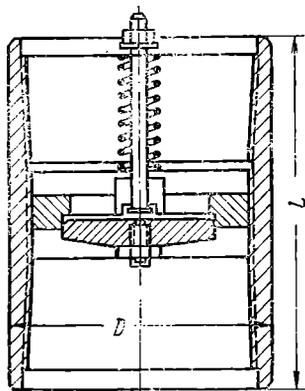


Рис. 11. Обратный клапан.

ный клапан устанавливают в нижней части колонны обсадных труб над башмаком. Этот клапан препятствует поступлению снизу глинистого раствора в колонну при ее спуске в скважину, и таким образом колонна с обратным клапаном, погружаясь в жидкость порожней, облегчает свой вес на крюке за счет вытесненной жидкости, которая переливается через устье скважины. Обычно обратный клапан устанавливают в таком месте, чтобы при окончательных работах исключить операции по разбуриванию и извлечению разрушенных деталей обратного клапана из скважины.

Погружаясь в жидкость, колонна испытывает со стороны окружающего ее глинистого раствора наружное давление, которое при большом погружении может настолько увеличиваться, что вызовет

смятие колонны или прорыв обратного клапана. Поэтому при спуске колонны необходимо следить за уровнем жидкости в ней, не допуская снижения ее ниже рассчитанного, согласно прочности колонны на смятие и запаса прочности, который не рекомендуется брать менее 2,5—3.

В табл. 15 приведены основные размеры обратных клапанов.

Расчет обратного клапана

П р и м е р. Рассчитать обратный клапан для спуска колонны обсадных труб диаметром 219 мм; при этом считаем, что высота порожнего места в колонне будет не более 350 м, удельный вес глинистого раствора принимаем равным 1.2 г/см³.

Обратный клапан рассчитывают по формуле

$$\delta_{\max} = y \frac{R^2}{s^2} p \leq k_{нз},$$

где δ_{\max} — наибольшее максимальное напряжение в кг/см²; s — толщина диска клапана в см; $k_{нз}$ — допустимое напряжение на изгиб (для чугуна $k_{нз} = 300$ кг/см², значение $k_{нз}$ для чугуна берем равным 2,05), y — коэффициент, зависящий от способа закрепления тарелки клапана; значение y в зависимости от того, лежит ли диск на опоре свободно или защемлен, принимается равным от 0,8 до 1,2.

Считая, что корпус клапана подвержен 2-му роду напряжений, находим значение $k_{нз}$ для обработанного чугуна

$$k_{нз} = 2.05 \times 200 = 410 \text{ кг/см}^2.$$

Давление p на диск клапана, направленное снизу вверх, равно

$$p = \frac{L\gamma}{10} = \frac{350 \times 1.20}{10} = 42 \text{ кг/см}^2.$$

Далее находим толщину диска клапана из приведенной выше формулы

$$s = R \sqrt{\frac{p}{\varphi k_{нз}}} \text{ см},$$

R — в нашем случае при толщине стенки обсадной трубы 9,5 мм будет равен 100 мм, тогда

$$s = 10 \sqrt{0,8 \frac{42}{410}} = 2,87 \approx 2,9 \text{ см}.$$

Стрела прогиба диска клапана

$$f = \varphi \frac{R^4 p}{s^3 E} \text{ см}.$$

где φ — опытный коэффициент, равный 0,745; E — модуль упругости, для чугуна равный 750 000 кг/см². Исходя из условия прочности диска обратного клапана $f < 0,2$

$$f = 0,745 \frac{10^4 \times 42}{2,9^3 \times 75 \times 10^4} = 0,0171 \text{ см},$$

$$0,0171 < 0,2 \times 2,9, \text{ или } 0,0171 < 0,58.$$

Таким образом, условие прочности диска обратного клапана надежно.

Пример. Определить толщину диска обратного клапана диаметром 168 мм, на который глинистый раствор оказывает давление $p = 60 \text{ кг/см}^2$

$$s = R \sqrt{\frac{p}{k_{из}}} = 8,4 \sqrt{0,745 \frac{60}{410}} = 2,77 \approx 2,8 \text{ см.}$$

Пример. Определить толщину диска обратного клапана в 168-мм трубах; гидростатическое давление равно 50 кг/см^2 ; внутренний диаметр труб $D_{вн} = 152 \text{ мм}$; $\varphi = 1$; $k_{из}$ — допустимое напряжение чугуна принимаем равным 300 кг/см^2 .

Тогда

$$s = \frac{15,2}{2} \sqrt{1 \times \frac{50}{300}} = 3,12 \text{ см.}$$

Пример. Определить, насколько колонна обсадных труб диаметром 219 мм, спущенная на глубину 800 м, разгрузится, если она будет спущена с обратным клапаном, без долива раствора в скважину. Скважина заполнена глинистым раствором удельного веса $1,2 \text{ Г/см}^3$.

Вычисляем вес 219-мм колонны обсадных труб

$$P_1 = Hq,$$

где H — глубина колонны в м; q — вес 1 м 219-мм труб (с муфтой);

$$P_1 = 800 \times 59,4 = 47,520 \text{ кг.}$$

Вытесненный объем по внешнему диаметру равен

$$V_1 = 0,785 \times D^2 \times H = 0,785 \times 0,219^2 \times 800 = 30,2 \text{ м}^3.$$

Вес вытесненного объема глинистого раствора составляет

$$P_2 = 30,2 \times 1,2 = 36,2 \text{ т.}$$

Тогда колонна обсадных труб разгрузится на величину, равную

$$P = P_1 - P_2 = 47,5 - 36,2 = 11,3 \text{ т.}$$

Вес колонны обсадных труб при спуске с обратным клапаном регулируют, доливая в нее сверху глинистый раствор, чтобы предотвратить смятие колонны внешним давлением и ускорить ее спуск.

Пример. В скважину спускают колонну труб диаметром 168 мм на глубину 600 м. В нижней части колонны поставлен обратный клапан. Вес 1 м трубы $q = 42,6 \text{ кг}$, удельный вес глинистого раствора $\gamma_{ж} = 1,26 \text{ Г/см}^3$. Определить, какое количество жидкости надо долить в колонну, чтобы нагрузка на крюк не была более 20 Т. Колонна обсадных труб длиной 600 м будет весить

$$P = qL = 42,6 \times 600 = 25\,560 \text{ кг.}$$

Вес раствора, вытесненного колонной с обратным клапаном, при диаметре труб диаметром 168 мм составит

$$P_p = \frac{\pi D^2}{4} L \gamma_{ж} = 0,785 \times 0,168^2 \times 25\,560 \times 1,2 = 6810 \text{ кг.}$$

Без подлива глинистого раствора в колонну она разгрузится до $25\,560 - 6810 = 18\,750 \text{ кг}$.

Чтобы нагрузка на крюк равнялась 20 Т, в колонну придется подлить раствор, объем которого будет

$$V = \frac{20\,000 - 18\,750}{1,26} = 1080 \text{ л.}$$

Тогда высота столба этого количества жидкости в трубах будет составлять

$$L_{ж} = \frac{V}{0,785 D_{в}^2 \times 10} = \frac{990}{0,785 \times 0,146^2 \times 10} = 530 \text{ м.}$$

П р и м е р. Определить вес колонны обсадных труб длиной 320 м, погруженной в глинистый раствор удельного веса $\gamma_2 = 1,2 \text{ г/см}^3$. Наружный диаметр труб $D_2 = 218 \text{ мм}$, внутренний диаметр $D_1 = 200 \text{ мм}$. Удельный вес материала обсадной колонны труб $\gamma_1 = 7,8$ (весом муфт пренебрегаем, обратного клапана нет).

Вес всей колонны обсадных труб будет равен

$$P_1 = \frac{\pi (D_2^2 - D_1^2) H \gamma_1}{4} = \frac{3,14 (0,218^2 - 0,200^2) 320 \times 7,8}{4} = 14\,744 \text{ кг.}$$

Определяем вес глинистого раствора, вытесненного колонной обсадных труб при погружении в скважину на глубину 320 м

$$P_2 = \frac{\pi (D_2^2 - D_1^2) H \gamma_2}{4} = \frac{3,14 (0,218^2 - 0,200^2) 320 \times 1,2}{4} = 2278 \text{ кг.}$$

Тогда вес колонны обсадных труб, погруженной в скважину с глинистым раствором, определяется по формуле

$$P = P_1 - P_2 = \frac{\pi H (D_2^2 - D_1^2) (\gamma_1 - \gamma_2)}{4} = \frac{3,14 \times 320 (0,218^2 - 0,200^2) (7,8 - 1,2)}{4} = 12\,466 \text{ кг} \approx 12,5 \text{ т.}$$

П р и м е р. Определить, при каком погружении H в скважину, наполненную глинистым раствором удельного веса $\gamma = 1,2 \text{ г/см}^3$, будет плавать колонна обсадных труб весом 20 т, спущенная с обратным клапаном. Наружный диаметр труб $D = 218 \text{ мм}$.

Согласно условию, необходимо определить такую глубину, на которой сила давления снизу вверх равнялась бы весу колонны обсадных труб

$$P = \frac{\pi D^2}{4} H \gamma,$$

откуда

$$H = \frac{4P}{\pi D^2 \gamma} = \frac{4 \times 20}{3,14 \times 0,218^2 \times 1,2} = 444 \text{ м.}$$

П р и м е р. Определить вес обсадной колонны длиной $H = 450 \text{ м}$, погруженной в глинистый раствор удельного веса $\gamma = 1,2 \text{ г/см}^3$, если наружный диаметр обсадной трубы $D_2 = 0,168 \text{ м}$, внутренний диаметр обсадной трубы $D_1 = 0,152 \text{ м}$, а удельный вес материала обсадной колонны $\delta_1 = 7,8 \text{ г/см}^3$ (весом муфт пренебрегаем, обратного клапана нет, рис. 12).

Вес обсадной колонны будет равен

$$Q_1 = \frac{\pi (D_2^2 - D_1^2) H \delta_1}{4}.$$

Давление глинистого раствора снизу вверх на кольцевое сечение обсадной колонны равно

$$Q_2 = \frac{\pi (D_2^2 - D_1^2) H \gamma}{4}.$$

Вес колонны, погруженной в скважину с глинистым раствором, согласно закону Архимеда определяется по формуле

$$Q = Q_1 - Q_2 = \frac{\pi H (D_2^2 - D_1^2) (\delta - \gamma)}{4} =$$

$$= \frac{3,14 \times 450 (0,168^2 - 0,152^2) (7,8 - 1,2)}{4} = 12 \text{ м.}$$

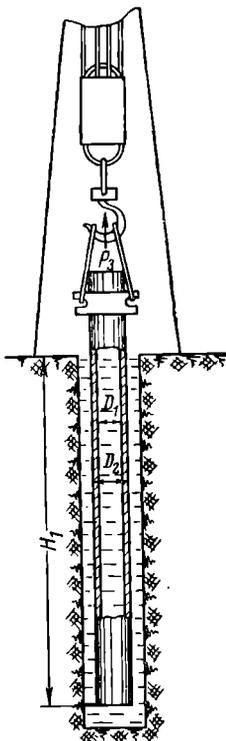


Рис. 12. Обсадная колонна без обратного клапана.

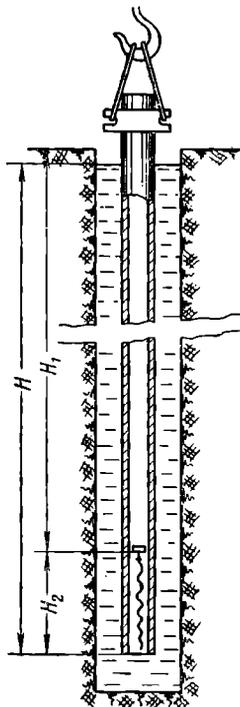


Рис. 13. Обсадная колонна с обратным клапаном.

Пример. Определить, при каком погружении H в скважину, наполненную глинистым раствором удельного веса $\gamma = 1,16 \text{ г/см}^3$, будет плавать колонна обсадных труб, весящая $Q = 30 \text{ м}$, спущенная с обратным клапаном (рис. 13). Наружный диаметр трубы $D = 0,168 \text{ м}$.

Определяем такую глубину, на которой сила давления снизу вверх равнялась бы

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} H \gamma,$$

откуда

$$H = \frac{4Q}{\pi D^2 \gamma} = \frac{4 \times 30}{3,14 \times 0,168^2 \times 1,16} = 117 \text{ м.}$$

§ 7. ЦЕМЕНТИРОВАНИЕ СКВАЖИН

Колонны обсадных труб, спущенные в скважины, цементируют, чтобы обеспечить длительную изоляцию продуктивных водоносных горизонтов от непригодных водоносных горизонтов, лежащих сверху или снизу эксплуатируемого; укрепить неустойчивые породы плотным сцеплением цементного камня как со стенками скважин, так и с обсадной колонной труб; предохранить колонну труб от смятия внешним давлением, а также от коррозии и т. д.

До начала цементирования необходимо определить высоту подъема цементного раствора в затрубном пространстве, выбрать тампонажный цемент, подобрать водо-цементное отношение, определить количество цементировочных агрегатов для цементирования колонн обсадных труб, составить план работ по цементированию.

Высоту подъема цементного раствора в затрубном пространстве необходимо устанавливать с учетом правил и требований охраны недр от загрязнения водоносных горизонтов (см. рис. 3).

Цемент для тампонажа скважин

К цементу, применяемому для тампонажа скважин, предъявляются следующие основные требования.

1. Цементный раствор должен обладать замедленным началом схватывания, обеспечивающим проведение всего комплекса работ по цементированию скважины.

2. Цементный раствор должен обладать ускоренным концом схватывания. На цементный раствор, поднятый за трубы, влияют различные агенты из вскрытых пластов. Для предотвращения вредного влияния этих агентов на жидкий цементный раствор необходимо, чтобы конец схватывания как можно быстрее следовал бы за его началом.

3. Цементный раствор должен быстро твердеть, так как необходимо сократить время, идущее на затвердение цементного раствора и замедляющее процесс бурения скважины.

4. Цементный камень должен иметь высокое сопротивление на изгиб, низкую проницаемость, равномерность изменения объема. Удельный вес сухого порошкообразного цемента колеблется от 3,05 до 3,2 г/см³. В среднем его обычно принимают равным 3,15 г/см³. Начало схватывания цементного раствора происходит в результате, как сказано выше, взаимодействия цемента и воды, характеризуется потерей подвижности и загустеванием раствора. Конец схватывания характерен полной потерей подвижности цементного раствора, однако раствор не является еще прочным телом.

Для неглубоких скважин, т. е. для «холодных» скважин на воду с температурой забоя до 40° С, конец схватывания должен наступить не позже чем через 3 ч после начала схватывания.

Затрубное пространство, заполненное цементным раствором, подвергается действию минерализованных вод, в результате чего

раствор расслаивается. Для устранения этого при цементировании неглубоких водяных скважин необходимо добавлять ускорители. Наиболее широко в качестве ускорителей схватывания цемента применяются хлористые соли натрия и кальция (NaCl и CaCl_2), добавляемые в количестве 2% по весу к сухому цементу. Обычно технический хлористый кальций содержит 64—65% безводного CaCl_2 поэтому при расчетах нужно вносить соответствующие поправки.

П р и м е р. Необходимо зацементировать колонну обсадных труб раствором, приготовленным из 4 т цемента с 2% CaCl_2 .

Безводного CaCl_2 потребовалось бы 80 кг, а водного $\frac{80 \cdot 100}{65} = 123$ кг.

Известно, что в 100 частях воды растворяется при CaCl_2 10° С 39,4 части, при 20° С 42,7 части, при 30° С 50,1 части. Таким образом, для растворения 123 кг водного хлористого кальция (CaCl_2) потребуются пресной воды:

$$\text{при } 10^\circ \text{ С } \frac{123 \times 100}{39,4} = 0,312 \text{ м}^3,$$

$$\text{при } 20^\circ \text{ С } \frac{123 \times 100}{42,7} = 0,288 \text{ м}^3,$$

$$\text{при } 30^\circ \text{ С } \frac{123 \times 100}{50,1} = 0,245 \text{ м}^3.$$

Раствор CaCl_2 подается в емкость цементировочного агрегата во время его наполнения водой.

При водо-цементном отношении 0,5 смешивают 4 т цемента с 2 т (2 м³) обработанной CaCl_2 воды, причем каждый 1 м³ обработанной воды, идущей на приготовление цементного раствора, должен состоять:

$$\text{при температуре } 10^\circ \text{ С из } \frac{0,312}{2} = 0,156 \text{ м}^3 \text{ раствора } \text{CaCl}_2 \text{ и } 0,844 \text{ м}^3 \text{ воды.}$$

$$\text{» » » } 20^\circ \text{ С } \frac{0,288}{2} = 0,144 \text{ м}^3 \text{ раствора } \text{CaCl}_2 \text{ и } 0,856 \text{ м}^3 \text{ воды,}$$

$$\text{» » » } 30^\circ \text{ С } \frac{0,245}{2} = 0,123 \text{ м}^3 \text{ раствора } \text{CaCl}_2 \text{ и } 0,877 \text{ м}^3 \text{ воды.}$$

Температура скважины

Температуру скважины рекомендуется определять с помощью электротермометра или подсчетом по формуле

$$T_H = t_n + \frac{H-h}{G},$$

где T_H — температура на глубине H ; t_n — средняя температура воздуха в данной местности; H — глубина, для которой определяется температура T ; h — глубина слоя постоянных годовых температур; G — геотермическая ступень в м/°С. Геотермическая ступень — величина, соответствующая углублению (в м), при которой температура повышается на 1° С.

Геотермическая ступень (средняя) при приближенных расчетах принимается равной 33 м на 1° С. При проектировании скважин в новых районах для определения ожидаемых в скважине температур пользуются значениями геотермических градиентов и геотермических ступеней, известных по соседним районам (табл. 16).

Таблица 16

Район	Средняя температура на глубине, 1000 м, °С	В интервале 100 - 1000 м	
		Средняя геотермическая ступень, м/°С	Средний геотермический градиент, °С/100 м
Чечено-Ингушская АССР	90,5	12,0	8,3
Дагестанская АССР	55,4	21,4	4,7
Майкопский р-н	50,2	25,1	4,0
Апшеронский полуостров	47,0	27,4	3,6
Западное Предкавказье .	41,7	31,6	3,2
Гурьевская область .	41,2	33,3	3,0
Западная Украина	31,2	42,9	2,3
Доббас	39,4	32,2	3,1
Криворожье	19,3	112,5	0,9
Нижнее Поволжье	28,4	49,3	2,0
Самарская Лука .	24,6	64,3	1,6
Башкирская АССР	18,2	82,6	1,2
Полесье (БССР) .	23,2	86,5	1,2
Камское Приуралье	17,2	88,2	1,1

Процесс цементирования скважины

После промывки скважины через слушленную обсадную колонну приступают к цементированию труб. Во время приготовления цементного раствора необходимо периодически, не менее 6—8 раз, брать пробу раствора и определять его удельный вес. Количество цементировочных агрегатов для проведения цементирования нужно определять исходя из объема цементного раствора, времени его схватывания и объема продавочной жидкости.

Пример. Зацементировать эксплуатационную колонну диаметром 168 мм в скважине на воду, слушленную на глубину 800 м при высоте подъема цементного раствора за трубами $H = 500$ м; высоте установки кольца «стоп» от бамака колонны $h = 20$ м; диаметре скважины $D = 0,248$ м; наружном диаметре колонны $d_n = 0,17$ м; внутреннем диаметре колонны $d_a = 0,15$ м; удельных весах цемента γ , цементного раствора γ_c , воды γ_b и глинистого раствора γ_p соответственно 3,15; 1,85; 1 и 1,2 г/см³; водо-цементном отношении фактор $C = \frac{B}{\Gamma} = 0,48$. Коэффициенты, учитывающие увеличение диаметра ствола скважины и потери цемента при его затворении, принимаем равным соответственно $k_1 = 1,2$ и $k_2 = 1,1$.

Колонна имеет следующую конструкцию: от 0 до 800 м толщина стенок обсадных труб принимается равной 10 мм.

Расчет

1. Объем цементного раствора, закачиваемого в обсадную колонну

$$V_{\text{н}} = 0,785 (D^2 - d_{\text{н}}^2) H k_1 + 0,785 d_{\text{н}}^2 h \approx 15,70 \text{ м}^3.$$

2. Количество сухого цемента, требуемого для приготовления 1 м³ цементного раствора

$$q = \frac{\gamma (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}})}{\gamma - \gamma_{\text{в}}} = \frac{3,15 (1,85 - 1)}{3,15 - 1} \approx 1,25 \text{ т}.$$

3. Количество сухого цемента, необходимого для цементирования скважины.

$$G = q V_{\text{н}} = 1,25 \times 15,70 = 19,60 \text{ т},$$

с учетом наземных потерь

$$G_1 = k_2 G = 1,1 \times 19,60 = 21,60 \text{ т}.$$

4. Количество воды для затворения цементного раствора

$$V_{\text{в}} = CG = 0,48 \times 19,60 = 9,4 \text{ м}^3.$$

Водо-цементное отношение при заданных значениях γ и $\gamma_{\text{н}}$ можно также определить по формуле

$$C = \frac{\gamma - \gamma_{\text{н}}}{\gamma (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}})} = \frac{3,15 - 1,85}{3,15 (1,85 - 1)} \approx 0,48.$$

5. Необходимое количество глинистого раствора или воды для продавливания раствора в затрубное пространство

$$V_{\text{пр}} = k_3 [0,785 d_{\text{з}}^2 \times 800 - 0,785 d_{\text{б}}^2 \times 20] = 14,5 \text{ м}^3,$$

где k_3 — коэффициент, учитывающий сжатие глинистого раствора, принимается равным 1,05 (в случае воды $k_3 = 1$).

6. Давление в конце цементирования колонны, когда сойдутся пробки или же верхняя пробка дойдет до кольца «стоп»,

$$p = p_1 + p_2,$$

где p_1 — давление на преодоление разности удельных весов в трубах и за трубами

$$p_1 = \frac{(H - h) (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{р}})}{10} = \frac{(500 - 20) (1,85 - 1,20)}{10} = 31,2 \text{ кг/см}^2,$$

p_2 — гидравлическое сопротивление в конце промывки скважины

$$p_2 = 0,01L + 8 = 0,01 \times 800 + 8 = 16 \text{ кг/см}^2,$$

следовательно,

$$p = 31,2 + 8 = 39,2 \text{ кг/см}^2.$$

Для цементирования скважины используем цементовочный агрегат ЦА-11/150.

7. Время цементирования колонны

$$T_{\text{цем}} = t_{\text{д}} + t_{\text{нл}} + 10.$$

где 10 — время (в мин), необходимое для выполнения операции по закладыванию в заливочную головку верхней пробки; t_d — время закачки цементного раствора, равное

$$t_d = \frac{V_d}{q_{IV}} = \frac{15,70}{1,1} = 14,3 \text{ мин};$$

$t_{цз}$ — время продавки цементного раствора, равное

$$t_{цз} = \frac{V_{цр}}{q_{ср}} = \frac{14,5}{0,75} = 19,3 \text{ мин},$$

где $q_{ср}$ — средняя производительность насосов цементировочного агрегата на II, III и IV скоростях.

Следовательно,

$$T_{цсм} = 14,3 + 19,3 + 10 = 43,6 \text{ мин} \approx 44 \text{ мин}.$$

8. Допустимое время цементирования скважины

$$T_{доп} = 0,75 T_{схв},$$

где $T_{схв}$ — время схватывания цементного раствора.

Время схватывания цементного раствора, как известно, зависит от марки тампонажного цемента и температуры у забоя. Температура определяется по формуле

$$t = \frac{L - h_0}{t_h} + t_{ср} = \frac{800 - 20}{30} + 8 = 34^\circ \text{C},$$

где h_0 — глубина залегания слоя земли с постоянной температурой, принимаемая равной 20 м; t_h — геотермический коэффициент, принимаемый равным 30 м/°C; $t_{ср}$ — среднегодовая температура, принимаемая равной 8° C.

По величине температуры у забоя делаем заключение, что заданная скважина относится к категории «холодных», для этой скважины время схватывания цементного раствора может быть принято равным 3 ч, или 180 мин. Поэтому

$$T_{доп} = 0,75 \times 180 = 135 \text{ мин}.$$

9. Сравнивая величины $T_{цсм}$ и $T_{доп}$, можно сделать заключение, что данную колонну можно зацементировать одним агрегатом.

Однако для получения высококачественного цементирования необходимо, чтобы средняя скорость восходящего потока цементного раствора в затрубном пространстве была не менее 1,5 м/сек. Исходя из этого потребное количество цементировочных агрегатов можно определить по следующей формуле:

$$n = \frac{60u \cdot 0,785 (D^2 - d_n^2)}{q_{ср}},$$

где n — требуемое количество цементировочных агрегатов; u — средняя скорость восходящего потока цементного раствора, принимаемая равной 1,5 м/сек.

Подставляя указанные выше значения D , d_n и $q_{ср}$, получим

$$n = \frac{60 \times 1,5 \times 0,0256}{0,75} \approx 3 \text{ агрегата}.$$

Цементно-песчаные смеси для цементирования скважин

Для цементирования кондукторов и промежуточных колонн применяют цементно-песчаные смеси с содержанием песка от 30 до 50% веса цемента; при забойных заливках эти соотношения могут быть доведены до 1 : 1.

При этом используется песок крупностью от 0,5 до 0,1 мм. При более мелком песке прочность цементного камня снижается вследствие повышенной влагоемкости. В связи с этим желательно применять песок с фракционным составом примерно к 0,5 мм. Перед употреблением песок должен быть просушен при температуре 100—104° С.

Количество воды для затворения цементно-песчаной смеси определяют по отношению к активной части смеси, т. е. к цементу, из расчета 45—50% или же по отношению к смеси, учитывая, что влагоемкость песка составляет всего 2—3%.

Определение средневзвешенного процента воды для затворения смеси

Дана смесь в составе: 3 части цемента с водо-цементным отношением 47%, 1 часть песка с добавлением 3% воды. Тогда средневзвешенный процент воды составит

$$\frac{3 \times 47 + 1 \times 3}{4} = 36\%.$$

Для облегчения подсчетов по цементированию скважин в табл. 17 даются значения площадей кольцевого сечения в затрубном пространстве скважин без учета коэффициента k_1 .

Таблица 17

Диаметр скважины, мм	Наружный диаметр обсадной колонны, мм	Кольцевое сечение, м ²
502	425	0,0561
502	375	0,0875
451	375	0,0493
400	324	0,0432
349	273	0,0371
298	219	0,0321
248	168	0,0261
197	146	0,0137

Ниже приводится пример пользования табл. 19.

Пример. Определить объем затрубного пространства для заполнения его цементным раствором, если диаметр скважины равен 298 мм, наружный диаметр обсадной колонны равен 219 мм, высота подъема цементного раствора за трубами 650 м, коэффициент $k_1 = 1,3$.

Согласно данным табл. 17 определяем, что площадь кольцевого сечения в затрубном пространстве равна 0,0321 м², тогда

$$V_{ц} = 0,0321 \times 650 \times 1,3 = 27,15 \text{ м}^3.$$

Пример. Определить объем продавочной жидкости — глинистого раствора для продавливания цементного раствора из обсадных труб диаметром

377 мм, длиной 200 м² (внутренний диаметр труб при толщине стенки 11 мм равен 355 мм), коэффициент сжатия глинистого раствора 1,05. Согласно данным табл. 18 находим значение для указанных труб площади живого сечения — 0,0989 м². Тогда объем продавочной жидкости определяется

$$V_{пр} = 1,05 (0,0989 \times 200) = 20,77 \text{ м}^3.$$

Таблица 18

Наружный диаметр труб, мм	Толщина стенки, мм	Внутренний диаметр труб, мм	Площадь живого сечения колонны, м ²
146	7	132	0.0137
	8	130	0.0133
	10	126	0.0125
168	7	154	0.0186
	8	152	0.0181
	9	150	0.0176
	10	148	0.0172
	11	146	0.0167
	12	144	0.0163
219	8	203	0.0324
	9	200	0.0314
	11	197	0.0305
	12	194	0.0296
273	9	255	0.0511
	10	252	0.0499
	12	249	0.0487
325	10	305	0.0731
	11	303	0.0721
	12	301	0.0712
377	11	355	0.0989
	12	353	0.0786
426	11	404	0.1282
	12	402	0.1269

Расчет норм расхода тампонажного цемента для цементирования колонн обсадных труб скважин на воду

Чтобы определить нормы расхода тампонажного цемента, необходимо иметь данные о диаметрах скважин, высоте подъема цементного раствора в затрубном пространстве и увеличении объема скважины в результате образования каверн, а также данные о высоте цементного стакана в колонне обсадных труб.

Объем затрубного пространства между обсадной трубой и стенками скважины определяется по формуле

$$V = \frac{\pi (D^2 - d^2) h}{4},$$

где V — объем кольцевого пространства в м³, D — диаметр скважины в м; d — наружный диаметр обсадной колонны в м; h — высота подъема цементного раствора в затрубном пространстве в м.

Объем цементного раствора, оставляемого в трубах, вычисляется по формуле

$$V_1 = \frac{\pi d_1^2 h_1}{4},$$

где V_1 — объем цементного раствора, оставляемого в трубах (цементный стакан) в m^3 ; d_1 — внутренний диаметр обсадных труб в m ; h_1 — высота цементного стакана в m .

Для цементирования затрубного пространства на увеличение объема скважины в результате образования каверн принимаем 15% расчетного количества цементного раствора.

Так подсчитывается количество цементного раствора, требуемого для цементирования одной спускаемой колонны. При спуске в скважину нескольких колонн требуемое количество раствора суммируют и определяют количество сухого цемента; при этом исходят из того, что вода составляет 0,45% всего объема, подлежащего заливке, а полученное количество сухого цемента увеличивают на 10% в связи с потерями его при транспортировании и затворении.

Норму расхода на 1 м бурения определяют делением полученного количества тампонажного цемента на объем бурения. Так как последнее время цементируют цементно-песчаными смесями, то полученную норму уменьшают с учетом количества метров скважины, заливаемой цементно-песчанистыми смесями.

Пример 1. Скважину глубиной 220 м под 325-мм кондуктор бурят долотом диаметром 394 мм и цементируют колонну с подъемом раствора до устья. Глубина кондуктора равна 35 м, высота цементного стакана 5 м.

2. Скважину бурят под 219-мм эксплуатационную колонну долотом диаметром 295 мм. Глубина спуска колонны 150 м, высота цементной пробки 10 м, колонна цементируется до устья.

Решение.

1. Исходя из условия объем пространства, подлежащего заливке цементом, при спуске 325-мм кондуктора составит

$$V_1 = \frac{3,14 (0,394^2 - 0,325^2) 35}{4} = 1,38 \text{ м}^3.$$

Объем цемента, оставляемого в трубах на высоте до 5 м, будет

$$V_2 = \frac{3,14 \times 0,307^2 \times 5}{4} = 0,37 \text{ м}^3.$$

Увеличение объема скважины в результате образования каверн, размыва и трещиноватостей пород принимаем равным 15% от потребного количества (1,38 m^3).

$$V_3 = \frac{1,38 \times 15}{100} = 0,21 \text{ м}^3.$$

Общая потребность в цементном растворе для 325-мм кондуктора составляет

$$1,38 + 0,37 + 0,21 = 1,96 \text{ м}^3.$$

2. Объем пространства, подлежащего заливке цементным раствором, для 19-мм эксплуатационной колонны составит

$$V_1 = \frac{3,14 (0,295^2 - 0,219^2) 150}{4} = 4,60 \text{ м}^3.$$

Объем цементного раствора, оставляемого в трубах на высоте 10 м, будет

$$V_2 = \frac{3.14 \times 0.203 \times 10}{4} = 1.59 \text{ м}^3.$$

Увеличение объема скважины в результате наличия каверы определяется

$$V_3 = \frac{4.60 \times 1.5}{100} = 0.68 \text{ м}^3.$$

Объем цементного раствора для цементирования 219-мм колонны труб составит

$$4.60 + 1.59 + 0.68 = 6.87 \text{ м}^3.$$

Общий объем цементного раствора для цементирования обсадных колонн диаметром 325 и 219 мм составляет

$$1.96 + 6.87 = 8.83 \text{ м}^3.$$

Если применяют 45% воды для раствора и объем заливаемого пространства равен 10,16 м³, то сухого цемента потребуется

$$Q = 1.31 \times 8.83 = 11.55 \text{ т}$$

плюс 10% цемента на потери при приготовлении раствора (1,31 — вес сухого цемента на 1 м³ раствора при 45% воды в %).

Тогда $11.55 \times 1.33 = 15.3 \text{ т}$.

Расход тампонажного цемента на 1 м бурения составит

$$15.300 : 200 = 77 \text{ кг.}$$

Так как при цементировании будет применена цементно-песчаная смесь, полученная порма уменьшается на 20%. Таким образом, расход на 1 м бурения тампонажного цемента составит

$$\frac{77 \times 80}{100} = 61,5 \text{ кг.}$$

Глава VI

РАСЧЕТЫ ВОДОПРИЕМНОЙ ЧАСТИ СКВАЖИН

§ 1. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРА

В зависимости от характера и состава водовмещающих пород приемная часть водяных скважин может быть фильтровой — при эксплуатации водоносных горизонтов, приуроченных к рыхлым обломочным породам и бесфильтровой — при получении воды из трещиноватых пород (табл. 19).

Т а б л и ц а 19

Водоносные породы	Типы и конструкции фильтров
Полускальные, неустойчивые, галечниковые с крупностью частиц щебня и гальки от 20 до 100 мм (более 50% по весу)	Трубчатые фильтры с круглой и щелевой перфорацией
Гравий, гравелистый песок с крупностью частиц от 1 до 10 мм и с преобладающей крупностью частиц от 2 до 5 мм (более 50% по весу)	Трубчатые фильтры с круглой и щелевой перфорацией, с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки
Пески крупные с преобладающим размером частиц 1—2 мм (более 50% по весу)	Трубчатые фильтры с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки или из сетки квадратного плетения
Пески средние с преобладающей крупностью частиц от 0,25 до 0,5 мм (более 50% по весу)	Трубчатые фильтры с водоприемной поверхностью из сетки гладкого (галунного) плетения
Пески мелкие с преобладающей крупностью частиц 0,1—0,25 мм (более 50% по весу)	Трубчатые фильтры с песчано-гравийной обсыпкой

К фильтрам водяных скважин предъявляются следующие требования.

1. Фильтрующая поверхность должна обеспечивать приток в скважину требуемого количества воды при небольших входных скоростях движения ее и возможно меньших сопротивлениях этому движению.

2. В скважину вместе с водой во время ее эксплуатации через фильтры не должны поступать глинистые, пылеватые и песчаные частицы из окружающих водоносных пород.

3. Фильтр не должен разрушаться вследствие коррозии каркаса, проволоки или сетки, а также забиваться частицами окружающих пород, зарастать осадками, выделяющимися из воды. Фильтры должны служить возможно больший срок. В условиях их установки в агрессивных водах должны применяться устойчивые против коррозии материалы или антикоррозийные покрытия.

4. Фильтровая часть скважины не должна ухудшать качества воды в скважине из-за увеличения содержания в воде железа или других компонентов, образующихся в результате разрушения материалов, из которых изготовлен фильтр.

При выборе конструкций фильтра необходимо соблюдать следующее условие:

$$f \geq Q,$$

где f — водозахватная способность фильтра в $л/сек$; Q — ожидаемый дебит скважины в $л/сек$.

Водозахватная способность фильтра определяется из формулы:

$$f = v_{\phi} F,$$

где v_{ϕ} — допускаемая скорость фильтрации при выходе воды в фильтр (входная скорость) в $м/сек$; F — площадь фильтрующей поверхности фильтра (рабочая часть) в $м^2$.

Входная скорость определяется по формуле С. К. Абрамова

$$v_{\phi} = 65 \sqrt[3]{k},$$

где k — коэффициент фильтрации пород водоносного горизонта в $м/сутки$.

Для перфорированных, щелевых, сетчатых фильтров площадь рабочей части фильтра определяют

$$F = \pi D l,$$

где D — наружный диаметр фильтра в $мм$; l — длина рабочей части фильтра в $мм$.

Т а б л и ц а 20

Величина зерен песка, мм	Значение v по Гроссу, $м/сек$
60% зерен размером менее 1,0	0.0025
40% то же 0,5	0.001
40% то же 0,25	0.005

Если потребность в воде ограничена, то диаметр и длина рабочей части фильтра должны удовлетворять следующему соотношению:

$$Q = 3600 \pi D l p 3v,$$

где Q — расчетная производительность скважины в $m^3/ч$; p — коэффициент скважности сетки; v — допустимая скорость входа воды в скважину (принимается по Гроссу, табл. 20).

§ 2. СКВАЖНОСТЬ ПЕРФОРИРОВАННЫХ ФИЛЬТРОВ

Все используемые при сооружении скважины на воду фильтры имеют в своей основе каркас, который представляет собой обычную обсадную трубу, перфорированную на определенном интервале отверстиями диаметром от 10 до 20 мм в зависимости от расчетной величины скважности фильтра.

Скважность перфорированного фильтра определяют по формуле

$$c = \frac{d^2 n}{4D1000},$$

где c — скважность в %; d — диаметр отверстий в мм; n — число отверстий на 1 м фильтра; D — наружный диаметр фильтра в мм; 1000 — длина 1 м перфорированного участка.

§ 3. СКВАЖНОСТЬ ЩЕЛЕВЫХ ФИЛЬТРОВ

При эксплуатации водоносных горизонтов, представленных крупнозернистыми песками или мелкогравийными отложениями, а также иногда трещиноватыми неустойчивыми скальными породами, устанавливают щелевые фильтры. Размер щелевых отверстий подбирается в зависимости от гранулометрического состава пород водоносного горизонта.

Скважность подобного рода фильтров определяется из формулы

$$c = \frac{abn}{\pi D1000},$$

где a — ширина щели в мм; b — длина щели в мм.

В соответствии с необходимой скважностью устанавливается число отверстий:

для перфорированных фильтров

$$n = \frac{4D1000c}{d^2};$$

для щелевых фильтров

$$n = \frac{\pi D1000c}{ab}.$$

§ 4. ПОДБОР ГРАВИЙНОЙ ОБСЫПКИ

В мелкозернистых песках, а также в водоносных горизонтах с содержанием некоторого количества пылеватых частиц для увеличения водоотдачи пласта через фильтр применяют гравийную обсыпку по наружному диаметру сетчатого, перфорированного или щелевого фильтра. В настоящее время используются гравийные обсыпки из просеянных крупнозернистых и гравелистых песков следующих фракций по крупности частиц: 0,4—0,7; 0,7—1,2; 1,2—2,0 и 2,0—5,0 мм.

Чтобы правильно подобрать соответствующую фракцию для обсыпки фильтра *, пользуются следующим соотношением:

$$\frac{D_{50 \text{ обсыпки}}}{d_{50 \text{ породы}}} \text{ от } 8 \text{ до } 12,$$

где D_{50} — крупность частиц, вес которых в обсыпке составляет 50%; d_{50} — размер частиц, содержание которых в водоносном пласте по весу составляет 50%.

Расчет необходимого количества гравийной обсыпки

Засыпаемое количество гравийной обсыпки должно быть предварительно подсчитано.

Пример. Подсчитать количество гравия для обсыпки фильтра, если внутренний диаметр обсадной колонны $D = 255$ мм, наружный диаметр фильтра $d = 168$ мм, длина фильтра $h = 15$ м.

Объем кольцевого пространства между внутренней стенкой обсадной колонны и наружной поверхностью фильтра будет

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)H}{4} \text{ или } V = \frac{3,14(0,225^2 - 0,162^2)15}{4} = 0,29 \approx 0,3 \text{ м}^3.$$

С учетом неизбежных потерь засыпаемого материала к определенной величине добавляется 15—25%, что дает окончательно

$$V = 0,3 \times 1,25 = 0,37 \text{ м}^3.$$

Т а б л и ц а 21

Водоносная порода	Диаметр частиц, составляющих породу более чем на 50%, мм	Диаметр частиц гравийно-песчаной засыпки, мм
Пески крупнозернистые	2—1	10—8
» среднезернистые	1,0—0,5	5—4
» мелкозернистые	0,5—0,25	2,5—2,0
» тонкозернистые и супеси	0,25—0,05	1,0—0,5

* Материал, применяемый для обсыпки, должен быть надежным в санитарном отношении.

Диаметр частиц гравия подбирают в соответствии с диаметром частиц водоносной породы, в которую устанавливается фильтр, согласно данным табл. 21.

Таблица 22

Диаметр обсадной трубы, мм	Условный наружный диаметр фильтра, мм	Объем засыпаемого гравия, м ³
273	168	0,0375
325	168	0,068
	219	0,048
377	168	0,094
	219	0,077
	273	0,056
426	219	0,110
	273	0,091
	325	0,065
478	219	0,188
	273	0,160
	325	0,126
	377	0,108
529	325	0,180
	377	0,160

Количество гравия (в м³), необходимое для засыпки 1 м фильтра, с учетом усадки и растекания приведено в табл. 22.

§ 5. ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ФИЛЬТРА И РАСПОЛОЖЕНИЯ ЕГО В ВОДОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СКВАЖИН

Зависимость между диаметром фильтра и дебитом скважины можно определить из формулы Дюпюи

$$Q = 1,36k \frac{(2H - S) S}{\lg \frac{R}{r}},$$

где Q — дебит скважины в м³/сутки; k — коэффициент фильтрации в м/сутки; H — мощность водоносного горизонта в м; S — понижение уровня воды при откачке

в м; R — радиус влияния скважины в м; r — радиус водоприемной части фильтра в м.

Анализ формулы Дюпюи показывает, что дебит скважины возрастает незначительно с увеличением ее диаметра и приблизительно пропорционален логарифму последнего. В однородных напорных и безнапорных пластах фильтры можно устанавливать в зоне водоносного горизонта в любом положении. Положение фильтра в скважине не оказывает влияния на дебит водоносного горизонта. При эксплуатации водяной скважины, водоносный горизонт которой представлен неоднородным составом, рабочую часть фильтра целесообразно расположить в наиболее проницаемых слоях водоносного пласта.

§ 6. КОЛИЧЕСТВО ОТВЕРСТИЙ НА 1 м ФИЛЬТРА

Для получения воды из водоносного горизонта в интервале обводненных пород устанавливают фильтры, которые удерживают стенки водоносного пласта от обрушения и пропускают воду без значительных гидравлических потерь. Фильтры также очищают воду от попадания в нее частиц породы водоносного горизонта. Скважность фильтров должна быть не менее 20%.

Отношение площади отверстий к поверхности фильтровой части трубы называется коэффициентом скважности фильтра. Скважность дюрчатых и щелевых фильтров при обмотке их проволокой приведена в табл. 23.

Таблица 23

Расстояние между проволоками в обмотке, мм	Диаметр проволоки, мм			
	1,5	2,0	3,0	4,0
	Скважность, %			
0,5	25	20	14	11
0,75	33	27	20	15
1,00	40	33	25	20
1,5	50	43	33	27
2,0	57	50	40	33
2,5	62	55	45	36
3,0	66	60	50	43
3,5	70	63	54	46
4,0	73	66	57	50
4,5	75	69	60	53,5
5,0	77	71	62	55,5
5,5	78,5	73	64	57
6,0	80	75	66	60

Количество отверстий на каркасе трубы можно определить по формулам:

площадь всех отверстий на 1 м трубы

$$F = 1000\varphi\pi D \text{ мм}^2,$$

где D — наружный диаметр трубы в мм; φ — коэффициент скважности;

площадь одного отверстия

$$f = \frac{\pi d^2}{4} \text{ мм}^2,$$

где d — диаметр отверстия в мм;

количество отверстий на 1 м трубы составит

$$N = \frac{F}{f} = 4000\varphi \frac{D}{d^2} \text{ шт.};$$

расстояние между центрами отверстий в горизонтальном ряду по окружности трубы $b = dt$, где t — в зависимости от φ равно:

при $\varphi = 0,20$, $t = 1,98$,

при $\varphi \geq 0,25$ $t = 1,80$;

количество отверстий в горизонтальном ряду

$$n = \frac{\pi D}{b} \text{ шт.};$$

число горизонтальных рядов на 1 м трубы

$$M = \frac{N}{n};$$

расстояние между осями горизонтальных рядов

$$b_1 = \frac{1000}{M} \text{ мм.}$$

Пр и м е р. Наружный диаметр трубы $D = 219$ мм, диаметр отверстий $d = 16$ мм, скважность $\varphi = 0,35$.

Количество отверстий на 1 м трубы составит

$$N = 4000\varphi \frac{D}{d^2} = 4000 \times 0,35 \times \frac{219}{16^2} = 1200 \text{ шт.}$$

Количество отверстий и их взаимное расположение на 1 м трубы при различных диаметрах труб и различных коэффициентах скважности приводится в табл. 24.

Таблица 24

Наружный диаметр труб, мм	Скважность, %	Диаметр отверстий, мм	Количество отверстий на 1 м трубы	Расстояние между центрами отверстий по горизонтали, мм	Расстояние между центрами отверстий горизонтальных рядов, мм	
168	25	10	1680	25,0	12,5	
	35	10	2350	21,0	10,6	
	25	12	1170	29,1	15,1	
	35	12	1638	25,0	12,6	
	25	16	650	40,2	20,0	
	35	15	915	34,8	16,4	
	25	20	420	51,8	23,8	
	35	20	588	43,5	20,4	
	25	24	288	57,4	31,1	
	35	24	400	41,8	25,0	
	25	10	2184	24,4	12,8	
	35	10	3069	20,7	10,8	
	219	25	12	1518	29,9	15,2
		35	12	2660	24,5	13,2
		25	16	850	40,1	20,0
35		16	1200	34,2	16,6	
25		20	546	48,6	25,6	
35		20	768	42,7	20,8	
25		24	374	61,6	29,4	
35		24	546	48,6	25,7	
25		10	2720	25,1	12,5	
35		10	3840	21,3	10,4	
25		12	1820	28,4	15,9	
273		35	12	2660	24,5	13,2
	25	16	1071	39,0	20,4	
	35	16	1500	34,2	16,7	
	25	20	680	50,1	25,0	
	35	20	960	42,8	20,8	
	25	24	476	60,7	29,4	
	35	24	663	50,1	25,6	

Примечание. Пониженная скважность до 10—15% допускается в том случае, если эксплуатация водной скважины рассчитана на срок не более 4—5 лет, а также при эксплуатации маловодообильных водоносных горизонтов.

Для увеличения работы скважины, а также получения максимального дебита из водоносного горизонта при изготовлении фильтров с круглой или щелевой перфорацией скважность нужно доводить не менее чем до 20—25%.

§ 7. ДИАМЕТР И ДЛИНА ФИЛЬТРА

Диаметр и длину фильтра можно определить (ориентировочно) по формуле С. К. Абрамова

$$d = 7643 \frac{Q}{l_0 u_{\phi}}$$

где d — наружный диаметр фильтра в мм; Q — проектный дебит скважины в м³/ч; l — длина рабочей части фильтра в м; u — допустимая входная скорость фильтрации, определяемая по эмпирической формуле $u_{\phi} = 65 \sqrt[3]{k}$ (k — коэффициент фильтрации пород в м/сутки, определяемый по табл. 25).

Таблица 25

Порода	Коэффициент фильтрации, м/сутки	Порода	Коэффициент фильтрации, м/сутки
Песок пылеватый . . .	0,5—1	Гравий от мелкого до крупного	31—70
» мелкозернистый . . .	2—5	Галечник мелкий	71—300
» среднезернистый . . .	6—15	» средний	301—500
» крупнозернистый . . .	16—30	» крупный	Более 500

Длина рабочей части фильтра принимается исходя из имеющихся данных о мощности и водопроницаемости водоносного горизонта. Практикой бурения скважин на воду определена зависимость, из которой следует, что диаметр фильтра должен быть равен не менее 100 мм независимо от конечного диаметра скважины. Это объясняется тем, что внутри фильтровой колонны диаметром менее 100 мм трудно очищать фильтр; кроме того, нарушаются нормальные условия эксплуатации скважины.

При гравийной обсыпке фильтра диаметр скважины должен быть в среднем на 100 мм больше диаметра фильтра. Спущенный в скважину фильтр должен находиться во время эксплуатации скважины ниже динамического уровня. Для обеспечения лучшего притока воды в скважину можно рекомендовать установку фильтра в нижней части водоносного горизонта, если позволяет его мощность. Если водоносный горизонт представляет собой устойчивые породы (трещиноватые скальные породы и т. п.), при отсутствии в них прослоев рыхлых пород, то приемную часть скважины не оборудуют фильтром. Установка фильтра в водоносном горизонте мощностью до 5 м должна рассчитываться таким образом, чтобы длина рабочей части фильтра равнялась мощности пласта. Когда водоносный горизонт представлен однородными породами, устанавливая фильтр, следует избегать непосредственного контакта водоупорной кровли или подошвы пласта с концевыми участками фильтра. Если водоносный горизонт представлен неоднородными по составу породами, то фильтр целесообразно устанавливать в наиболее проницаемых участках.

Для мощных водоносных горизонтов длина рабочей части фильтра может быть определена по формуле

$$l_n = \frac{Qa}{d},$$

где Q — дебит скважины в $м^3/ч$; α — эмпирический коэффициент, зависящий от гранулометрического состава породы водоносного пласта, определяется по табл. 26; d — наружный диаметр фильтра в $мм$.

Таблица 26

Порода	Коэффициент α
Песок мелкий при коэффициенте фильтрации $k=2-5$ м/сутки	90
Песок средний при коэффициенте фильтрации $k=6-15$ м/сутки	60
Песок крупный при коэффициенте фильтрации $k=16-30$ м/сутки	50
Гравий при коэффициенте фильтрации $k=31-70$ м/сутки	30

§ 8. РАСЧЕТ СПУСКА ФИЛЬТРОВОЙ КОЛОННЫ

Так как при спуске колонны обсадных труб с фильтровой частью действительная длина колонны обсадных труб в результате растяжения под действием собственного веса больше, чем замеренная, необходимо определить удлинение колонны из формулы

$$\lambda = \frac{PL}{EF},$$

где P — вес колонны обсадных труб в $кг$; L — длина колонны в $см$; E — модуль упругости в $кг/см^2$; F — площадь сечения в $см^2$.

Например, удлинение 219 $мм$ колонны обсадных труб с толщиной стенок 10 $мм$ длиной 800 $м$ и весом 47,5 $т$ составляет

$$\lambda = \frac{47\,500 \times 80\,000}{2,1 \times 10^6 \times 66,0} = 27,5 \text{ см.}$$

Колонна бурильных труб диаметром 114 $мм$, спущенная на ту же глубину, будет иметь удлинение

$$\lambda = \frac{17\,600 \times 80\,000}{2,1 \times 10^6 \times 32} = 21 \text{ см.}$$

§ 9. ПРОСВЕТ СЕТОК ВОДОПРИЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ФИЛЬТРОВ

Размер фильтровых сеток квадратного плетения обозначают номером. Номер сетки указывает на число проволок, приходящихся на длину, равную 25,4 $мм$. Если известен номер сетки и толщина проволоки, то размер проходных отверстий и ширину просвета можно подсчитать по формуле

$$l = \frac{25,4 - Na}{N},$$

где l — ширина просвета в $мм$; N — номер сетки; a — толщина проволоки в $мм$.

Пример. Сетка № 10 имеет толщину проволоки в основе и утке 0,6 мм. В этом случае ширина просвета равна

$$l = \frac{25,4 - 10 \times 0,6}{10} \approx 1,94 \text{ мм.}$$

Двойным номером обозначаются сетки саржевого плетения, у которых диаметры проволоки утка и основы имеют различную толщину. Для определения величины просвета в сетках саржевого плетения необходимо расчет вести по двумя осям.

Пример. Номер саржевой сетки 20/24, толщина основы равна 0,4 мм, а утка — 0,45. Определить ширину просвета этой сетки.

Ширина просвета:

$$\text{по основе } l_1 = \frac{25,4 - 20 \times 0,4}{20} = 0,87 \text{ мм,}$$

$$\text{по утку } l_2 = \frac{25,4 - 24 \times 0,45}{24} = 0,61 \text{ мм.}$$

Размер ширины просвета будет

$$L = l_1 l_2 = 0,87 \times 0,61 \approx 0,53 \text{ мм}^2.$$

Размер сетки необходимо подбирать в соответствии с составом водоносной породы с таким расчетом, чтобы через сетку могло пройти от 40 до 90% по весу мелких фракций пород водоносного горизонта.

Согласно действующему ГОСТ 3187-46 установлены строго определенные стандарты для изготовления фильтровой сетки, которая представляет собой проволочную ткань, полученную переплетением нитей основы (продольные проволоки) с нитями утка (поперечные проволоки) без образования ячеек.

Глава VII

РАСЧЕТ ДЕБИТОВ ВОДЯНЫХ СКВАЖИН

§ 1. КОЛИЧЕСТВО ВОДЫ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА

Количество воды, необходимое для этой цели, подсчитывают по следующей формуле:

$$Q = aNq,$$

где N — число жителей; q — средняя норма воды на одного человека в л/сутки; a — коэффициент годового прироста населения, принимаемый равным 1,4—1,6 для городов районного подчинения и 2,0—2,5 для городов областного и республиканского подчинения.

При подсчете следует пользоваться следующими нормами потребления воды в сутки на одного человека (табл. 27).

Таблица 27

Населенный пункт	Потребление, л/сутки
<i>Города районного подчинения</i>	
При наличии канализации и домовых ответвлений водопроводной магистрали	100—120
Без канализации, но с домовым ответвлением водопроводной магистрали	80—100
С колонковым водозабором	60—80
<i>Города областного и республиканского подчинения</i>	
При наличии канализации	250—400
Без канализации, но с домовыми ответвлениями водопроводной магистрали	150—200
С колонковым водозабором	100—150

Примечания: 1. Количество воды на нужды местной промышленности, обслуживающей население, и неуточненные расходы можно увеличить дополнительно в размере 5—10% суммарного расхода воды на хозяйственно-бытовые нужды населенного пункта. 2. При учете перспективного развития водопровода на 20—25 лет нормы водопотребления могут быть повышены не более чем на 15%.

Качество воды для водоснабжения

Источник (подземные воды) может быть использованы для хозяйственного, питьевого водоснабжения, если качество воды соответствует следующим требованиям согласно ГОСТ 2761-57.

Содержание, мг/л (не более):	
сухого остатка	1000
сульфатов	500
хлоридов	350
Общая жесткость, мг-экв/л	7
Среднее количество кишечных палочек в 1 л воды:	
для источников, намечаемых к использованию только с хлорированием воды	1000
для источников, намечаемых к использованию с полной очисткой и с хлорированием воды . . .	10 000
запах и привкус при температуре 20° С, баллы	3

Примечание. Содержание железа (суммарное) в воде подземных источников должно быть не более 1 мг/л, а привкус при 20° С в баллах не более 2.

Согласно ГОСТ 2874-54 качество воды, подаваемой потребителю, должно постоянно удовлетворять следующим требованиям:

запах и привкус при 20° С, баллы (не более)	2
цветность по шкале, град	20
прозрачность по шрифту, см	30
Общая жесткость, мг-экв/л	7
Содержание, мг/л (не более):	
свинца	0,1
мышьяка	0,05
фтора	1,5
меди	3,0
цинка	5,0
Общее число бактерий в 1 мл	100
Количество кишечных палочек в 1 л воды	3
Титр кишечной палочки (не менее)	300

Кроме того, качество воды в водопроводах, имеющих устройство для ее обработки, должно соответствовать следующим требованиям

Мутность по мутномеру при осветлении воды, мг/л	не более 2,0
Содержание железа (суммарное) для обезжиривания воды, мг/л	0,3
Активная реакция (рН) при осветлении или умягчении воды до 6,5—9,5 мг-экв/л	6,5—9,5

Примечание. Иногда по согласованию с органами санитарного надзора допускается цветность воды до 35 град (по платиново-кобальтовой шкале), мутность до 3 мг/л и жесткость не более 14 мг-экв/л.

§ 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ

Этот состав определяют на основе анализов, предусмотренных «Инструкцией по применению классификации эксплуатации запасов подземных вод», утвержденной Государственной комиссией по

запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР в 1961 г.

Для получения общей характеристики химического состава подземных вод предусмотрен сокращенный химический анализ; при этом определяется содержание Cl' , CO_3'' , HCO_3' , Ca'' , Mg'' , рН, CO_2 (свобод.), Fe'' , Fe''' , NO_2' , NO_3' , NH_3 , сухого остатка, а также жесткость воды. Этот анализ производят всегда независимо от целевого назначения подземных вод.

Для получения более длительной характеристики химического состава вод необходим полный анализ с определенным содержанием, кроме перечисленных, следующих компонентов: CO_3'' , Na' , K' , Al''' , HBO_3 , H_2SiO_3 , CO_2 (агрессивный), H_2S и их окисляемости. Результаты анализов должны быть выдержаны в ионной, миллиграмм-эквивалентной и процент-эквивалентной формах.

Иногда в зависимости от целевого назначения подземных вод проводят и специальные химические анализы. Для питьевых вод при этом определяют содержание As, Pb, Cu, Zn, F, Hg, Ni, Co, Cd, Cr (трех- и шестивалентного), Ba, радиоактивных элементов и фенолов, образующих хлорфенол.

В процессе анализа промышленных вод необходимо определять содержание компонентов, намечаемых к извлечению, и компонентов, осложняющих технологию извлечения. Например, для йодо-бромных вод наряду с содержанием йода и брома нужно определять содержание нафтеновых кислот и нефти, их щелочность и поглощаемость воды галоидами. В минеральных водах определяют количество редко встречающихся элементов и газов, имеющих лечебное значение.

Наибольшее количество солей, входящих в состав сухого минерального остатка воды, состоит из хлоридов, карбонатов и сульфитов. Присутствие хлоридов (поваренной соли) в воде ощущается на вкус при содержании их около 0,15 г/л, хлористого и сернокислого магния (горькой соли) при содержании 0,13—0,2 г/л и хлористого железа — 0,00035 г/л (0,35 мг/л).

По содержанию в воде железа определяют ее качество. Если железо имеется в большом количестве, особенно в присутствии марганца, оно в виде окиси железа (ржавчины) осаждается из раствора на стекле, стенках котла, внутренней поверхности водопроводных труб, вызывая в последующем разрушение (коррозию) металла. Если для питья применяется сырая вода, содержащая большое количество растворенного железа, разрушается эмаль зубов. Так же действует на эмаль зубов вода, содержащая фтор в количестве, превышающем допустимую норму. Агрессивными по отношению к металлическим водопроводным трубам являются воды с рН < 6.

Жесткость воды зависит от содержания в ней солей кальция и магния. Чем больше жесткость воды, тем в меньшей степени образуется мыльная пена (взмыливание) и тем больше выпадает из нее накипи. Жесткость выражается в мг-экв Ca'' и Mg'' , содержащихся в 1 л воды; 1 мг-экв/л жесткости соответствует содержанию 40,04 мг Ca'' или 12,16 мг Mg'' в 1 л воды.

§ 3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

На месте произведения работ качество воды можно приблизительно оценить по внешним физическим признакам: прозрачности, цвету, запаху, вкусу, характеру осадка, количеству взвешенных веществ и температуре. Эти показатели необходимы для первого контрольного суждения о качестве воды.

Большинство подземных вод прозрачно, бесцветно, без запаха, специфических привкусов и не имеет осадка или мути. Температура подземных вод изменяется от $+0,2; 2$ (подмерзлотные воды) до $+10^{\circ}\text{C}$. Иногда в южных областях температура воды увеличивается до $12-15^{\circ}\text{C}$ и всегда постоянна для данного глубоко залегающего водоносного горизонта. Температура грунтовых вод (особенно верхних) изменяется в зависимости от изменений температуры воздуха (по временам года) и иногда зависит от изменений суточности температуры.

Значительное изменение температуры подземных вод, находящихся глубоко от дневной поверхности, может указывать на близкое расположение области питания. В таких случаях резко изменяется и положение уровня воды в скважине в зависимости от количества выпадающих осадков или изменений уровня воды в реке или водоеме (например, при паводках или при пропусках воды из водохранилища); при этом в процессе самоизлива из скважин наблюдаются такие же заметные изменения дебита.

Запах может указывать на присутствие в воде следов сероводорода. По вкусу можно отличать соленые и горько-соленые воды (пробовать надо подогретую воду), а также воды, содержащие железистые соединения (табл. 28). Осадок и в основном мутность воды или расцветка ее зависят от присутствия мельчайших взвешенных минеральных или органических частиц. Муть иногда появляется в первоначально прозрачной воде в результате выпадения окиси железа (растворимая окись железа при солнечном освещении переходит

Т а б л и ц а 28

Балл	Интенсивность	Описательные определения
0	Нет	Отсутствие ощутимого запаха
1	Очень слабый	Запах, не поддающийся обнаружению потребителем, но обнаруживаемый в лаборатории
2	Слабый	Запах, не привлекающий внимания потребителя, но его можно заметить, если указать на него
3	Заметный	Запах, легко обнаруживаемый и могущий дать повод относиться к воде с неодобрением
4	Отчетливый	Запах, обращающий на себя внимание и делающий воду неприятной для питья
5	Очень сильный	Запах настолько сильный, что делает воду неприятной для питья

в нерастворимую окись железа — ржавчину). При этом на дне и стенках сосуда после отстаивания выпадает осадок от бледно-желтого до красно-бурого цвета.

§ 4. ОПРОБОВАНИЕ СКВАЖИН ОТКАЧКАМИ

Для определения фактической производительности скважин и установления химико-бактериологических свойств воды встреченного водоносного горизонта и очистки воды от посторонних примесей, песка и мути проводят пробные откачки разведочно-эксплуатационных водяных скважин.

Откачки ведутся с помощью водоподъемных устройств, которые позволяют установить расход воды, близкий к проектной производительности скважины, причем количество откачиваемой воды из эксплуатационного горизонта должно составлять не менее 75% проектной производительности скважины. Пробно-эксплуатационная откачка проводится для установления опытным путем возможности получения из скважины запроектированного дебита. Пробные откачки проводятся не менее чем с двумя понижениями уровня воды в скважине, одно из которых должно быть максимально возможным. Продолжительность откачек на максимальное понижение в зависимости от литологического состава горных пород, их водопроницаемости и характера водоносного горизонта указана в табл. 29. Непрерывная откачка для каждого понижения должна проводиться по достижении постоянного динамического уровня (при постоянном дебите) не менее 16 ч. При этом необходимо, чтобы химико-бактериологические показатели анализов воды были стабильны.

При проведении откачек требуется соблюдать следующие основные правила.

I. Откачка на каждое понижение производится непрерывно.

II. Минимальное понижение уровня воды в скважине должно быть, как правило, не менее 1 м, иначе показатели удельного дебита будут завышены.

Примечания. 1. Уровень воды в скважине, находящейся в спокойном состоянии, называется статическим $H_{ст}$; уровень воды, установившийся в процессе откачки воды, называется динамическим $H_{дин}$. Уровни воды в скважине замеряются от поверхности земли до зеркала воды в скважине.

2. Разность глубины между статическим и динамическим уровнями называется понижением статического уровня и выражается обычно в м ($S = H_{дин} - H_{ст}$).

3. Количество воды, откачиваемое из скважины при установившемся динамическом уровне в единицу времени, называется дебитом (производительностью) скважины Q . Дебит скважины обычно выражается количеством кубических метров воды, получаемой в час ($м^3/час$).

4. Отношение дебита скважины Q к понижению статического уровня воды S называется удельным дебитом: $q = \frac{Q}{S}$ $м^3/ч/м^3$ понижения.

III. Каждое последующее понижение должно быть больше или меньше предыдущего в 1,5—2 раза.

IV. Откачку воды из скважины, пробуренной в рыхлых мелкозернистых песчаных породах, во избежание кольтматации фильтра

Литологический состав водоносных пород	Коэффициент фильтрации, м/сутки	Удельный дебит, л/сек	Характер водоносного горизонта	Средняя продолжительность откачек при каждом понижении в сменах			
				пробные откачки из одиночных скважин	опытные откачки		
					из одиночных скважин	из опытных улов	грунтовые
Скальные сильнотрещиноватые породы, гравийно-галечниковые породы с незначительной примесью мелких частиц	Более 60	5 и более	Напорный Безнапорный	1—2	6—9	9—15	6—12
				2—3	9—12	12—18	9—15
Скальные трещиноватые породы, мел, гравийно-галечниковые породы со значительной примесью мелких частиц, гравелистые разнородные пески	60—20	1—10	Напорный Безнапорный	2—3	9—12	12—18	9—15
				3—5	12—18	15—24	12—18
Скальные слаботрещиноватые породы (доломиты, мергели, сланцы), мел и разнородные пески	20—5	0,1—1,0	Напорный Безнапорный	3—5	12—18	15—24	12—18
				4—6	15—24	18—24	15—24
Мелкозернистые неоднородные пески	Менее 5	0,01—0,5	Напорный Безнапорный	4—6	12—18	15—24	12—18
				5—7	15—24	18—30	15—24

Примечания: 1. Длительность пробно-эксплуатационных откачек устанавливается в каждом отдельном случае в зависимости от гидрогеологических условий. Суммарный дебит при пробно-эксплуатационных откачках должен составлять не менее 50% требуемого количества воды.

2. Отклонения от приведенной в табл. 30 продолжительности откачек должны быть обоснованы в проектах скважин. Во всех случаях, вне зависимости от принятой продолжительности опытных откачек, они могут быть закончены не ранее чем через одну смену после стабилизации дебитов и динамических уровней в разведочных и наблюдательных скважинах.

3. Режим откачек устанавливается специальными инструкциями.

4. При проведении пробных и опытных откачек в процессе инженерно-геологических изысканий для определения водопроницаемости горных пород к нормам продолжительности откачек, приведенным в табл. 30, применяется коэффициент 0,5; при этом продолжительность откачек не может, однако, составлять менее одной смены на каждое понижение.

следует вести от меньшего понижения к большему. Откачку из скважины в трещиноватых или грубообломочных породах, наоборот, необходимо начинать с максимального понижения, переходя к минимальному.

V. Вода во время откачки не должна попадать обратно в скважину, поэтому ее сбрасывают по желобам или трубам на расстояние не менее 100 м от скважины.

VI. Уровни воды в скважине измеряют с помощью электроуровнемеров различных систем. Понижение уровня воды измеряется с точностью до одного сантиметра.

Т а б л и ц а 30

Водоподъемные механизмы	Преимущества	Недостатки
Эрлифты	1. Простота устройства и надежность в работе 2. Возможность применения при откачке воды с большим содержанием песка 3. Высокая производительность при малых диаметрах скважины	1. Низкий к. п. д. 2. Возможность откачек в скважинах определенной глубины, обусловленная коэффициентом погружений эрлифтной системы 3. Недостаточная точность замера динамического уровня из-за колебания последнего в скважине при откачке
Горизонтальные центробежные насосы	1. Большая производительность при сравнительно небольшой затрате мощности (высокий к. п. д.) 2. Достаточное простое регулирование производительности насоса	Недостаточная высота всасывания (до 5—6 м)
Глубинные насосы с погружными электродвигателями	1. Высокий к. п. д. 2. Возможность откачки воды из скважины при большой глубине динамического уровня 3. Сравнительно малый вес и менее сложный монтаж, чем у глубинных артезианских насосов 4. Для установки насосов могут быть использованы незначительно искривленные скважины	Недопустимость использования при содержании в откачиваемой воде песка
Штанговые поршневые насосы	Возможность откачки воды из скважины при глубине динамического уровня до 100 м	1. Малая производительность (до 10—12 м ³ /ч) 2. Частые ремонты из-за быстрого износа манжет поршня, обрыва штанг и др.

VII. Расход воды при откачках (дебит скважины) измеряется объемным способом или с помощью водомеров, устанавливаемых на выходном патрубке трубы. Время наполнения мерного сосуда должно точно отсчитываться по секундомеру.

Стабилизацию дебита при откачке следует считать практически наступившей, если в течение 16—24 ч наблюдаемый дебит скважины не будет отличаться от его среднего значения более чем на 10%. Стабилизацию динамического уровня при постоянном дебите скважины можно считать наступившей, если уровень меняется не более чем на 1—3 см в течение 6—8 ч откачки.

VIII. После окончания откачки проводится наблюдение за восстановлением уровня в скважине до статического.

Для пробных откачек в практике сооружения водяных скважин используют насосы различных типов в зависимости от гидрогеологических условий, диаметра и глубины скважины.

В табл. 30 приведена характеристика различных водоподъемных устройств, применяемых для откачек.

Для проведения пробных и опытных откачек в тех скважинах, глубина которых более чем в 1,5—1,8 раза превышает глубину динамического уровня воды в них во время откачек, целесообразно применять эрлифты. При устройстве эрлифтных систем скважин оборудуются водоподъемными и воздушными трубами, устанавливаемыми по различным схемам.

Таблица 31

Диаметр скважины, мм	Расположение труб «внутри»			Расположение труб «рядом»		
	внутренний диаметр водоподъемных труб, мм	внутренний диаметр воздухопроводных труб, мм	производительность, м ³ /ч	внутренний диаметр водоподъемных труб, мм	внутренний диаметр воздухопроводных труб, мм	производительность, м ³ /ч
168	70	25	15—20	70	32	20—25
	100	32	30—40			
249	100	32	30—40	80	40	25—30
	150	50	70—100			
273	150	50	70—100	100	40	30—40
	200	70	100—150			
325	200	70	100—150	125	50	75—100
	200	80	150—250			

Примечание. Размеры труб для скважин даны в двух вариантах, причем водоподъемные трубы меньшего диаметра применяют для скважин, в которых точный замер уровня воды обязателен, а трубы большего диаметра — для скважин, в которых можно ограничиться приблизительным определением уровня воды по манометру компрессора (рис. 15).

Наиболее часто применяются следующие схемы эрлифтов:

1) «рядом» — колонны водоподъемных и воздушных труб проходят рядом друг с другом (рис. 14, а);

2) «внутри» — трубы расположены концентрически, воздушная труба помещается внутри водоподъемной (рис. 14, б). В некоторых случаях допускается замена специально опускаемых водоподъемных труб обсадной колонной. Центральная схема монтажа эрлифта рекомендуется для предпочтительного применения.

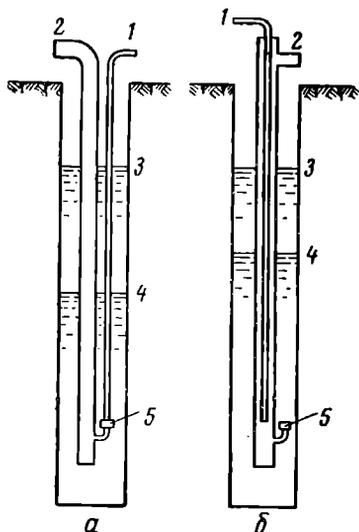


Рис. 14. Схема оборудования скважины эрлифтом.

а — по системе «рядом»; б — по системе «внутри»;

1 — воздухопроводная колонна; 2 — водоподъемная колонна; 3 — статический уровень воды; 4 — динамический уровень воды при откачке; 5 — муфта с левой резьбой.

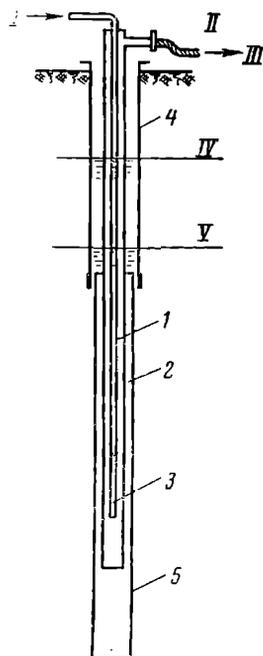


Рис. 15. Схема эрлифтной системы.

1 — воздушные трубы; 2 — водоподъемные трубы; 3 — смеситель эрлифта; 4 — эксплуатационная колонна; 5 — фильтровая колонна.

I — воздух; II — уровень излива; III — вода; IV и V — соответственно статистический и динамический уровни.

Диаметр труб эрлифта в зависимости от диаметра скважины, расположения труб и необходимой производительности откачки приведен в табл. 31.

Для расчета эрлифта, помимо диаметров воздушных и водоподъемных труб, необходимо знать глубину погружения смесителя, расход и давление сжатого воздуха.

§ 5. ГЛУБИНА ПОГРУЖЕНИЯ ВОЗДУХОПРОВОДНОЙ ТРУБЫ

Эта глубина погружения воздухопроводной трубы зависит от положения динамического уровня воды в скважине и определяется по формуле

$$H = kh,$$

где H — глубина погружения воздухопроводной трубы в m ; k — коэффициент, равный отношению глубины погружения смесителя (форсунки) к высоте подъема воды (обычно изменяется в пределах 1,9—3,0); h — расстояние от динамического уровня до точки излива в m .

Водоподъемная труба опускается на 3—5 m ниже эрлифтного смесителя.

§ 6. ДАВЛЕНИЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Удельный расход воздуха, необходимый для подъема 1 m^3 воды, определяют по формуле

$$q_v = \frac{h}{23\eta \lg \frac{h(k-1) + 10}{10}},$$

где q_v — удельный расход воздуха в m^3 на 1 m^3 воды; η — коэффициент полезного действия эрлифта (к. п. д. = 0,25—0,30).

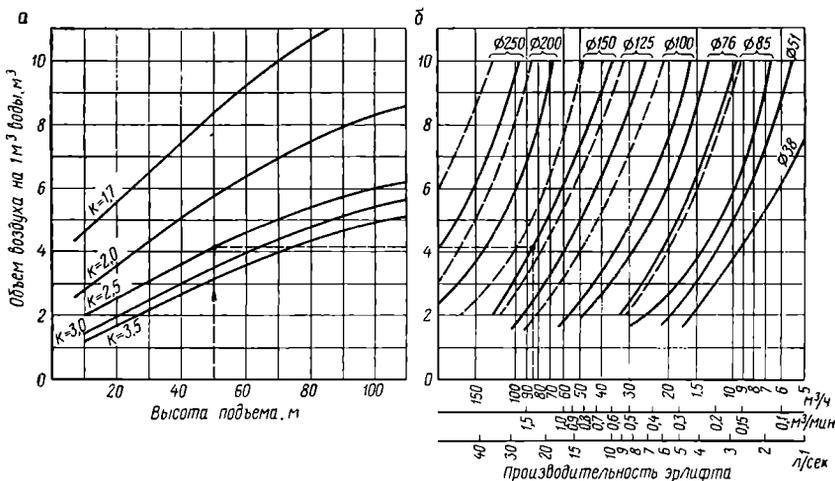


Рис. 16. Номограммы для расчета эрлифта.

a — для определения удельного расхода воздуха; b — для определения производительности эрлифта.

Давление сжатого воздуха (в $кг/см^2$), необходимое для пуска эрлифта в работу, устанавливают по формуле

$$p_0 = 0,1 (hk - h_0 + 2),$$

где k — коэффициент погружения смесителя ($k = \frac{H}{h}$); h_0 — глубина статического уровня в m ; h — глубина динамического уровня в m .

Во время работы эрлифта давление сжатого воздуха равно

$$p_0 = 0,1 [h(k-1) + L_p],$$

где L_p — сумма потерь давления воздуха от компрессора до смесителя (при небольшом расстоянии компрессора L_p примерно равно $0,5 \text{ кг/см}^2$).

Удельный расход воздуха в зависимости от высоты подъема воды и принятого коэффициента погружения смесителя эрлифта можно определить по рис. 16, а;

по рис. 16, б можно определить производительность эрлифта в зависимости от диаметра водоподъемных труб.

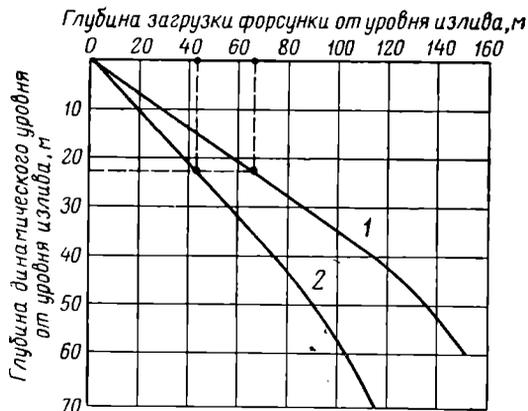


Рис. 17. Определение глубины загрузки смесителя эрлифта.

1 — наивыгоднейшая загрузка; 2 — наименьшая допустимая загрузка.

уровня регулируется изменением количества подаваемого в скважину воздуха или глубины погружения смесителя эрлифта. Однако вследствие малых зазоров между трубами эрлифта определить понижение уровня воды в скважине уровнеммером, поплавковым измерителем не всегда возможно. В этом случае допускается измерение динамического уровня по манометру, установленному на ресивере компрессора или на воздушной трубе эрлифта у устья скважины.

§ 8. РАСЧЕТ ПОНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ

Понижение уровня рассчитывают по формуле

$$S = 10(p_n - p_p),$$

где S — понижение уровня в м; p_n — пусковое давление в кг/см^2 ; p_p — рабочее давление в кг/см^2 .

Величина понижения (в м) равна разности пускового и рабочего давлений (в кг/см^2), умноженной на 10.

Пример. Статический уровень воды в скважине установился на глубине 10 м, смеситель эрлифта на глубине 64 м, пусковое давление на манометре компрессора 6 кг/см^2 , рабочее давление 4,2 кг/см^2 .

Тогда понижение будет равно

$$S = 10 (p_n - p_p) = 10 (6 - 4,2) = 18 \text{ м,}$$

а динамический уровень от поверхности земли будет равен

$$18 + 10 = 28 \text{ м.}$$

§ 9. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДЯНОЙ СКВАЖИНЫ

После окончания предварительной откачки скважины для определения максимальной производительности скважины приступают к пробной откачке и по величине не менее двух понижений судят о производительности скважины по формуле

$$Q_2 = Q_1 \frac{(2H - S_2) S_2}{(2H - S_1) S_1},$$

где Q_1 — дебит скважины при первом понижении уровня воды в $\text{м}^3/\text{ч}$; S_1 — понижение уровня воды при дебите Q_1 в м ; Q_2 — дебит скважины при втором понижении уровня воды в $\text{м}^3/\text{ч}$; S_2 — понижение уровня воды при дебите Q_2 в м ; H — мощность водоносного горизонта в м .

П р и м е р. Мощность водоносного горизонта $H = 25 \text{ м}$. При понижении уровня воды в скважине во время откачки на 4 м дебит был равен $16 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Определить дебит скважины при понижении уровня на 6 м от статического.

$$Q = 16 \frac{(2 \times 25 - 6) 6}{(2 \times 25 - 4) 4} = 23 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

§ 10. РАСЧЕТ ДЕБИТА СКВАЖИНЫ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩЕЙ НЕСКОЛЬКО ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

При эксплуатации нескольких разобценных водоносных горизонтов дебит скважины будет равен сумме дебитов отдельных горизонтов при соответствующем понижении для каждого из них.

При соединении двух горизонтов имеются следующие соотношения статических уровней и удельных дебитов.

1. Статические уровни находятся на одинаковой глубине (рис. 18). В этом случае дебит скважины из двух водоносных горизонтов будет равен сумме дебитов водоносных горизонтов и соотношения удельных дебитов не имеют значения.

Общий дебит определяют по формуле

$$Q = q_1 S + q_2 S,$$

где Q — общий дебит в $\text{м}^3/\text{ч}$; q_1, q_2 — удельные дебиты водоносных горизонтов в $\text{м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}$; S — понижение уровня при откачке в м .

2. Эксплуатируемый водоносный горизонт имеет больший статический уровень, чем расположенный ниже, а удельный дебит расположенного ниже горизонта больше, чем удельный дебит расположенного выше (рис. 19).

Так как статические уровни воды в скважине находятся на разных глубинах, то при откачках величина понижения для каждого водоносного горизонта будет разной. Общий дебит определяется по формуле

$$Q = q_1 S_1 + q_2 S_2.$$

В случае прекращения откачки из скважины из горизонта, имеющего больший напор, вода будет поглощаться расположенным ниже горизонтом, имеющим меньший напор. Состояние равновесия наступит тогда, когда количество воды, поступающее из верхнего

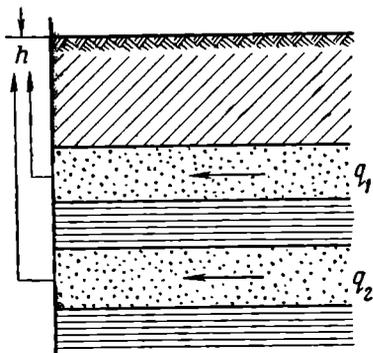


Рис. 18. Соединение двух горизонтов, статические уровни которых находятся на одинаковой глубине. h — глубина статических уровней; q_1 и q_2 — удельные дебиты горизонтов.

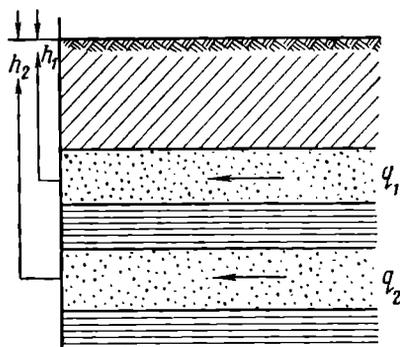


Рис. 19. Соединение двух горизонтов, у которых верхний горизонт имеет статический уровень h_1 выше, чем нижний h_2 ; удельный дебит q_2 нижнего горизонта больше, чем удельный дебит q_1 верхнего горизонта.

горизонта и поглощаемое нижним горизонтом, будет равно, т. е. установится равенство

$$q_1 t_1 = q_2 t_2,$$

где t_1 — понижение от статического уровня верхнего горизонта в м; t_2 — напор, под давлением которого вода поглощается нижним горизонтом, в м.

Из приведенной выше формулы следует, что

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{q_2}{q_1},$$

т. е. отношение понижения в верхнем горизонте к напору в нижнем обратно пропорционально их удельным дебитам. Таким образом, объединенный статический уровень между h_1 и h_2 будет

$$h = h_1 + \frac{(h_2 - h_1) q_2}{q_1 + q_2}.$$

3. Рассматриваемый случай аналогичен предыдущему, но удельный дебит верхнего горизонта больше нижнего, т. е. $q_1 > q_2$. Если $S < h_2 - h_1$, то статический уровень нижнего горизонта не будет понижен и притока из него не будет. Кроме того, вследствие разницы напоров между динамическим уровнем верхнего горизонта и статическим уровнем нижнего горизонта часть воды будет поглощаться нижним. Таким образом, в этом случае нецелесообразно соединение водоносных горизонтов (рис. 20). При прекращении откачки вода верхнего горизонта поглотится нижним, так как $h_2 > h_1$, и сохраняются условия

$$q_1 t_1 = q_2 t_2 \quad \text{и} \quad \frac{t_1}{t_2} = \frac{q_2}{q_1}.$$

Статический уровень определится по приведенной выше формуле для h .

4. В этом случае расположенный ниже водоносный горизонт имеет статический уровень выше верхнего. Удельный дебит расположенного ниже горизонта больше верхнего, т. е. $q_2 > q_1$. Приток определится из уравнения для Q , приведенного в соотношении 2.

При прекращении откачки из скважины вода будет поглощаться верхним горизонтом. При соединении горизонтов положение статического уровня определится из

$$h = h_2 + \frac{(h_1 - h_2) q_1}{q_1 + q_2}.$$

5. Статический уровень воды нижнего водоносного горизонта выше верхнего, а удельный дебит верхнего водоносного горизонта больше нижнего, т. е. $q_1 > q_2$.

В этом случае дебит скважины и положение статического уровня в результате соединения горизонтов определяются из уравнений для Q и h соответственно в соотношениях 2 и 4. При соединении двух водоносных горизонтов положение статического уровня h можно определить по формуле

$$h = \frac{q_1 h_1 + q_2 h_2}{q_1 + q_2}.$$

Когда известны h_1 , h_2 и h , а также удельный дебит одного из водоносных горизонтов, удельный дебит другого горизонта определится из выражения

$$q_1 = q_2 \frac{h - h_2}{h_1 - h}$$

или

$$q_2 = q_1 \frac{h - h_1}{h_2 - h}.$$

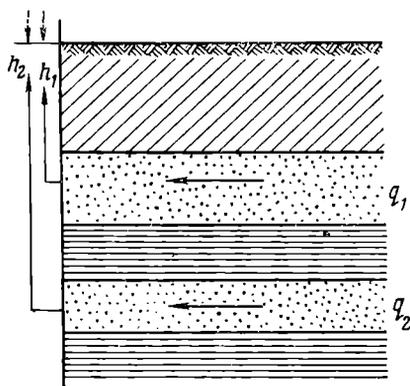


Рис. 20. Соединение двух горизонтов, у которых статический уровень h_2 нижнего горизонта выше, чем статический уровень h_1 верхнего горизонта; удельный дебит q_2 нижнего горизонта больше удельного дебита q_1 верхнего горизонта.

§ 11. ДЕБИТ СКВАЖИНЫ В ГРУНТОВЫХ ВОДАХ

Дебит одиночной скважины в грунтовых водах (безнапорный горизонт) определяется по формуле

$$Q = 1,36 \frac{k (2H - S) S}{\lg R - \lg r},$$

где Q — дебит скважины в $м^3/сутки$; k — коэффициент фильтрации в $м/сутки$ (k представляет собой скорость фильтрации при гидравлическом градиенте, равном единице); H — мощность водоносного горизонта, считая от статического уровня воды до подошвы пласта, в $м$; S — понижение уровня воды от статического уровня при откачке; R — радиус влияния (радиус депрессионной воронки) в $м$; r — радиус скважины в $м$.

Коэффициент фильтрации примет вид

$$k = \frac{Q (\lg R - \lg r)}{1,36 (2H - S) S}.$$

При расчете дебита воды, необходимого для требуемого понижения уровня, можно пользоваться формулой

$$Q_2 = Q_1 \frac{(2H - S_2) S_2}{(2H - S_1) S_1},$$

где Q_1 — дебит скважины при первом понижении уровня воды в $м^3/ч$; S_1 — понижение уровня воды при дебите Q_1 в $м$; Q_2 — дебит скважины при втором понижении уровня в $м^3/ч$; S_2 — понижение уровня при дебите Q_2 , т. е. искомое понижение уровня воды.

Пр и м е р. Мощность водоносного слоя равна 20 м. При понижении уровня воды откачкой на 4 м дебит был равен 12 $м^3/ч$. Определить дебит при понижении уровня на 6 м от статического

$$Q_2 = 12 \frac{(2 \times 20 - 6) 6}{(2 \times 20 - 4) 4} \approx 17 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Данные о зависимости величины радиуса влияния R и коэффициента фильтрации k от характера водоносного слоя приведены в табл. 32.

Таблица 32

Водоносные породы	Преобладающий диаметр зерна, мм	Радиус влияния R , м	Коэффициент фильтрации k , м/сутки
Песок тонкозернистый	0,05—0,1	25—50	1—3
» мелкозернистый	0,1—0,25	50—100	3—5
» среднезернистый	0,25—0,5	100—200	5—20
» крупнозернистый	0,5—1	300—400	20—40
» грубозернистый	1—2	400—500	40—50
Гравий мелкий	2—3	400—600	50—100
» средний	3—5	500—1500	—
» крупный	5—10	1500—3000	—

Пример. Рассчитать дебит скважины, где водоносный слой — среднезернистый песок. Мощность слоя равна — 14 м, диаметр скважины 305 мм, понижение уровня воды при откачке 14 м, коэффициент фильтрации 10 м/сутки, радиус влияния 300 м.

Подставляя значения в приведенную выше формулу для Q , получим

$$Q = 1.36 \frac{10 (2 \times 14 - 4) 4}{\lg 300 - \lg 0.152} = 398 \text{ м}^3/\text{сутки}.$$

§ 12. ДЕБИТ ОДИНОЧНОЙ ВОДЯНОЙ СКВАЖИНЫ (НАПОРНОЙ)

Дебит одиночной водяной скважины определяется по формуле

$$Q = \frac{2\pi ka (H - h)}{\ln \frac{R}{r}}. \quad (a)$$

После преобразования формула примет следующий вид:

$$Q = \frac{2\pi kaS}{\ln \frac{R}{r}} = \frac{2.73kaS}{\lg \frac{R}{r}}, \quad (б)$$

где H — высота напора от подошвы водоносного слоя до откачки в м; h — высота столба воды в скважине во время откачки в м; S — понижение уровня воды в скважине при откачке в м; k — коэффициент фильтрации водоносного слоя в м/сутки; R — радиус влияния в м; a — мощность водоносного пласта в м; r — радиус скважины в м (рис. 21).

Формулой (а) пользуются при определении дебита в том случае, когда водоносный горизонт представлен рыхлыми, зернистыми породами (песок или гравий, а также породы с мелкой трещиноватостью).

Для определения дебита напорных водоносных горизонтов, представленных трещиноватыми породами с большим размером трещин, пользуются формулой

$$Q = 2\pi k_r \sqrt{rS},$$

где k_r — коэффициент фильтрации по трещинам (этот коэффициент определяется опытной откачкой) в м/сутки.

Пример. Напорные воды залегают в песчаном пласте, $S = 5$ м, $a = 15,9$ м, $k = 8$ м/сутки, $D_{\text{скв}} = 254$ мм, $R = 100$ м.

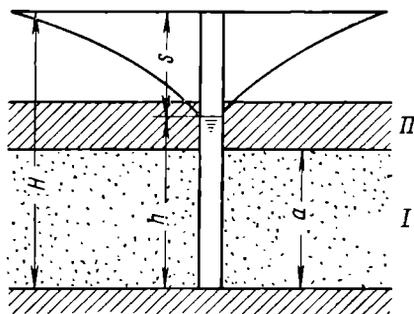


Рис. 21. Схема к расчету дебита скважины.
I — песок; II — суглинок плотный.

Для определения дебита скважины применим формулу (б)

$$Q = \frac{2,73kaS}{\lg \frac{R}{r}},$$

После подстановки числовых значений получим

$$Q = \frac{2,73 \times 8 \times 15,9 \times 5}{\lg 100 - \lg 0,127} = 598,7 \text{ м}^3/\text{сутки}.$$

§ 13. УДЕЛЬНЫЙ ДЕБИТ СКВАЖИНЫ

Дебит скважины обычно выражается количеством кубических метров воды, получаемой в час ($\text{м}^3/\text{ч}$).

Отношение дебита скважины Q к понижению статического уровня воды S называется удельным дебитом

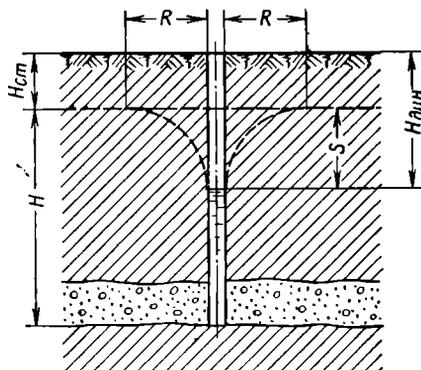


Рис. 22. Воронка депрессии.

$$q = \frac{Q}{S} \text{ м}^3/\text{ч на 1 м понижения}.$$

Во время откачки вода притекает к скважине вследствие уменьшения гидростатического давления в стволе скважины по отношению к давлению в пласте. При этом вокруг скважины понижается давление, изменение которого изображают в виде кривой депрессии. Место соединения кривых депрессии внутри ствола скважины определяет положение динамического уровня (рис. 22).

Расстояние от скважины до крайних точек, где влияние откачки практически уже не сказывается, называется радиусом влияния R или радиусом депрессии; H — гидростатическое давление в пласте; $H_{ст}$ — статический уровень; $H_{дин}$ — динамический уровень; S — понижение уровня.

§ 14. ОБЪЕМНЫЙ СПОСОБ ЗАМЕРА ДЕБИТА СКВАЖИНЫ

Этот способ замера дебита скважины заключается в фиксировании времени наполнения сосуда определенного объема. При определении дебита скважины необходимо брать среднее трех его показаний. Объем (в $\text{м}^3/\text{ч}$) подсчитывается по формуле

$$Q = \frac{F \times 60}{t},$$

где F — объем сосуда в м^3 ; t — среднее время наполнения сосуда в мин.

§ 15. РАСЧЕТ РАЗМЕЩЕНИЯ СКВАЖИН С УЧЕТОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

Эксплуатируемый водоносный горизонт тем надежнее в санитарном отношении, чем он глубже расположен, однако при увеличении глубины водообильность уменьшается вследствие ухудшения условий питания и движения в них воды. Для исключения возможности загрязнения воды в эксплуатационной скважине поверхностными водами необходимо, чтобы источники загрязнения находились за пределами площади ее питания.

Для определения максимально допустимого расстояния между точкой заложения скважины и возможными источниками загрязнения используют формулу

$$t = \frac{\pi H P_0}{Q} (R_x^2 - r^2),$$

где t — время, необходимое для прохождения воды от источника загрязнения до скважины, в сутках; H — мощность водоносного горизонта в м; P_0 — активная пористость водоносных пород; Q — дебит скважины в м³/сутки; R_x — расстояние от центра скважины до источника загрязнения в м; r — радиус скважины в м.

Так как величина r незначительна по сравнению с величиной R_x , то ею можно пренебречь. Тогда

$$R_x = \sqrt{\frac{Qt}{\pi H P_0}}.$$

В рассматриваемом случае величину t принимают равной 400 суткам. Величина P_0 для песков в среднем равна 0,20; при эксплуатации скважины из трещиноватых пород величина P_0 изменяется от сотых долей процента до нескольких процентов.

§ 16. РАСЧЕТ БАЛАНСИРНЫХ ПРИВОДОВ

При откачке и эксплуатации водяных скважин с низкими динамическими уровнями применяются станки-качалки.

Пример. Подсчитать максимальную нагрузку, действующую в точке подвеса штанг к балансиру станка-качалки типа СКНЗ-915 при условиях: глубина спуска насоса 450 м, диаметр насоса 38 мм, диаметр штанг 22,2 мм, длина хода полированного штока 600 мм, число качаний в 1 мин 7, объемный вес воды $\gamma = 1 \text{ Т/м}^3$, диаметр насосных труб 50,8 мм.

Определим объемный вес добываемой из скважины воды

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{100\gamma}{100 - (1 - \gamma)} = \frac{100 \times 1}{100 - (1 - 1)} = 1,0 \text{ т/м}^3.$$

В начале хода плунжера вверх на головку балансира будет действовать максимальная нагрузка, которая складывается из сил

$$Q_{\Sigma} = Q_c + Q_i.$$

где Q_0 — максимальная статическая нагрузка, состоящая из веса колонны штанг P , силы давления жидкости на плунжер G и силы трения R ; Q_i — сила инерции колонны штанг P_i ; и поднимаемого столба жидкости G_i ;

$$P = Hq' = Hq \left(1 - \frac{\gamma_{ж}}{\gamma_{м}} \right) = 450 \times 3,17 \left(1 - \frac{1}{7,8} \right) = 1242 \text{ кг},$$

Т а б л и ц а 33

Диаметр штанг, мм	Диаметр муфт, мм	Вес 1 м штанг с муфтой в воздухе, кг	Вес 1 м штанг с муфтой в воде, кг
16	38	1,65	1,44
19	41,3	2,38	2,08
22	44,5	3,20	2,79
25	50	4,20	3,66

где H — глубина спуска насоса в м; q' — вес 1 м колонны штанг в жидкости в кг; q — вес 1 м колонны штанг в воздухе в кг; $\gamma_{м}$ — удельный вес материала штанг, равный $7,8 \text{ Т/м}^3$. В табл. 33 приводятся данные веса штанг в воздухе и в воде. Сила давления жидкости на плунжер составит

$$G = F_{п} H \gamma_{ж} = \frac{\pi D^2}{4} H \gamma_{ж} = \frac{3,14 \times 3,8^2 \times 450 \times 10^2}{4 \times 10^3} = 507 \text{ кг},$$

где $F_{п}$ — площадь поперечного сечения плунжера в см^2 ; H — глубина динамического уровня жидкости в скважине (принята равной глубине спуска насоса) в см; D — диаметр плунжера в см. Сила трения плунжера о стенки втулок насоса будет

$$R = 2500D = 2500 \times 0,038 = 95 \text{ кг},$$

где D — диаметр плунжера в м.

Таким образом, статические силы составят

$$Q_0 = P + G + R = 1242 + 507 + 95 = 1844 \text{ кг}.$$

Сила инерции от колонны штанг

$$P_i = \frac{P}{g} w_A = \frac{P}{g} r \omega^2 \frac{a}{b} = \frac{P}{g} \frac{r n^2}{90} \frac{a}{b} = \frac{1242}{9,81} \times \frac{0,30 \times 7^2}{90} \frac{1,5}{1,5} = 20,7 \text{ Т},$$

где w_A — ускорение точки подвеса штанг к балансиру в м/сек^2 ; g — ускорение силы тяжести в м/сек^2 ; r — длина кривошипа, равная $0,30 \text{ м}$; ω — угловая скорость кривошипа $1/\text{сек}$; n — число качаний балансира в 1 мин , равное для нашего случая 7 ; a — длина переднего плеча балансира, равная $1,5 \text{ м}$; b — длина заднего плеча балансира, равная $1,5 \text{ м}$.

Силу инерции жидкости определяем из выражения

$$G_1 = \frac{(F_{п} - f_{ш})^2}{F_{т} - f_{ш}} H_{п} \gamma_{ж} \frac{w_A}{g} = \frac{(F_{п} - f_{ш})^2}{F_{т} - f_{ш}} H_{п} \gamma_{ж} \frac{r n^2}{90 g} \frac{a}{b} = \frac{\pi}{4} \frac{(D^2 - d_{ш}^2)^2}{D_{т}^2 - d_{ш}^2} H_{п} \gamma_{ж} \frac{r n^2 a}{90 g b} = \frac{3,14}{4} \frac{(3,8^2 - 0,22^2)^2}{5^2 - 0,22^2} 450 \times 10^2 \times \frac{1}{10^3} \frac{0,3 \times 7^2 \times 1,5}{90 \times 9,81 \times 1,5} = 4,9 \text{ кг},$$

где $F_{п}$ — площадь плунжера в см^2 ; $F_{т}$ — площадь живого сечения труб в см^2 ; $D_{т}$ — внутренний диаметр насосных труб в см; $d_{ш}$ — диаметр штанг в см; $f_{ш}$ — площадь поперечного сечения штанг в см^2 .

Складывая статические силы с динамическими, получим нагрузку, приходящуюся на головку балансира при начале хода плунжера вверх

$$Q = Q_c + Q_i = Q_c + P_i + G_i = 1844 + 20.3 + 2.3 = 1866.6 \text{ кг}.$$

Ввиду небольшой величины сил инерции колонны штанг и жидкости ими обычно пренебрегают.

§ 17. НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫЕ ТРУБЫ

Насосно-компрессорные трубы широко применяются при откачке воды из буровых скважин. Размеры и вес насосно-компрессорных труб (по ГОСТ 633-63) приведены в табл. 34.

Таблица 34

Условный диаметр трубы и муфты, мм	Диаметр, мм		Толщина стенки, мм	Вес 1 м трубы, кг		Вес муфты, кг	
	наружный	внутренний		гладкой части	увеличение веса одной трубы при высадке обоих концов	гладкой	с высажеными концами
25,4	32	25	3,5	2,46	0,1	—	0,5
32	42,2	35,2	3,5	3,34	0,2	—	0,7
38	48,3	40,3	4	4,39	0,4	0,5	0,8
51	60,3	50,3	5	6,84	0,7	1,3	1,5
63	73	62	5,5	9,16	0,9	2,4	2,8
76	88,9	75,9	6,5	13,22	1,3	3,6	4,2
89	101,6	88,6	6,5	15,22	1,4	4,5	5,0
102	114,3	100,3	7,0	18,47	1,6	5,1	6,3

Пример. Определить предельно допустимую безопасную глубину подвески 73-мм насосных труб из стали марки Е с пределом текучести $\sigma_T = 5500 \text{ кг/см}^2$.

Насосные трубы диаметром 73 мм имеют следующие размеры: наружный диаметр $d_n = 73 \text{ мм}$; внутренний диаметр $d_v = 62 \text{ мм}$; длина трубы $L = 6 \text{ м}$. Вес одной муфты $q_m = 2,8 \text{ кг}$, удельный вес материала трубы $\gamma_m = 7,8 \text{ Т/м}^3$. Коэффициент запаса прочности принят равным $m = 1,5$.

Определяем допустимую нагрузку в наиболее нагруженной части колонны труб у устья

$$\sigma_T F = m \left(FL_{\text{пред}} \gamma_m + \frac{q_m L_{\text{пред}}}{l} \right),$$

где F — площадь поперечного сечения тела трубы в см^2 ; $L_{\text{пред}}$ — предельная глубина спуска труб в см ; γ_m — удельный вес материала труб, равный $7,8 \text{ Г/см}^3$; l — длина труб в см . Из приведенной формулы определим предельно допустимую глубину подвески труб

$$L_{\text{пред}} = \frac{\sigma_T F}{m \left(F \gamma_m + \frac{q_m}{l} \right)} = \frac{5500 \times 0,785 \times (7,3^2 - 6,2^2)}{1,5 \left[0,785 (7,3^2 - 6,2^2) 0,0078 + \frac{2,8}{600} \right]} = 448000 \text{ см} = 4480 \text{ м}.$$

Пример. Найти критическое максимально допустимое число качаний для станка-качалки типа СКНЗ-915 при длине хода точки подвеса штанг $S = 500$ мм и отношения радиуса кривошипа к длине шатуна $r:l = 0,157$.

Максимальное ускорение точки подвеса штанг к балансиру

$$w_{\max} = \frac{S\omega^2}{2} \left(1 + \frac{r}{l}\right) = \frac{S\pi^2 n^2}{1800} \left(1 + \frac{r}{l}\right) = \frac{0,5 \times 3,14^2 \times 1,157}{1800} n^2 = 0,0031 n^2,$$

где ω — угловая скорость кривошипа.

Во избежание аварии в станках-качалках не допускается превышение ускорения штанг над ускорением силы тяжести.

Число качаний, при котором отношение ускорений равно единице, называется критическим.

$$\frac{w_{\max}}{g} = 1.$$

$$\frac{0,0031 n_{\text{кр}}^2}{9,81} = 1 \quad n_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{9,81}{0,0031}} = 56 \text{ об/мин.}$$

У существующих балансирных индивидуальных приводов глубиннонасосных установок фактор динамичности практически не переходит за пределы $m = 0,5$. При данном факторе динамичности максимально допустимое число качаний для станка-качалки типа СКНЗ-915 при длине хода $S = 500$ мм будет равно

$$n_{\max} = \sqrt{\frac{0,5 \times 9,81}{0,0031}} = 40 \text{ об/мин.}$$

§ 18. ДЕБИТ СКВАЖИНЫ И ГЛУБИНА СПУСКА НАСОСА

При эксплуатации скважины глубинным насосом наименьшее забойное давление определится из равенства

$$(p_{\text{заб}})_{\min} = \frac{(l_{\min} + b)\gamma}{10},$$

где l_{\min} — наименьшая глубина погружения насоса под динамический уровень в скважине в м; b — вскрытая часть пласта в м; γ — удельный вес жидкости в скважине.

При определении максимального дебита скважины величину l_{\min} нужно принимать как можно меньшей, лишь для обеспечения нормального заполнения жидкостью цилиндра насоса при всасывании.

Таким образом, минимальное забойное давление при эксплуатации насосных скважин будет в том случае, когда насос спущен до фильтра, а динамический уровень находится немного выше приема насоса.

Согласно формуле, дебит равен

$$Q = k (p_n - p_{\text{заб}})^m \text{ т/сутки},$$

где p_n — пластовое давление в кг/см^2 ; $p_{\text{заб}}$ — забойное давление, т. е. давление на забое столба жидкости в скважине во время эксплуатации, в кг/см^2 ; k — коэффициент продуктивности пласта, равный дебиту скважины при депрессии $p_n - p_{\text{заб}}$, т. е. 1 кг/см^2 , в $\text{т/сутки} \cdot \text{ат}$; m — показатель степени, характеризующий фильтрационные свойства пласта.

Максимальный дебит для насосной скважины определится из следующего равенства:

$$Q_{\max} = k \left[p_{\pi} - \frac{\gamma}{10} (l_{\min} + b) \right]^m$$

или

$$Q_{\max} = k \left[\frac{\gamma}{10} (H - h_c - l_{\min} - b) \right]^m \text{ м/сутки,}$$

где H — глубина скважины в м; h_c — глубина статического уровня от устья скважины в м.

Пластовое давление p_{π} может быть определено замером глубинным манометром при статическом уровне жидкости в скважине.

Удельный вес жидкости γ в скважине по известной величине пластового давления p_{π} можно определить по формуле

$$\gamma = \frac{10 p_{\pi}}{(H - h_c)},$$

где H — глубина скважины в м.

Зная величину Q_{\max} , определяют оптимальный дебит Q в зависимости от физических свойств породы пласта и других условий эксплуатации.

Требуемая глубина динамического уровня h_d для заданного оптимального дебита определяется по формуле

$$h_d = \frac{10}{\gamma} \left(\frac{Q}{k} \right)^{\frac{1}{m}} + h_c.$$

Необходимая глубина спуска насоса в скважину находится из равенства

$$L = h_d + l,$$

где L — глубина спуска насоса от устья скважины в м; l — глубина погружения насоса под динамический уровень в м. Обычно в условиях эксплуатации водяной скважины величину l можно принимать равной 10—15 м.

Выбор оборудования для эксплуатации скважин глубинными штанговыми насосами

Подземное и наземное оборудование скважины должно соответствовать оптимальному дебиту, установленному на основе данных исследования скважины на приток.

Необходимая глубина спуска насоса, его размеры и основные параметры работы станка-качалки должны обеспечить заданный отбор жидкости, при котором положение динамического уровня будет соответствовать притоку жидкости из пласта в объеме оптимального дебита.

Для обеспечения подачи жидкости в заданном объеме, в особенности при значительной глубине спуска насоса, следует также учитывать потерю длины хода плунжера от растяжения штанг и труб.

Определение производительности глубинного насоса

Производительность глубинного насоса одинарного действия определяется из равенства

$$Q = \frac{D^2 S_0 n \eta_v}{8,84} \text{ м}^3/\text{сутки},$$

где D — диаметр плунжера насоса в см ; S_0 — длина хода сальникового штока в м ; n — число качаний балансира станка в 1 мин ; η_v — общий коэффициент подачи насоса с учетом хода плунжера от растяжения штанг и труб.

По этой формуле определяют дебит скважины при круглосуточной работе скважины. Если скважина работает периодически в течение t ч в сутки, то производительность насоса определяют по формуле

$$Q = \frac{D^2 S_0 n t \eta_v}{212} \text{ м}^3.$$

При определении основных параметров работы станка-качалки (S_0 и n) для извлечения жидкости в объеме оптимального дебита необходимо учитывать общий коэффициент подачи

$$\eta_v = \frac{S}{S_0} \eta,$$

где S — действительный ход плунжера в м ; η — коэффициент подачи, зависящий от качества отбираемой жидкости, изнашиваемости деталей насоса и утечек жидкости; $\frac{S}{S_0}$ — коэффициент подачи, зависящий от потери хода плунжера.

Определение действительной длины хода плунжера

При малых скоростях движения колонны насосных штанг, когда число качаний балансира в 1 мин $n < 8$, действительный ход плунжера определится по формуле

$$S = S_0 - \lambda,$$

где λ — потеря хода плунжера от растяжения штанг и труб под действием давления жидкости в м .

Определение потери хода плунжера

Потеря хода определяется по формуле

$$\lambda = \left(\frac{DL}{5460} \right)^2 \left(\frac{1}{I_m} + \frac{1}{I_r} \right) \text{ м},$$

где D — диаметр плунжера в мм; L — длина колонны насосных штанг в м; $f_{ш}$ — площадь поперечного сечения насосных штанг в см²; $f_{т}$ — площадь поперечного сечения насосных труб в см². В табл. 35, 36 приведены размеры соответственно насосно-компрессорных труб и насосных штанг.

Таблица 35

Номинальный диаметр, мм	38	51	63	76	89	102	146
Наружный диаметр, мм	48,3	60,3	73	88,9	101,6	114,3	146
Внутренний диаметр, мм	40,3	50,3	62	75,9	88,6	100,3	130
Площадь кольцевого сечения трубы $f_{т}$, см ²	5,57	8,68	11,67	16,85	19,45	23,60	34,7
$\frac{1}{f_{т}}$	0,1795	0,115	0,0858	0,0593	0,0515	0,0424	0,0288
Наружный диаметр муфты трубы, мм	55	73	89,5	107	121	132,5	166
	63,5	78	93	114,5	127	141,5	

Примечания. 1. В числителе — диаметр муфты к трубам с гладкими концами, в знаменателе — диаметр муфты к трубам с высаженными наружу концами. 2. Обсадные трубы диаметром 146 мм имеют толщину стенок 7 и 8 мм; в числителе — трубы 146×8 мм, в знаменателе — 146×7 мм.

Таблица 36

Номинальный диаметр штанг, мм	16	19	22	25,4
Диаметр штанг $d_{ш}$, мм	16	19	22	25
Площадь поперечного сечения $f_{ш}$, см ²	2,01	2,83	3,80	4,91
$\frac{1}{f_{ш}}$	0,497	0,353	0,263	0,204
Вес в воздухе 1 м штанг вместе с муфтами, $q_{ш}$, кг	1,668	2,35	3,15	4,075
Наружный диаметр муфты, мм	38	42	46	55

Примечание. Увеличение веса 1 м штанг от муфт и утолщений для всех размеров штанг принято равным 5,7%.

Определение нагрузки на колонну насосных штанг

Общая наибольшая нагрузка P на штанги в точке подвеса их к балансиру состоит из веса колонны штанг, погруженной в жидкость, силы давления жидкости на плунжер и максимума сил, возникающих при возвратно-поступательном движении штанг.

Для расчета нагрузки на колонну насосных штанг при глубине спуска насоса до 2000 м можно пользоваться формулой

$$P = L \left[\frac{\gamma}{9,52} (D^2 - 1,625q_{ш}) + 1,34q_{ш} \right],$$

где L — глубина спуска насоса в скважину в м; γ — удельный вес жидкости в скважине в T/m^3 ; D — диаметр плунжера насоса в см; q_m — вес 1 м штанг в воздухе с учетом веса муфт и утолщений в кг (данные берутся по табл. 37).

Выбор конструкции штанговой колонны

Приравнявая допустимое усилие на одноступенчатую штанговую колонну в точке подвеса ее к балансиру к наибольшей действующей нагрузке P , получим

$$f_m \sigma_d \geq L \left[\frac{\gamma}{9,52} (D^2 - 1,625q_m) + 1,34q_m \right],$$

где σ_d — допустимое напряжение штанг в $кг/см^2$.

Заменяв в приведенном выражении f_m равной ей величиной $1,206q_m$, найдем допускаемое напряжение штанг

$$\sigma_{доп} \geq \frac{L \left[\frac{\gamma}{9,52} (D^2 - 1,625q_m) + 1,34q_m \right]}{1,206q_m}.$$

Если величина $\sigma_{доп}$ получается достаточно близкой к одному из значений, приведенных в табл. 37, то, учитывая возможность получения требуемого сорта штанг, принимают одноступенчатую колонну. При эксплуатации глубоких водяных скважин обычно применяется одноступенчатая колонна, поэтому методика расчета двух- и трехступенчатой колонны здесь не приводится.

Таблица 37

Марка стали	Предел прочности на растяжение $\sigma_{пр}$, $кг/см^2$	Предел текучести σ_T , $кг/см^2$	Предел усталости σ_y , $кг/см^2$	Допускаемое напряжение на растяжение $\sigma_{доп}$, $кг/см^2$	Относительное удлинение, %
1040	6000	3200	2600	1450	16
40У	5700	3200	2900	1500	14
20ХН	8000	6000	2600	1800	10
1340	8000	5000	3500	2050	13
15НМ	6300	5200	4900	2250	19

Выбор диаметра плунжера насоса

При выборе типа станка-качалки и диаметра плунжера по заданной глубине спуска насоса и дебиту жидкости для дебитов больше $125 м/сутки$ обычно пользуются данными табл. 38.

Диаметр плунжера, мм	H	Q	H ₁	H ₂	Q ₁	Q ₂	Шифр станка-качалки
93	—	—	425	275	100	187	СКН5-3015
	< 275	—	—	—	123	200	
120	< 285	—	—	—	184	319	
93	—	—	935	425	125	300	СКН10-3315
	—	—	485	365	300	480	
120	< 365	—	—	—	415	525	

Определение мощности двигателя для станка-качалки

Мощность электродвигателя определяется по формуле

$$N = \frac{QL}{5400\eta},$$

где N — эффективная мощность двигателя в л. с.; Q — дебит скважины в $m/сутки$; L — глубина спуска насоса в m ; η — общий коэффициент насосной установки, обычно принимаемый равным 0,4.

Пример. Выбрать насосное оборудование для эксплуатации скважины с дебитом 520 $m/сутки$ при глубине спуска насоса $L = 300 m$; удельный вес воды в скважине $\gamma = 1,1 \text{ Г/см}^3$.

Задавшим условиям отвечает станок-качалка СКН10-3315 с насосом, имеющим плунжер $D = 120 \text{ мм}$.

Тогда подача составит

$$Q = \frac{Q_1}{\gamma} = \frac{520}{1,1} = 472,7 \text{ м}^3/\text{сутки},$$

где Q_1 — заданная подача в $m/сутки$.

По условиям эксплуатации данной скважины полагаем, что общий коэффициент подачи насоса η_v следует принять равным не более 0,7.

Тогда

$$\eta_v = \frac{8,84Q}{D^2 S_0 n} = \frac{8,84 \times 472,2}{144 S_0 n} = \frac{29}{S_0 n},$$

где $D^2 = 144$ (по табл. 39).

Таблица 39

Диаметр плунжера, D , мм	28	32	38	43	45,5	56	58,5	68	70,5	93	96,4	120
D^2 , см	7,84	10,24	14,44	18,5	20,7	31,36	34,25	46,24	49,75	86,5	93	144
Площадь поперечного сечения F , см ²	6,15	8,04	11,34	14,52	16,27	24,6	26,9	36,3	39,1	67,8	73	113

Примечание. Диаметры $D = 45,5; 58,5; 70,5$ и $96,4$ обозначают диаметры цилиндров манжетных насосов.

Шляф станка-качалки	Наибольшая нагрузка на головку балансира, Т	Длина кодов сальникового штока S_0 , мм	Передающее число редуктора ?	Число качаний балансира в 1 мин			Система уравновешивания
				при скорости вращения вала двигателя, об/мин			
				1450	960	730	
СКН2-615	2	0,3—0,45— —0,6	41,11	15— —12,7— —9,4— —7,1	10—8,4— —6,2—4,7	—	Балансирная
СКН3-1515	3	0,45—0,6— —0,75—0,9— —1,05—1,2— —1,35—1,5	27,73	15—11— —7,1	10—7,3— —4,7	—	
СКН5-3015	5	0,9—1,2— —1,5—1,8— —2,1—2,4— —2,7—3,0	29,75	—	15—11— —6,2	11,5— —8,4—4,7	Комбинированная
СКН10-3315	10	1,2—1,5— —1,8—2,1— —2,4—2,7— —3,0—3,3	29,75	—	15—9—6	11,5— —6,9—4,5	

Для станка-качалки СКН10-3315 из табл. 40 находим: $S_0 = 1,2—1,5—1,8—2,1—2,4—2,7—3,0—3,3$ м; $n = 15—9—6$ качаний в 1 мин (для двигателей со скоростью вращения вала 960 об/мин).

Принимаем $S_0 = 2,7$ м и $n = 15$ качаний в 1 мин. Тогда

$$\eta_p = \frac{29}{2,7 \times 15} \approx 0,64,$$

т. е. выбранные значения S_0 и n соответствуют выбранной величине общего коэффициента подачи насоса $\eta_p = 0,7$. Полагаем, что для работы насоса подойдет 22-м одноступенчатая колонна насосных штанг.

Допустимое напряжение в точке подвеса штанг к балансиру для этой колонны найдем по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{доп}} &\geq \frac{L \left[\frac{\gamma}{9,52} (D^2 - 1,625q_m) + 1,34q_m \right]}{1,206q_m} = \\ &= \frac{300 \left[\frac{1,1}{9,52} (144 - 1,625 \times 3,15) + 1,34 \times 3,15 \right]}{1,206 \times 3,15} = 1595 \text{ кг/см}^2. \end{aligned}$$

По табл. 37 выбираем штанги из стали марки 20ХН с допустимым напряжением на растяжение 1800 кг/см².

Найдем наибольшую нагрузку на штанги по формуле

$$\begin{aligned} P &= L \left[\frac{\gamma}{9,52} (D^2 - 1,625q_m) + 1,34q_m \right] = \\ &= 300 \left[\frac{1,1}{9,52} (144 - 1,625 \times 3,15) + 1,34 \times 3,15 \right] = 6060 \text{ кг} \end{aligned}$$

(данные q_m берем из табл. 36).

Наибольшая нагрузка на станок-качалку СКН10-3315 10 000 кг; следовательно, станок будет загружен на

$$\frac{6060}{10\,000} = 60,6\%.$$

Мощность двигателя для станка-качалки определим по формуле

$$N = \frac{QL}{54\,000\eta} = \frac{520 \times 300}{54\,000 \times 0,4} = 72 \text{ квт}.$$

По каталогу электродвигателей выбираем двигатель мощностью 72 квт или ближайший бóльший, со скоростью вращения 960 об/мин.

Глава VIII

РАСЧЕТЫ, СВЯЗАННЫЕ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ВОДОПРИТОКА

§ 1. ПРИМЕНЕНИЕ ТОРПЕДЫ ИЗ ДЕТОНИРУЮЩЕГО ШНУРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ФИЛЬТРОВ

Иногда при опробовании скважин на воду, оборудованных фильтрами различной конструкции, получается явно заниженный дебит воды, что можно объяснить или недостаточной разглинизацией водоносного горизонта, или засоренностью отверстий фильтра частицами пород глин.

Снижение дебита воды из скважин, оборудованных фильтрами, наблюдается также во многих случаях в процессе их эксплуатации, что также можно объяснить засоренностью ячеек фильтра.

Существующие методы по очистке фильтров малоэффективны и не дают положительных результатов. Иногда приходится затрачивать значительные суммы на работы по замене фильтров или на переоборудование скважины.

В настоящее время успешно проводятся работы по увеличению дебита воды из скважины, а также по очистке фильтров с помощью взрыва из детонирующего шнура, спущенных в фильтровую колонну труб и установленных против ее фильтровой части. Впервые эффект взрыва при работах по освобождению прихваченного бурильного инструмента и очистке фильтров был использован в нефтяных скважинах. Этот эффект достигается вследствие действия ударных волн, возникающих при взрыве длинных зарядов из детонирующего шнура, размещенных по оси скважины.

В момент взрыва жидкости передается ударная волна, распространяющаяся в радиальном направлении, которая разрушает осадок, засоривший отверстие фильтра. Ударная волна, встречаясь с преградой, частично отражается, а часть ее проходит в затрубное пространство и действует на стенки скважины. Поэтому торпеды из детонирующего шнура применяют также и при освоении скважин, пробуренных роторным способом на большой приток воды, используя эффект взрыва по разглинизации водоносного горизонта, т. е. взрыв разрушает глинистую корку, образовавшуюся на стенках

Работы	Характеристика фильтров		Диаметр проволоки, мм	Состав водовмещающих пород	Количество параллельных отрезков шнура на один взрыв	Рекомендуемое количество взрывов в одном интервале			
	материал	диаметр, мм							
Разглин- зация скважин, вышедших из бурения	Все виды ме- таллических сеток	102—152	До 2 Свыше 2	Песок мелко-, средне- и крупнозер- нистый	1	1			
		209 и более			1	1			
		Проволочный каркасно- стержневой			102—152	До 2 Свыше 2	Песок средне- и крупнозер- нистый	1 1 1	1 1—2 1—2
Восстано- вление скважин, снизивших дебит в процессе эксплуата- ции	Проволочный на перфориро- ванную трубу	102—152	До 2 Свыше 2	То же	1	1			
		203 и более			1—2	1—2			
		Перфориро- ванная труба (щелевая), не обсажена зона фильтра			102—152	До 2 Свыше 2	Гравий, валуны скальные, полускаль- ные породы	2—3 3—5	1 1—2
		203 и более			1	1			
		Сетчатый без засыпки			102—152	До 2 Свыше 2	Песок мелко- и крупнозер- нистый	1 1	1 1
		203 и более			1	2			
		Сетчатый с гравийной засыпкой			102—152	До 2 Свыше 2	То же	1 1	1 2
		203 и более			1	2			
		Проволочный, каркасно- стержневой без гравийной засыпки			До 152	До 2 Свыше 2	Песок, галька, гравий	1 1—2 1 1—2	1 1—2 2 2
		203 и более			1	1			
Проволочный на перфориро- ванной трубе без гравийной засыпки	До 152	До 2 Свыше 2	То же	1 1—2 1—2 2	1 1—2 1—2 1—2				
203 и более	1	1							
Проволочный каркасно- стержневой с гравийной засыпкой	До 152	До 2 Свыше 2	»	1 1—2 2 2	1 1—2 1 1—2				
203 и более	1	1							
Проволочный на перфориро- ванном карка- се с гравий- ной засыпкой	До 152	До 2 Свыше 2	Галька, гравий	1 1—2 1—2 2	1 1—2 1—2 1—2				
203 и более	1	1							

Работы	Характеристика фильтров		Диаметр проволоки, мм	Состав водовмещающих пород	Количество параллельных отрезков шнура на один взрыв	Рекомендуемое количество взрывов в одном интервале
	материал	диаметр, мм				
	Перфорированная труба (щелевая)	До 152 203 и более	До 2 Свыше 2	Гравий, галька, валуны, скальные и полускальные породы	2—3 3	1 1
	Необсаженная фильтровая зона		До 2 Свыше 2	Скальные и полускальные породы	3—5	1—2

Примечания: 1. Работы в сетчатых и проволочных фильтрах проводятся с обязательным центрированием торпеды.

2. Нежелательно проведение работ в скважинах, обсаженных асбоцементными трубами, фильтры которых имеют надфильтровую часть меньше 3—5 м.

3. В скважинах, работающих длительное время и имеющих агрессивные воды, при взрывах возможны порывы сетки фильтров.

4. Электродетонатор или взрывной патрон располагать от мест сварки и за пределами фильтра не менее чем на 0,5 м.

5. При наличии свободного отстойника и склонной к повреждению надфильтровой части желательно электродетонатор или взрывной патрон располагать в отстойнике.

6. В чугунных и керамических фильтрах работы не проводить.

7. При гидростатическом давлении 50 кг/см² иногда допускается увеличение заряда по сравнению с рекомендованным на один шнур.

скважины в процессе бурения с применением в качестве промывочной жидкости глинистого раствора.

В настоящее время проведено очень большое количество взрывов торпеды в водяных скважинах, оборудованных как проволочными, так и сетчатыми фильтрами. Полученные результаты проведенных взрывов на буровых скважинах на воду свидетельствуют об огромной эффективности этого способа очистки фильтров и разглинизации водоносных горизонтов. Этот эффект можно использовать при ремонтных работах по восстановлению дебитов водяных скважин, свизившихся в процессе эксплуатации.

Зарядом служит детонирующий водостойкий шнур. Длина торпеды соответствует длине фильтра. При определении количества ниток шнура необходимо учитывать структуру водовмещающих пород, размеры и конструкцию фильтра, материал обсадной колонны. При расчете требуемого количества ниток шнура нужно пользоваться данными табл. 41.

§ 2. ТОРПЕДИРОВАНИЕ СКВАЖИН ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВОДОПРИТОКА

Если водоносные пласты представлены твердыми скальными породами или крепкими известняками, то для увеличения водопритока из водоносных горизонтов можно проводить торпедирование. Торпедирование торпедами ТШ пластов, сложенных проницаемыми и рыхлыми песчаниками, а также глинистыми разностями, малоэффективно, а иногда и вредно.

Для проведения торпедирования в скважинах применяются торпеды ТШ, фугасного действия с зарядом из шашек флегматизированного гексогена. Характеристики торпед приведены в табл. 42.

Т а б л и ц а 42

Торпеда	Характеристика заряда				Габариты торпеды, мм		
	диаметр, мм	длина, мм	вес ВВ на 1 м, кг	вес заряда торпеды, кг	диаметр		длина оболочки без груза
					без цен- трагора	с центра- тором	
ТШ-35	35	2020	1,5	2,9	40	60	2375
ТШ-43	43	1440	2,3	3,3	48	110	1805
ТШ-50	50	1470	3,0	4,5	55	110	1835
ТШ-65	65	990	5,2	5,2	70	130	1355
ТШ-84	84	600	8,2	4,9	90	150	985

В породе против места взрыва радиально распространяются вертикальные трещины, длина которых зависит от диаметра заряда. Выбор диаметра заряда определяется диаметром скважины, свойствами пласта и желаемым эффектом торпедирования. Для качественного вскрытия пласта торпедированием целесообразно применять заряды с отношением $d_3/D_{скв} = 0,32$, где диаметры заряда и скважины в см.

Размеры образующихся при взрыве каверн $D_{кав}$ для пород средней твердости могут быть приближенно подсчитаны по формуле

$$D_{кав} = (3 - 4) d_3.$$

Длину заряда торпеды определяют по формуле

$$l = \frac{q}{\frac{\pi}{4} d_3^2 \gamma},$$

где l — длина заряда торпеды в см; q — предельно допустимый вес заряда торпеды в г (для мощных ВВ = 5000 г, для слабых — 7000 г); γ — плотность ВВ в $г/см^3$ (для прессованного гексогена 1,65 $г/см^3$).

При $q = 5 \text{ кг}$ получаем, что

$$l = \frac{3855}{d^2}.$$

При подготовке к торпедированию необходимо учитывать следующее:

1) не рекомендуется торпедировать, если столб жидкости над торпедой меньше 10 м ;

2) необходимо учитывать гидростатическое давление в скважине, так как при повышении гидростатического давления действие взрыва на породу уменьшается;

3) место взрыва должно быть расположено на расстоянии не менее 10 м от башмака колонны;

4) эффект взрыва тем больше, чем меньше зазор между стенками скважины и корпусом торпеды;

5) при торпедировании пласта большой мощности взрывы производят на различных глубинах несколькими торпедами, расстояние между зарядами соседних торпед при последовательном их подрыве не менее $40\text{--}70 \text{ см}$;

6) при выборе расположения заряда торпеды относительно пласта целесообразно, чтобы торпеда находилась на расстоянии 50 см от кровли и подошвы пласта.

В исключительных случаях можно применять торпеды, вес которых превышает предельно допустимые нормы веса зарядов торпед.

§ 3. РАСЧЕТ СОЛЯНОКИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ ФИЛЬТРОВ

Химическая обработка скважин как способ увеличения отдачи пласта и очистки фильтров широко применяется в практике бурения водяных скважин. Известковые породы растворяют кислотой, увеличивая проницаемость призабойной зоны пласта, а также разрушают глинистую корку, образовавшуюся при бурении на стенках скважины в пределах эксплуатационного горизонта. В том и другом случае основная цель — уменьшение сопротивления движения воды из пласта в скважину и увеличение производительности скважины.

При эксплуатации скважин проходные отверстия фильтра постепенно зарастают, в результате чего снижается их скважинность. В этих случаях необходимо применять кислотные промывки (соляная кислота концентрацией от 10 до 15% с добавлением к ней $1\text{--}1,5\%$ по объему ледяной уксусной кислоты).

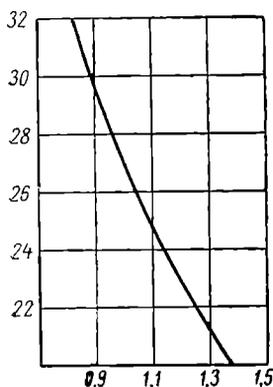


Рис. 23. Кривая для пересчета объема разведенной кислоты.

Для приготовления раствора из соляной кислоты, имеющей концентрацию больше или меньше 27%, необходимо вначале определить, какой объем кислоты этой концентрации соответствует 1 м³ 27%-ной кислоты.

Пример. Приготовить 7 м³ 10%-ной кислоты из кислоты, содержащей 22% HCl. В соответствии с табл. 43 необходимо взять 2,38 м³ 27%-ной HCl и 4,62 м³ воды.

Таблица 43

Объем разведенной кислоты, м ³	Количество HCl и воды в м ³ , необходимое для получения растворов при концентрации разведенной кислоты, % вес.										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.17	0.20	0.24	0.27	0.31	0.34	0.38	0.41	0.45	0.48	0.51
	0.83	0.80	0.76	0.73	0.69	0.66	0.62	0.59	0.55	0.52	0.49
2	0.33	0.41	0.47	0.54	0.61	0.68	0.76	0.83	0.89	0.96	1.02
	1.67	1.59	1.53	1.46	1.39	1.32	1.24	1.17	1.11	1.04	0.98
3	0.50	0.61	0.71	0.81	0.92	1.02	1.13	1.24	1.35	1.44	1.54
	2.50	2.39	2.29	2.19	2.08	1.98	1.87	1.76	1.65	1.56	1.46
4	0.66	0.82	0.94	1.08	1.22	1.36	1.51	1.66	1.79	1.92	2.05
	3.34	3.18	3.06	2.92	2.78	2.64	2.49	2.34	2.21	2.08	1.95
5	0.83	1.02	1.18	1.35	1.53	1.70	1.89	2.07	2.25	2.43	2.60
	4.17	3.98	3.82	3.65	3.47	3.30	3.11	2.93	2.75	2.57	2.40
6	1.00	1.22	1.42	1.62	1.83	2.04	2.27	2.48	2.69	2.90	3.08
	5.00	4.78	4.58	4.38	4.17	3.96	3.73	3.52	3.31	3.10	2.92
7	1.16	1.42	1.65	1.88	2.14	2.38	2.64	2.89	3.14	3.42	3.59
	5.84	5.58	5.35	5.12	4.86	4.62	4.36	4.11	3.86	3.58	3.41
8	1.33	1.63	1.88	2.16	2.44	2.72	3.02	3.32	3.58	3.84	4.10
	6.67	6.37	6.12	5.84	5.56	5.28	4.98	4.68	4.42	4.16	3.90
9	1.50	1.83	2.12	2.43	2.75	3.06	3.40	3.72	4.04	4.35	4.65
	7.50	7.17	6.88	6.57	6.25	5.94	5.60	5.28	4.96	4.65	4.35
10	1.66	2.03	2.36	2.70	3.05	3.40	3.73	4.13	4.50	4.86	5.20
	8.34	7.97	7.64	7.30	6.95	6.60	6.27	5.87	5.50	5.14	4.80
20	3.32	4.06	4.72	5.40	6.10	6.80	7.46	8.25	9.00	9.70	10.40
	16.88	15.94	15.28	14.60	13.90	13.20	12.54	11.75	11.00	10.30	9.60
30	5.0	6.1	7.1	8.1	9.2	10.2	11.2	12.4	13.5	14.6	15.6
	25.0	23.9	22.9	21.9	20.8	19.8	18.8	17.6	16.5	15.4	14.4
40	6.6	8.1	9.4	10.8	12.2	13.6	14.9	16.5	18.0	19.4	20.8
	33.4	31.9	30.6	29.2	27.8	26.4	25.1	23.5	22.0	20.6	19.2
50	8.3	10.2	11.8	13.5	15.3	17.0	18.7	20.7	22.5	24.3	24.0
	41.7	39.8	38.2	36.5	34.7	33.0	31.3	29.3	27.5	25.7	26.0

Примечание. В числителе — 27%-ная HCl, в знаменателе — вода (включая добавки).

Согласно рис. 23 1 м³ 27%-ной HCl соответствует 1,25 м³ кислоты 22%-ной концентрации. Для приготовления 7 м³ раствора 10%-ной концентрации необходимо взять следующее количество 22%-ной кислоты:

$$2,38 \times 1,25 = 2,97 \text{ м}^3.$$

Количество воды, необходимое для получения 7 м³ раствора заданной концентрации, будет

$$7 - 2,97 = 4,03 \text{ м}^3.$$

Концентрация полученной кислоты проверяется ареометром.

§ 4. РЕАГЕНТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СОЛЯНОКИСЛОТНЫХ ОБРАБОТКАХ

Ингибиторы — химикаты, вводимые в раствор соляной кислоты для уменьшения коррозионного действия кислоты на металлические трубы; наиболее распространенными ингибиторами являются формалин и уникол. На 1 т 10%-ной кислоты добавляют 6 кг формалина; на 1 т 27%-ной кислоты, находящейся в растворе, добавляют следующее количество уникола; марки У-2 — 5%, У-К — 0,125%, М-Н — 1,0%. В качестве ингибиторов соляной кислоты необходимо использовать вещества, разрешенные Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Министерства здравоохранения СССР.

Стабилизаторы вводятся в раствор соляной кислоты для предупреждения выпадения из раствора окислов железа, если они имеются в растворе. Стабилизатором служит уксусная кислота, количество которой находят по табл. 44.

Бланкеты — реагенты, служащие для изоляции нижней водяной части пласта от воздействия кислоты, в качестве бланкетов принимается раствор хлористого кальция удельного веса не ниже 13 г/см³.

Таблица 44

Концентрация HCl, %	Добавки уксусной кислоты при содержании Fe ₂ O ₃ в соляной кислоте, %				
	1	0,5	0,2	0,1	0,05
	Добавка 10%-ной уксусной кислоты, % объема.				
10	1,6	1,4	1,0	0,9	0,8
15	1,8	1,5	1,0	0,9	0,8

Продолжительность закачки раствора в скважину во всех случаях должна быть возможно меньшей.

Зависимость между продолжительностью закачки кислоты, ее концентрацией и удельным дебитом скважины приближенно можно выразить формулой

$$h = \frac{V}{qT},$$

где h — концентрация кислоты в %; V — объем раствора кислоты, закачиваемого в скважину за один прием, в м³; q — удельный дебит скважины в м³/ч; T — время закачивания кислоты в скважину в ч (колеблется от 0,5 до 1).

При определении необходимого объема кислоты при хорошей водопроницаемости пород или же при повторной обработке принимают $h = 5 \div 8\%$ и $T = 0,5$ ч; при слабой проницаемости пород (безводные скважины) при том же времени закачки принимают $h = 20\%$ и более. Кислоту подают в скважину с помощью бурового насоса или самотеком.

Глава IX

РАСЧЕТЫ НАЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ

§ 1. РАСЧЕТ БУРОВЫХ ВЫШЕК

Буровая вышка должна отвечать следующим требованиям:

1) выдерживать необходимую грузоподъемность, т. е. нагрузка на вышку не должна превышать грузоподъемность, указанную в паспорте;

2) обеспечивать необходимые безопасные и высокопроизводительные условия труда.

В процессе бурения скважины на вышку действуют нагрузки: на крюке от веса бурильного инструмента или колонны обсадных труб, натяжения ходового и глухого концов каната, веса подвижной части талевого системы и веса кронблока. Вышку необходимо выбирать по необходимой грузоподъемности и высоте. Нагрузки, действующие на вышку, выражаются формулой

$$Q_v = P_k + P_0 + P_1 + P_{т.с.} + P_{кб},$$

где P_k , P_0 и P_1 , $P_{т.с.}$, $P_{кб}$ — нагрузки соответственно на крюк, от натяжения ходового и глухого концов каната, веса талевого системы и кронблока в кг.

Определение нагрузки на вышку

Пример. Определить наибольшую вертикальную нагрузку на вышку для бурения скважины следующей конструкции: 325-мм кондуктор на глубину 250 м, 219-мм промежуточная колонна на глубину 400 м, 168-мм эксплуатационная колонна на глубину 840 м. Бурят 114-мм бурильным инструментом; утяжеленные бурильные трубы наружным диаметром 146 мм, длиной 80 м.

1. Определим вес наиболее тяжелой колонны труб диаметром 325 мм по формуле

$$P_{к1} = P_1 H + \frac{H}{l} P_2 = 88,7 \times 250 + \frac{250}{10} \times 28 = 22,875 \text{ т},$$

где P_k — вес колонны в кг; P_1 — вес 1 м обсадных труб в кг; H — длина колонны обсадных труб в м; l — длина одной трубы в м; P_2 — вес одной муфты в кг. Вес 219-мм промежуточной колонны труб

$$P_{к2} = 50,6 \times 400 + \frac{400}{10} \times 15 = 20,840 \text{ т}$$

вес 168-мм эксплуатационной колонны труб

$$P_{кз} = 39.9 \times 840 + \frac{840}{10} \times 9.3 = 34.297 \text{ т.}$$

вес 114-мм бурильных труб и 146-мм утяжеленных бурильных труб определяем по формуле

$$P_{к4} = P_1 H_1 + P_2 H_2 = 76.0 \times 23.3 + 80 \times 97 = 25.468 \text{ т.}$$

где P_1 — приведенный вес 1 м бурильной трубы длиной 6 м; H_1 — длина колонны бурильных труб в м; P_2 — вес 1 м утяжеленных бурильных труб в кг; H_2 — длина утяжеленных бурильных труб в м.

Таким образом, наиболее тяжелой колонной следует считать 168-мм эксплуатационную колонну ($P_{кз} = 34 \text{ т.}$)

2. Определяем нагрузку от натяжения ходового конца каната по формуле

$$P_1 = P_k \beta^m \frac{\beta - 1}{\beta^m - 1},$$

где m — число струн, на которых подвешен талевый блок при оснастке 4×5 ($m = 8$); β — коэффициент сопротивления одного ролика талевой системы

$$\beta = 1.02 + 1.04.$$

тогда

$$P_1 = 34\,000 \times 1.04^8 \times \frac{1.04 - 1}{1.04^8 - 1} = 5030 \text{ кг.}$$

3. Определяем нагрузку от натяжения глухого конца каната

$$P_0 = \frac{P_1}{\beta^m} = \frac{5030}{1.04^8} = 3680 \text{ кг.}$$

4. Нагрузку $P_{т.с.}$ — принимаем равной 1100 кг. Таким образом, общая нагрузка на вышку составит

$$Q_v = P_{кз} + P_1 + P_0 + P_{т.с.} + P_{к6} = 34\,000 + 5030 + 3680 + 1100 + 1500 \approx 45\,300 \text{ кг.}$$

Пример. Определить горизонтальную составляющую от веса 45 свечей (длина одной свечи 14 м) 114-мм бурильных труб, поставленных за палец и составляющих с горизонтом угол $\alpha = 86^\circ$ (рис. 24). Палец установлен на высоте $a = 12,5$ м.

Определим общий вес бурильного инструмента — всех свечей

$$G = nql,$$

где q — средний вес 1 м 114-мм бурильных труб (25,6 кг); n — число свечей (45); l — длина одной свечи (14 м). Тогда

$$G = 45 \times 25,6 \times 14 = 16\,200 \text{ кг.}$$

Общий вес трубы G приложен на расстоянии 7 м от нижнего конца бурильных труб. Следовательно, расстояние b будет равно

$$b = \frac{7}{2} \cos \alpha = \frac{14}{2} \times 0.07 = 0,49 \text{ м.}$$

Горизонтальную составляющую от веса свечей определяем из уравнения моментов от веса свеч и реакции верхней опоры относительно точки O

$$w = G \frac{b}{a} = 16\,200 \frac{0,49}{12,5} = 635 \text{ кг.}$$

Определение высоты вышки

Высота вышки равна расстоянию от пола буровой до опорной площадки кронблока. Высота вышки определяется глубиной бурения скважины, способом бурения и скоростью подъема инструмента. При бурении скважин на воду с помощью рассматриваемых буровых установок обычно принимаются свечи длиной от 6 до 12 м. Высота вышки должна превышать длину применяемых свечей на величину, необходимую для размещения талевого блока, крюка, вертлюга и наличия свободного пространства, обеспечивающего безопасное торможение при подъеме крюка.

Высота вышки (в м) определяется по формуле

$$H \geq kl,$$

где l — длина свечи в м; k — коэффициент, учитывающий высоту талевой системы (талевых блока, крюка, вертлюга) и необходимый путь торможения при подъеме блока на максимальной скорости данной конструкции буровой установки. Значение этого коэффициента принимается равным 1,5—1,65. Длина свечи определяется из приведенной формулы

$$l \leq \frac{H}{k}.$$

§ 2. РАСЧЕТ ТРЕНОГИ

Определение сил, действующих на каждую ногу треноги

Треноги применяются при монтажах погружных насосов, ремонтных работах в скважинах, извлечении обсадных колонн из скважин, пробуренных ударно-канатным способом, и в других случаях.

В общем случае вертикальные (вес труб), горизонтальные (ветровые) и наклонные (ходовой конец каната) силы, действующие на треногу, приводятся в пространстве к одной равнодействующей по направлению, не совпадающему с вертикалью. В этом случае силы, действующие на ноги треноги, будут неодинаковыми.

Однако на практике треноги строят с условием, чтобы нагрузка на все три ноги распределялась равномерно. Для этого необходимо, чтобы основание треноги представляло собой равносторонний треугольник, а ходовой и глухой концы каната должны быть направлены под одинаковыми углами к горизонту.

Величину сил, действующих на ноги треноги, можно определить из условия, что алгебраическая сумма проекций составляющих сил P_1, P_2, P_3 на ось OO_1 и проекция равнодействующей этих сил на ту же ось равны между собой (рис. 25).

Направление R и OO_1 совпадают, а силы P_1, P_2, P_3 образуют с осью OO_1 угол α .

Откуда

$$P_1 \sin \alpha + P_2 \sin \alpha + P_3 \sin \alpha = R,$$

так как $P_1 = P_2 = P_3$, то $3P \sin \alpha = R$ или

$$P = \frac{R}{3 \sin \alpha}, \text{ но } \sin \alpha = \frac{h}{l},$$

тогда

$$P = \frac{Rl}{3h},$$

где l и h — соответственно длина и высота ноги треноги в м.

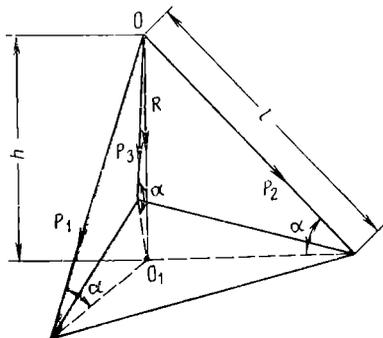


Рис. 25. Схема распределения сил треноги.

Пример. Найти силу, действующую на каждую ногу треноги, если на крюке висит оборудование весом $R = 10 \text{ м}$, длина ноги равна $l = 8 \text{ м}$, а высота треноги $h = 6 \text{ м}$

$$P = \frac{Rl}{3h} = \frac{10 \times 8}{3 \times 6} = 4,4 \text{ м}.$$

Расчет ног треноги на продольный изгиб

Ноги треноги находятся в состоянии сжатия от собственного веса. Периодически они подвергаются значительным изгибающим усилиям (сильный ветер). Кроме статических нагрузок, при спуско-подъемных операциях ноги вышки испытывают динамические нагрузки и подвергаются вибрации.

Однако практически вполне достаточно сделать расчет на продольный изгиб, считая, что ноги обладают малой гибкостью. Тогда критическая сила определяется по формуле Эйлера для второго случая (концы стойки закреплены шарнирно)

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{ml^2},$$

где E — модуль упругости материала в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$; m — коэффициент запаса прочности (для дерева $m = 6 \div 10$, для стали $m = 4 \div 5$); l — длина ноги в см ; I — экваториальный момент инерции в см^4 .

Для круглого сечения

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \cong 0,05d^4.$$

Для кольцевого сечения (трубы)

$$I = \frac{\pi}{4} (d^4 - d_1^4) \cong 0,05 (d^4 - d_1^4),$$

где d — наружный диаметр трубы (бревна) в см; d_1 — внутренний диаметр трубы в см.

Пример. Найти критическую силу для ноги бревенчатой треноги, если $l = 8$ м, диаметр бревен $d = 40$ см, коэффициент запаса прочности принимаем равным $m = 8$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 0,05d^4 = 0,05 \times (40)^4 = 12,8 \times 10^4 \text{ см}^4;$$

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{ml^2} = \frac{3,14^2 \times 1 \times 10^5 \times 12,8 \times 10^4}{8 \times (800)^2} = 24700 \text{ кг}.$$

§ 3. РАСЧЕТ ПЕРЕТАСКИВАНИЯ БУРОВОЙ ВЫШКИ

В практике бурения, когда несколько скважин расположены близко друг от друга, буровые вышки перетаскивают.

Пример. Необходимо передвинуть буровую вышку буровой установки УРБ-4ПМ высотой 21 м и весом 7,4 т.

Вначале определим тяговое усилие для передвижения вышки. Принимая коэффициент трения скольжения металла по грунту в начале движения равным

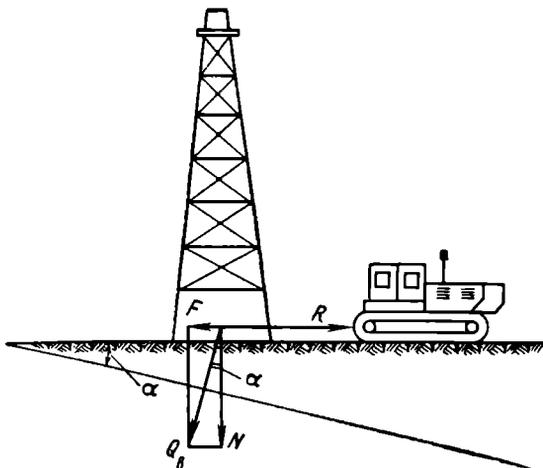


Рис. 26. Передвижение буровой вышки трактором.

для песчаного грунта 0,34, для глинистого грунта 0,77 и для чернозема 0,78, а во время движения — 0,50, получаем необходимое начальное тяговое усилие

$$P_{нач} = 0,77 \times 7400 = 5698 \text{ кг},$$

(принимая коэффициент трения равным 0,77). Тяговое усилие во время движения вышки равно

$$P_{движ} = 0,50 \times 7400 = 3700 \text{ кг}.$$

Указанное тяговое усилие в этом пределе может дать трактор С-80.

Пример. Определить число тракторов типа С-100 мощностью 100 л. с. каждый, необходимое для передвижки вышки буровой установки типа УРБ-4ПМ

весом 7400 кг в неразобранном виде по наклонному ($\alpha = 6^\circ$) глинистому грунту со скоростью $v = 0,843$ м/сек при помощи талевого механизма с одним роликом, имеющим к. п. д. = 0,92.

Необходимую силу тяги R для передвижения вышки (рис. 26) определяем из выражения

$$R = Q_b \sin \alpha + Q_b f \cos \alpha$$

или при передвижении вышки с помощью талевого механизма

$$P_z = \frac{R}{n\eta_0} = \frac{Q_b \sin \alpha + Q_b f \cos \alpha}{n\eta_0},$$

где Q_b — вес вышки в кг; α — угол наклона трассы к горизонту, равный 6° ; f — коэффициент трения скольжения металла по глинистому грунту; равный 0,77; η_0 — к. п. д. талевого механизма; n — число струн оснастки талей, равное 2; z — число тракторов, необходимых для передвижения вышки. P — сила тяги одного трактора равна

$$P = \frac{75N\eta}{v} \text{ кг},$$

где N — мощность трактора в л. с.; η — к. п. д. двигателя; v — ходовая скорость трактора, принимаемая равной 0,843 м/сек.

Тогда

$$P = \frac{75 \times 100 \times 0,86}{0,843} = 7650 \text{ кг}.$$

Для наклонной местности $\sin 6^\circ = 0,104$; $\cos 6^\circ = 0,994$.

Определяем количество тракторов, необходимых для передвижения вышки

$$z = \frac{7400 \times 0,104 + 7400 \times 0,77 \times 0,994}{7650 \times 2 \times 0,92} = 0,5 = 1 \text{ трактор}.$$

§ 4. ВОДОСНАБЖЕНИЕ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

В зависимости от местных условий буровую снабжают технической водой (для приготовления глинистого раствора и прочих нужд) из естественных водоемов или из искусственно созданных водохранилищ. При наличии естественных водоемов для подачи воды к месту работы применяют центробежные или поршневые насосы. От насосной станции к буровой воду подают по водопроводным трубам с допустимым давлением 10 кг/см^2 и скоростью движения воды 1,5—2 м/сек (табл. 45).

Для расчета водопроводной линии от места ее ввода до наивысшей точки водозаборной установки пользуются формулой

$$i = 10,3n^2 \frac{Q^2}{D^{5,33}}$$

или

$$i = 0,0014825 \frac{Q^2}{D^{5,33}},$$

где i — потеря напора на 1 м водопровода в м; n — коэффициент шероховатости, равный 0,013; Q — расход воды в л/сек; D — внутренний диаметр водопровода в мм.

Расход воды, м/сек	Внутренний диаметр водопровода, мм															
	4—100		75		63		50		38		32		25		19	
	100i	v	100i	v	100i	v	100i	v	100i	v	100i	v	100i	v	100i	v
0,1	—	—	0,011	0,02	0,032	0,03	0,13	0,5	0,48	0,084	1,18	0,12	5,18	0,20	22,4	0,35
0,2	—	—	0,045	0,041	0,127	0,06	0,515	0,10	1,94	0,17	4,72	0,23	20,7	0,41	89,7	0,70
0,3	—	—	0,101	0,061	0,287	0,09	1,16	0,15	4,36	0,25	10,6	0,35	46,6	0,61	202	1,06
0,4	—	—	0,179	0,082	0,510	0,12	2,06	0,20	7,74	0,33	18,9	0,47	82,9	0,81	359	1,41
0,5	0,008	0,06	0,28	0,10	0,796	0,15	3,22	0,25	12,1	0,42	29,5	0,53	129	1,02	560	1,76
1,0	0,032	0,13	1,12	0,20	3,18	0,30	12,9	0,51	48,4	0,84	118	1,17	518	2,04	2242	3,53
1,5	0,072	0,19	2,52	0,31	7,17	0,45	28,9	0,76	109	1,26	265	1,75	1166	3,06		
2,0	0,128	0,21	4,48	0,41	12,7	0,60	51,5	1,02	194	1,67	472	2,34				
2,5	0,200	0,32	7,00	0,51	19,9	0,75	80,5	1,27	302	2,09	737	2,92				
3	0,288	0,38	10,1	0,61	28,7	0,90	116	1,53	436	2,51						
4	0,511	0,51	17,9	0,82	50,9	1,20	206	2,04	774	3,35						
5	0,799	0,64	28,0	1,02	79,6	1,51	322	2,55								
6	1,150	0,76	40,3	1,22	115,0	1,81	464	3,06								
7	1,570	0,89	54,9	1,43	156,0	2,11	632	3,56								
8	2,040	1,02	71,7	1,63	204,0	2,41										
9	2,59	1,15	90,7	1,84	258,0	2,71										
10	3,20	1,27	112	2,04	318,0	3,01										
11	3,87	1,40	136	2,24	385,0	3,31										
12	4,60	1,53	161	2,45												
13	5,40	1,66	189	2,65												
14	6,26	1,78	219	2,86												
15	7,19	1,91	252	3,06												
16	8,17	2,04	287	3,26												
17	9,23	2,17														
18	10,31	2,29														
19	11,52	2,42														
20	12,80	2,55														

Примечание. В данной таблице v — скорость воды в м/сек; 100i — потеря напора на 100 м.

§ 5. ПОДСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУРОВОГО НАСОСА

Для промывки скважин применяются буровые насосы, так как они обеспечивают необходимую производительность при увеличении давления. Производительность насосов в зависимости от их типа регулируют изменением числа двойных ходов поршня и применением сменных втулок (гильз) разного диаметра.

При изменении диаметра втулки соответственно меняется давление, развиваемое насосом. Производительность бурового насоса можно также регулировать, сбрасывая часть жидкости через задвижку.

Подача поршневого насоса определяется по формуле

$$Q_{\text{теор}} = \frac{z(2F-f)sn\lambda}{60},$$

где $Q_{\text{теор}}$ — теоретическая производительность насоса в л/сек; z — число цилиндров; F — площадь поперечного сечения поршня (плунжера), равная $\frac{\pi D^2}{4}$, в дм^2 (D — диаметр цилиндра в дм); f — площадь сечения штока, равная $\frac{\pi d^2}{4}$, в дм^2 (d — диаметр штока в дм); s — длина хода поршня в дм ; n — число двойных ходов поршня в 1 мин; λ — коэффициент наполнения, равный $0,75 \div 0,90$.

Коэффициент наполнения λ определяется отношением объема фактически засасываемой насосом жидкости за один ход поршня к расчетному (теоретическому) объему, описываемому поршнем. Величина λ всегда меньше единицы, т. е. буровой насос всегда подает количество жидкости несколько меньше, чем рабочий объем поршня, так как происходят потери жидкости (утечки) вследствие запоздалого открытия и закрытия клапанов; присутствия в цилиндре насоса воздуха, попадающего туда вместе с глинистым раствором; недостаточной плотностью сальников и поршня; неплотности клапанов.

Кроме того, коэффициент наполнения зависит от высоты нагнетания и высоты всасывания, свойств и температуры глинистого раствора, степени изношенности насоса и пр. При расчетах величину λ принимают равной 0,8, если бурят с промывкой водой и маловязкими глинистыми растворами, а при бурении с промывкой глинистыми растворами вязкостью 50—60 сек по СПВ-5 и применением цилиндров малых размеров коэффициент наполнения принимают в пределах 0,5—0,7.

Практически уменьшать производительность бурового насоса в условиях буровой можно лишь сменой цилиндрических втулок, уменьшением числа ходов насоса или снижением скорости вращения двигателя. Важно при проведении буровых работ установить оптимальную производительность буровых насосов.

Техническая характеристика бурового насоса 9Гр приведена ниже.

Диаметр сменных цилиндрических втулок, мм	100; 115; 125
Скорость вращения эксцентрикового вала (число двойных ходов), об/мин	44—90
Производительность (расчетная), л/сек:	
при 90 об/мин	10,8; 14,6; 17,5
» 44 »	5,29; 7,16; 8,54
Максимальное рабочее давление, кг/см ² :	
при 90 об/мин	39, 29, 24
» 44 »	80, 60, 50
Ход поршня, мм	250
Приводная мощность, л. с.	60
Диаметр всасывающей трубы, мм	100
» нагнетательной трубы, мм	50
Передача на эксцентриковый коренной вал колесами с косым зубом	$i = 1 : 5,41$
Опоры валов и шатунов	Подшипники качения
Габариты, мм:	
длина	2630
ширина	1010
высота	1565
Вес, кг	2760

Определение необходимой производительности бурового насоса

Для обеспечения полного выноса разбуренной породы на дневную поверхность необходима возможно бóльшая производительность бурового насоса, однако скорость восходящего потока промывочной жидкости не должна превышать 0,4—0,5 м/сек для предотвращения размыва стенок скважины.

П р и м е р. Определить теоретическую производительность бурового насоса 9МГр.

Дано: число двойных ходов в 1 мин $n = 90$; число цилиндров $z = 2$; диаметр сменных втулок $D = 127$ мм; диаметр штока поршня $d = 45$ мм; диаметр хода поршня $s = 250$ мм.

Тогда

$$Q_1 = z \frac{(2F - f) sn}{60} = 2 \frac{(2 \times 1,26 - 0,16) 2,5 \times 90}{60} = 17,7 \text{ л/сек},$$

где

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 (1,27)^2 = 1,26 \text{ дм}^2;$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = 0,785 (0,45)^2 = 0,16 \text{ дм}^2.$$

Действительная производительность насоса будет

$$Q_d = \eta Q_T = 0,8 \times 17,7 = 14,2 \text{ л/сек}.$$

где η — коэффициент наполнения насоса, колеблется от 0,75 до 0,9 (в нашем примере принимается равным 0,8).

П р и м е ч а н и е. В расчетах принимается следующая размерность: D — в дм, d — в дм, s — в дм, Q — в л/сек.

П р и м е р. Определить теоретическую производительность бурового насоса 9МГр.

Дано: число двойных ходов в 1 мин $n = 90$; число цилиндров $z = 2$; диаметр сменных втулок $D = 80$ мм; диаметр штока поршня $d = 45$ мм; длина хода поршня $s = 250$ мм.
Тогда

$$Q_T = z \frac{(2F - f) sn}{60} = 2 \frac{(2 \times 0,5 - 0,16) 2,5 \times 90}{60} = 6,3 \text{ л/сек},$$

где

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 (0,8)^2 = 0,5 \text{ дм}^2;$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = 0,785 (0,45)^2 = 0,16 \text{ дм}^2.$$

Действительная производительность насоса будет

$$Q_D = \eta Q_T = 0,8 \times 6,3 = 5,04 \text{ л/сек}.$$

Техническая характеристика бурового насоса 11Гр

Производительность, л/сек	5; 3,8
Рабочее давление, кг/см ²	50; 63
Диаметр сменных цилиндрических втулок, мм	90; 80
Ход поршня, мм	150
Число двойных ходов в 1 мин	100
Диаметр всасывающего отверстия, мм	100
Диаметр нагнетательного отверстия, мм	50
Тип передачи	Клиноременная
Потребляемая мощность, л. с.	48
Габариты, мм:	
длина	1930
ширина	990
высота	1250
Вес, кг	1150

Пр и м е р. Определить теоретическую производительность насоса 11Гр.

Дано: Число двойных ходов в 1 мин $n = 90$; число цилиндров $z = 2$; диаметр сменных втулок $D = 80$ мм; диаметр штока поршня $d = 35$ мм; длина хода поршня $s = 250$ мм. Тогда

$$Q_T = z \frac{(2F - f) sn}{60} = 2 \frac{(2 \times 0,5 - 0,096) 2,5 \times 90}{60} = 6,75 \text{ л/сек},$$

Т а б л и ц а 46

Диаметр сменных втулок D , мм	Площадь поршня F , дм ²	Диаметр штока поршня d , мм	Площадь штока f , дм ²
80	0,5024	35	0,0962
90	0,6358	40	0,1257
100	0,7854	45	0,1590
115	1,0362	50	0,1963
120	1,1310	55	0,2376
127	1,2638	60	0,2827

где

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 \times (0,8)^2 = 0,5 \text{ дм}^2;$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = 0,785 \times (0,35)^2 = 0,096 \text{ дм}^2.$$

Действительная производительность насоса будет

$$Q_D = Q_T \eta = 6,75 \times 0,8 = 5,4 \text{ л/сек}.$$

Для буровых насосов, диаметры поршня и штока которых нормализованы, удобно пользоваться данными, приведенными в табл. 46.

Определение гидравлической и приводной мощности насоса

Гидравлическая мощность насоса (в л. с.) равна

$$N_{\Gamma} = \frac{Qp}{7,5},$$

где Q — производительность насоса в л/сек; p — давление нагнетания в кг/см².

Приводная мощность насоса

$$N = \frac{N_{\Gamma}}{\eta} \text{ л. с.}$$

где $\eta = 0,8 \div 0,85$ — общий к. п. д., представляет собой произведение объемного, гидравлического и механического к. п. д.

$$\eta = \eta_0 \eta_{\Gamma} \eta_{\text{м}},$$

каждый из которых учитывает потери, приведенные в табл. 47.

Т а б л и ц а 47

Вид потерь	Место потерь	К. п. д.
Объемные потери напорной жидкости через уплотнения	Манжеты поршня, сальник штока, уплотнение клапана	$\eta_0 = 0,98$
Гидравлические потери на преодоление сопротивлений движению жидкости	Каналы корпуса гидравлической коробки, клапаны	$\eta_{\Gamma} = 0,97$
Механические потери энергии в узлах трения гидравлической части	Поршень, сальник штока, подшипники	$\eta_{\text{м}} = 0,90$

П р и м е р. Определить гидравлическую и приводную мощности насоса, если известно, что производительность насоса $Q = 17,6$ л/сек и давление нагнетания $p = 80$ кг/см²

$$N_{\Gamma} = \frac{Qp}{7,5} = \frac{17,6 \times 80}{7,5} = 187,7 \text{ л. с.}$$

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_{\Gamma}}{\eta} = \frac{187,7}{0,85} = 221 \text{ л. с.}$$

Определение мощности двигателя для привода насоса

Мощность двигателей определяют по формуле

$$N_{\text{дв}} = a \frac{N_{\text{пр}}}{\eta_{\Gamma}} \text{ л. с.},$$

где $N_{\text{пр}}$ — приводная мощность насоса; $a = 1,1 \div 1,2$ — коэффициент, учитывающий возможность перегрузки; для крупных

насосов 1,1, для мелких 1,2; $\eta_r = 0,85 \div 0,75$ — коэффициент полезного действия передачи от двигателя к насосу, представляет собой произведение коэффициентов, учитывающих потери, приведенные в табл. 48

Таблица 48

К. п. д.	Вид потерь	Место потерь
0,95—0,98	Потери энергии в передаче от двигателя к насосу клиновыми ремнями или цепью	Клиноременная передача, подшипники
0,96	Потери энергии в редукторе и в передачах от двигателя к насосу	Подшипники

Пример. Определить мощность, необходимую для привода насоса, если давление нагнетания $p = 76,2 \text{ кг/см}^2$, теоретическая производительность насоса $14,6 \text{ л/сек}$, коэффициент полезного действия передачи от двигателя к насосу $\eta_r = 0,9$.

$$N_{дв} = a \frac{N}{\eta_r} = a \frac{N_r}{\eta_r} = a \frac{\eta_0 Q_r p}{7,5 \eta_r} = 1,2 \frac{0,9 \times 14,6 \times 76,2}{7,5 \times 0,8 \times 0,9} \approx 223 \text{ л. с.}$$

Определение высоты всасывания насоса

Цилиндры насоса заполняются жидкостью под действием избытка атмосферного давления p_0 над давлением в цилиндре p_x , которое в верхней точке рабочей камеры насоса под нагнетательным

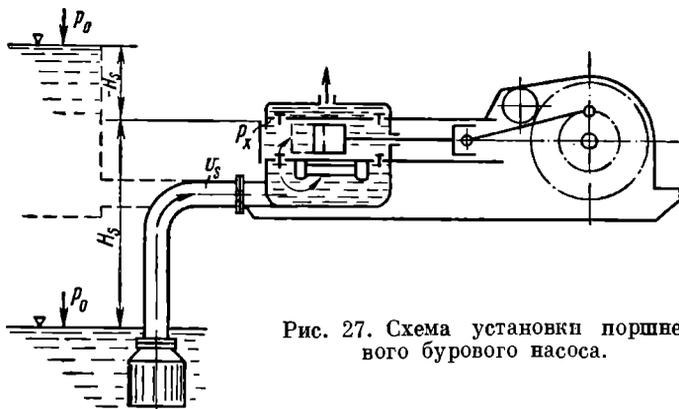


Рис. 27. Схема установки поршневого бурового насоса.

клапаном должно быть больше давления паров жидкости при данной температуре (рис. 27).

Располагаемый напор H определяют по формуле

$$H = \frac{p_0 - p_x}{\gamma} = A_4^{\min} - H_4^{\circ} \text{ м столба глинистого раствора.} \quad (1)$$

Величины $A_{4^{\circ}\text{C}}^{\text{min}}$ и $H_{4^{\circ}\text{C}}^{\text{B}}$ или $H_{4^{\circ}\text{C}}^{\text{H}}$ определяют соответственно по табл. 49 и 50 с использованием данных геодезической съемки или географической карты о высоте местности над уровнем моря, сводок бюро погоды об ожидаемом атмосферном давлении и температуре воздуха, а также прогнозов геологической службы об ожидаемой температуре на забое скважины.

Т а б л и ц а 49

Величина	Высота местности над уровнем моря, м					
	0	500	1000	1500	2000	
$A_{0^{\circ}\text{C}}$, мм рт. ст.	760	716	674	635	598	
$A_{4^{\circ}\text{C}}$, мм вод. ст.	10,33	9,73	9,2	8,6	8,1	
$A_{4^{\circ}\text{C}}^{\text{min}}$, м столба глинистого раствора	$\gamma=1,0$	9,8	9,3	8,7	8,1	7,7
	$\gamma=1,2$	8,2	7,7	7,2	6,7	6,4
	$\gamma=1,4$	7,0	6,6	6,2	5,8	5,5

Примечание. $A_{0^{\circ}\text{C}}$ — высота ртутного столба при 0°C , соответствующая среднему давлению атмосферы; $A_{4^{\circ}\text{C}}$ — высота водяного столба при 4°C , соответствующая среднему давлению атмосферы; $A_{4^{\circ}\text{C}}^{\text{min}}$ — высота столба промывочной жидкости при 4°C различного удельного веса, соответствующая 95% среднего атмосферного давления (с учетом возможного снижения на 5% в зависимости от погоды).

Напор H расходуется:

- 1) на преодоление гидравлических сопротивлений h_1 — во всасывающей трубе при равномерном движении промывочной жидкости, h_2 — в подводящих каналах гидравлической коробки и всасывающем клапане, h_3 — на преодоление инерционных сопротивлений;
- 2) на подъем жидкости (высота всасывания H_s).

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + H_s.$$

Подставляя в это выражение значение H по формуле (1), получим формулу для преодоления допустимой высоты всасывания

$$H_s = A_{4^{\circ}\text{C}}^{\text{min}} - H_{4^{\circ}\text{C}} - h_1 - h_2 - h_3 \text{ м столба глинистого раствора, (2)}$$

где $A_{4^{\circ}\text{C}}$ — определяют по табл. 49; $H_{4^{\circ}\text{C}}$ — по табл. 50; h_1 — для всасывающей трубы без крутых изгибов при длине до 6 м, диаметре не меньше приемного отверстия насоса принимают не более 1 м

Напор, м, глинистого раствора		Температура, °С			
		0	40	50	60
H_{14}^B при	$\gamma = 1,0$	0,100	0,75	1,30	2,00
	$\gamma = 1,2$	0,080	0,62	1,10	1,60
	$\gamma = 1,4$	0,070	0,54	0,93	1,40
H_{14}^H при	$\gamma = 1,0$	—	0,50	0,75	1,10
	$\gamma = 1,2$	—	0,41	0,62	0,92
	$\gamma = 1,4$	—	0,36	0,54	0,79

Примечание. H_{14}^B — напор глинистого раствора в м различного удельного веса, соответствующий давлению паров для раствора на водной основе; H_{14}^H — то же для раствора на нефтяной основе.

столба глинистого раствора; h_2 — определяют по табл. 51; h_3 — по табл. 52, умножая перед подстановкой в формулу (2) на $\frac{\gamma}{1,2}$, где γ — удельный вес глинистого раствора.

Таблица 51

Диаметр поршня	Гидравлические сопротивления h_2 при числе двойных ходов в мин, м						
	30	40	50	60	70	80	90
Максимальный . . .	1	2,0	3,1	4,5	6,2	7,5	—
Минимальный . . .	1	1,2	2,2	3,3	5,0	6,2	9,0

Если высота всасывания отрицательная — H_s , то уровень жидкости в приемном резервуаре должен быть выше нагнетательных клапанов насоса на H_s или жидкость должна поступать в поршневой буровой насос от подпорного центробежного насоса под напором.

Пример. Определить допустимую высоту всасывания бурового насоса в точке бурения.

Дано: высота точки над уровнем моря 1000 м; удельный вес раствора $\gamma = 1,2$ Г/см³, температура раствора на водной основе 40° С; число двойных ходов

Расстояние L , м	Диаметр поршня	Инерционные сопротивления при числе двойных ходов в мин, м					
		30	40	50	60	70	80
1,0	Максимальный	0,30	0,54	0,80	1,2	1,6	2,2
	Минимальный	0,10	0,18	0,28	0,4	0,5	0,7
2,0	Максимальный	0,75	0,80	1,25	1,8	2,4	3,2
	Минимальный	0,15	0,27	0,40	0,6	0,8	1,1

поршня в минуту 70; расстояние от поршня в начале хода всасывания до воздушной полости во всасывающем колпаке $L = 1,0$ м.

По табл. 50—53 и с учетом гидравлических сопротивлений во всасывающей трубе на 1 м находим для поршня максимального диаметра

$$H_g = 7,2 - 0,62 - 2,0 - 0,54 = 4,04 \text{ м.}$$

Аналогично для поршня минимального диаметра получаем

$$H_g = 7,2 - 0,62 - 1,2 - 0,18 - 1 = 4,2 \text{ м.}$$

Из приведенного примера видно, что при установке буровых насосов следует тщательно проверить расчетом возможность работы с положительной высотой всасывания. Превышение допустимой высоты всасывания приводит к чрезмерному снижению коэффициента наполнения, уменьшению гидравлической мощности, работе насоса с ударами и преждевременному повреждению подшипников и других деталей.

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ШКИВАМИ ДВИГАТЕЛЯ И ГЛИНОМЕШАЛКИ

Привод глиномешалки осуществляется от электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания при помощи клиноременной передачи. Расстояние между шкивами двигателя и глиномешалки должен быть не менее

$$l = D_1 + D_2 + 2 \text{ м,}$$

где l — расстояние между шкивами в м; D_1 и D_2 — диаметры шкивов в м.

Определение допустимого расстояния между осями шкивов

Для привода бурового насоса применяются двигатели КДМ-46 (буровая установка УРБ-4ПМ). Насос приводится во вращение при помощи клиноременной передачи, что позволяет уменьшать расстояние между насосом и двигателем, дать меньшее начальное напряжение, обеспечить устойчивое положение ремней и бесшумность

хода. Для всех клиновых ремней рекомендуется скорость 10—20 м/сек, допустимая скорость 30 м/сек.

Наименьшее допустимое расстояние между осями шкивов определяется по формуле

$$l = \frac{D_1 + D_2}{2} + 100 \text{ мм},$$

где l — расстояние между осями шкивов в м; D_1 — диаметр шкива бурового насоса в м; D_2 — диаметр шкива двигателя в м.

§ 7. РАСЧЕТ БУРОВЫХ ШЛАНГОВ

Во избежание перелома шланга высокого давления при перемещении внутри вышки необходимо соблюдать следующее условие:

Т а б л и ц а 53

$$L = 0,5A + \pi R + s,$$

Внутренний диаметр, мм	R , м
До 50	0,9
50—76	1,2
Больше 76	1,4

где L — длина бурового шланга в м; A — расстояние от крайнего нижнего положения вертлюга (над столом ротора или при установке в шурф) до крайнего верхнего положения в фонаре вышки в м; R — минимальный радиус изгиба в м, в зависимости от внутреннего диаметра шланга (табл. 53);

$s = 0,3$ м — запас на укорочение шланга при максимальном давлении нагнетания насосов.

П р и м е р. Определить длину бурового шланга для буровой установки УРБ-4ПМ; высота от низа опорной плиты до оси кронблока вышки равна 21,045 м (рис. 28).

Ход вертлюга внутри буровой вышки определяется разностью между высотой вышки и суммой расстояния от поверхности земли до основания установки ротора (1,120 м), высоты роторного стола (0,30 м), длины до фланца вертлюга (0,40 м), а также необходимого расстояния противозатаскивателя талевого блока на кронблок (2,9 м).

Тогда

$$A = 21,045 - (1,120 + 0,30 + 0,40 + 2,9) = 16,3 \text{ м}.$$

Следовательно, длину резинового бурового шланга для буровой установки следует принять равной

$$L = 0,5 \times 16,3 + 3,14 \times 1,2 + 0,3 = 12,3 \text{ м}.$$

При этом высоту стояка нужно определять по формуле

$$C = 0,5A + B,$$

где C — вертикальная высота стояка в м; A — расстояние между крайним, верхним и нижним положениями вертлюга в м; B — высота от пола буровой при нижнем положении вертлюга до конца шланга, прикрепленного к вертлюгу, в м.

П р и м е р. Расстояние между крайним, верхним и нижним положениями вертлюга $A = 16,3$ м, $B = 0,7$ м.

Тогда высота стояка будет равна

$$C = 0.5 \times 16.3 + 0.7 = 8.85 \approx 9 \text{ м.}$$

Если фактическая длина шланга больше, чем получаемая по формуле, то высота стояка должна быть увеличена на полуразность между действительной и расчетной длиной.

§ 8. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА БУРОВОЙ УСТАНОВКИ УРБ-ЗАМ

От двигателя 2 (рис. 29) осуществляется привод механизмов установки карданным валом 3 через коробку передач 5. На ведущем валу коробки поставлен шкив 19, который передает вращение (клиноременной передачей 17) контрприводу 18 бурового насоса 20. Шкив 19 включается в работу зубчатой муфтой 4.

Коробка передач на ведущем валу имеет три передвижные шестерни, а на ведомом — наглухо посаженные зубчатые колеса. Разные передаточные числа получают переключением шестерен. При I скорости $i_1 = \frac{19}{45} = 0,423$; при II $i_2 = \frac{27}{39} = 0,693$; при III $i_3 = \frac{35}{29} = 1,2$. Обратный ход происходит при включении шестерни первой скорости через промежуточный вал.

Передаточное число обратного хода

$$i = \frac{19 \times 19}{45 \times 45} = 0,178.$$

На конце ведомого вала коробки передач наглухо посажена коническая шестерня, которая входит в зацепление с коническим зубчатым колесом вала привода лебедки. Эта коническая пара имеет передаточное число $i = \frac{29}{37} = 0,785$.

Далее на ведомом валу поставлена зубчатая муфта 6, которая включает вал привода ротора 7. Этот вал соединяется с ведущим валом ротора 10 зубчатой муфтой 9 (выполняющая роль карданного вала), на конце вала наглухо посажена малая коническая шестерня 12, входящая в зацепление с большой конической шестерней роторного стола 11.

Коническая передача ротора имеет передаточное число $i = \frac{16}{80} = 0,2$. Цепная звездочка 15 ($z = 20$) поставлена свободно

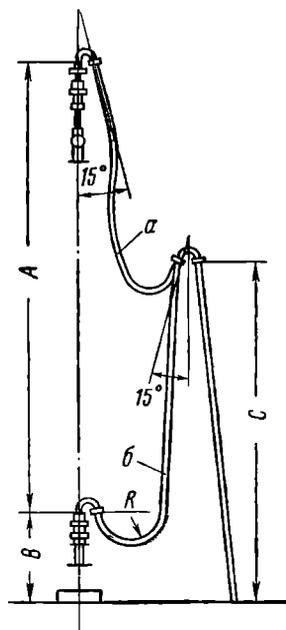


Рис. 28. Схема расположения бурового рукава.

а — при крайнем верхнем положении; *б* — при нижнем положении вертлюга в буровой вышке; *А* — ход вертлюга; *В* — минимальное расстояние фланца вертлюга от пола буровой; *С* — высота стояка.

Для включения в работу агрегатов и переключения скоростей в коробке перемены передач используется фрикционная муфта двигателя Д-54. Такая кинематическая схема позволяет включать в работу каждый агрегат отдельно или все агрегаты вместе.

Грузоподъемность крюка буровой установки УРБ-ЗАМ, а также скорость его подъема (при скорости вращения двигателя 1300 об/мин) на третьем слое каната барабана лебедки приводится в табл. 54.

§ 9. СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ СТОЛА РОТОРА (ДОЛОТА)

В процессе буровых работ буровому мастеру часто нужно подсчитать скорость вращения стола ротора при различной скорости вращения двигателя.

Пр и м е р. Зная скорость вращения первичного вала коробки скоростей буровой установки, передаточные числа различных скоростей, число зубьев конической шестерни роторного валика и на венце ротора, определяют скорость вращения стола ротора по формуле

$$n_{\text{рот}} = \frac{n_1 i_1 z_1}{z_2},$$

где $n_{\text{рот}}$ — скорость вращения стола ротора в мин; n_1 — скорость вращения первичного вала коробки скоростей, для буровой установки УРБ-ЗАМ = 1300 об/мин; i_1, i_2, i_3 — передаточные числа при I, II и III скоростях, соответственно равные 0,423; 0,693; 1,2; i_4 — передаточное число обратной скорости, равное 0,178; z_1 — число зубьев конической шестерни роторного валика, равное 16; z_2 — число зубьев на венце стола ротора, равное 80.

Тогда скорость вращения стола ротора буровой установки типа УРБ-ЗАМ на первой скорости будет равна

$$n_{\text{рот}} = \frac{n_1 i_1 z_1}{z_2} = \frac{1300 \times 0,42 \times 16}{80} = 109 \text{ об/мин.}$$

Соответственно скорости вращения ротора составляют: при II скорости — 189,7; III — 313,4 и IV обратной скорости — 46,3 об/мин.

§ 10. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА БУРОВОЙ УСТАНОВКИ УРБ-4ПМ

Все механизмы буровой установки УРБ-4ПМ приводятся во вращение от двух дизелей фрикционными муфтами 3 с цепными звездочками 4 (рис. 30). От вала отбора мощности 5 вращение цепными передачами сообщается звездочкам 29, которые свободно поставлены на валах 31 и 26 спаривающей трансмиссии. При включении эти валы соединяются зубчатой муфтой 28. Двигатели включаются в работу зубчатыми муфтами 30 и 27. Конец левого вала 31 соединен с карданным валом 32, передающим вращение трансмиссии привода буровых насосов 1. Трансмиссия несет два свободно посаженных шкива 33, включаемых зубчатыми муфтами 34 и 35. На конце правого вала 26 свободно вращается шкив 25 для привода генератора 6; шкив включается зубчатой муфтой 24.

Вал 26 муфтой 23 соединен с главным фрикционом 22, поставленным на ведущем валу коробки передач 21. На этом же валу

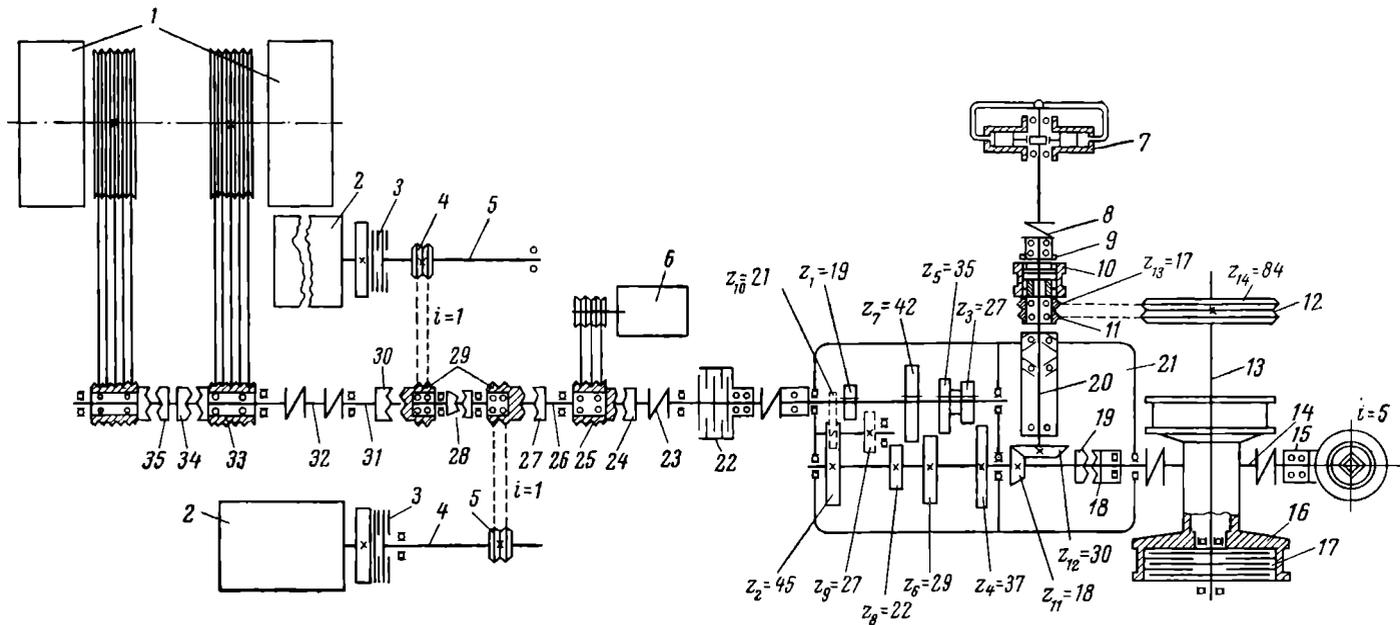


Рис. 30. Кинематическая схема буровой установки УРБ-4ПМ.

смонтированы четыре передвижные шестерни, причем шестерни II и III скоростей заблокированы. На ведомом валу наглухо посажены четыре шестерни. Зацепление шестерни ($z_1 = 19$) ведущего вала с шестерней ($z_2 = 45$) ведомого вала обеспечивает первую скорость с передаточным числом $i_1 = 2,37$. При зацеплении шестерен с числом зубьев $z_3 = 27$ и $z_4 = 37$ достигается вторая скорость ($i_2 = 1,37$), шестерен с числом зубьев $z_5 = 35$ и $z_6 = 29$ — третья скорость ($i = 1,205$). При зацеплении шестерен с числом зубьев $z_7 = 42$ и $z_8 = 22$ обеспечивается четвертая скорость ($i_4 = 0,525$).

Обратный ход дает зацепление шестерни ($z_1 = 19$) ведущего вала с шестерней ($z_9 = 29$) промежуточного вала, который соединяется с шестерней, имеющей число зубьев $z_{10} = 21$ с шестерней ведомого вала ($z_2 = 45$). При этом получаем передаточное число обратного хода $i_{об.хода} = 3,02$. На ведомом валу посажена коническая шестерня ($z_{11} = 18$), которая находится в постоянном зацеплении с шестерней ($z_{12} = 30$) вала 20 привода лебедки, передаточное число которой равно $i_{ред} = 1,67$. Конец ведомого вала также несет зубчатую муфту 19 для включения вала 18 привода ротора. Этот вал карданом 14 соединен с ведущим валом ротора 15.

Ротор имеет коническую пару с числом зубьев $z = 16$ и $z = 80$, образующую конический редуктор с передаточным числом $i_{рот} = 5$. На валу привода лебедки свободно вращается цепная звездочка 11 ($z_{13} = 17$), включаемая в работу двухсторонней зубчатой муфтой 10. При соединении этой муфты со звездочкой 11 цепная передача приводит во вращение вал лебедки 13 с цепным колесом 12 ($z_{14} = 84$). Передаточное число на вал лебедки равно $i_{леб} = 4,94$.

На валу 13 на шарикоподшипниках свободно поставлен барабан 16, включаемый фрикционной муфтой 17. На конце вала привода лебедки смонтирована муфта 9 привода гидравлического механизма подачи 7, соединенного через муфту 8. Передвижением его в сторону муфтой 10 включается механизм подачи, эта муфта позволяет

Таблица 55

Средняя скорость передач	Скорость вращения, об/мин			Средняя скорость наматки ходового конца каната, м/сек	Скорость подъема крюка в м/сек при оснастке		
	ведомого вала коробки передач	ротора	барабана лебедки		2 × 1	3 × 2	4 × 3
I	422	85	52	1,36	0,680	0,340	0,280
II	730	146	89	2,33	1,165	0,585	0,388
III	1205	241	147	3,85	1,925	0,963	0,642
IV	1905	382	232	6,08	3,040	1,520	1,010
Обратная	328	65,8	40	—	—	—	—

Примечание. Скорость вращения двигателя принимается равной 1000 об/мин.

лебедке работать при отключенном механизме подачи. От вала лебедки цепной передачей с 17-ю зубьями на колесе осуществляется привод вала, на котором устанавливаются шпильная и безопасная катушки. В табл. 55 приводится характеристика привода ротора и лебедки.

Поднимать бурильный инструмент из скважины рекомендуется всегда на максимальной скорости. Для этого необходимо использовать установочную мощность дизелей и скорости коробки передач. В табл. 56 приводятся данные режима подъема инструмента из скважины.

Таблица 56

Показатели	Талевая оснастка 2×3				Талевая оснастка 3×4			
	Скорость коробки передач							
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Грузоподъемность на крюке, т:								
при одном дизеле	16,2	9,4	5,7	3,6	19,8	13,0	7,85	4,98
при двух дизелях	27,6	16,0	9,7	6,1	33,7	22,1	13,4	8,5
Скорость подъема крюка, м/сек	0,34	0,585	0,963	1,52	0,28	0,388	0,642	1,01

Примечания. 1. Для расчетов принят общий к. п. д. = 0,790 при оснастке 2×3 и 0,722 при оснастке 3×4. 2. Коэффициент работы дизелей $k = 0,85$.

§ 11. РАСЧЕТ СТАЛЬНОГО КАНАТА НА ПРОЧНОСТЬ

При спуско-подъемных операциях для облегчения конструкции механизмов, сокращения мощностей двигателей применяются системы из нескольких подвижных и неподвижных роликов и блоков — талевые системы, на которых должен основываться стальной канат. При расчете стального каната на прочность нужно исходить из допустимой рабочей нагрузки на канат и максимальной нагрузки на подъемный крюк талевой системы установки.

Стальные канаты

Стальные канаты изготавливают из стальной проволоки с временным сопротивлением разрыву от 130 до 180 кг/см². Проволока для каната может быть оцинкованная или светлая (неоцинкованная). Оцинковка предохраняет канат от разрушающего действия атмосферных влияний, но вследствие того, что она проводится в горячем состоянии, механические свойства проволоки снижаются.

По роду, направлению и виду свивки изготавливают канаты обыкновенные и нераскручивающиеся с применением предварительной деформации проволок или прядей; правой или левой свивки — по направлению свивки верхнего ряда проволок; по роду свивки — крестовой, односторонней или комбинированной (рис. 31).

Исходя из сопротивления разрыва данного каната по его заводскому паспорту и коэффициенту безопасности, принимаемому равным от 3 до 4 или в среднем 3,5, определяется его допустимая рабочая нагрузка на канат. Например, согласно табл. 57 канат диаметром 17,5 мм имеет предел прочности 170 кг/мм² и разрывное усилие 15 500 кгГ. Следовательно, его допустимая рабочая нагрузка будет равна $\frac{15\,500}{3,5} = 4,43 \text{ Т}$. Максимальная рабочая нагрузка на подъемном крюке определится весом наиболее тяжелой колонны бурильных или обсадных труб.

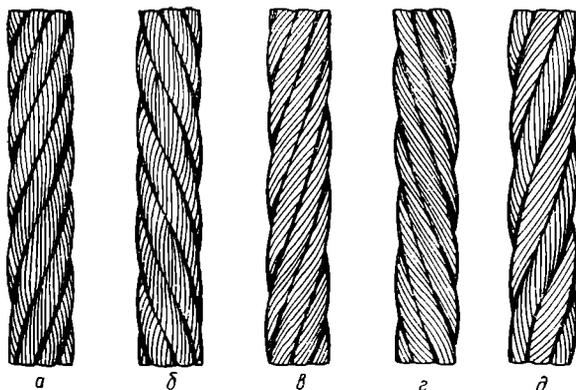


Рис. 31. Виды свивки канатов.

а — правая крестовая; *б* — левая крестовая; *в* — правая односторонняя; *г* — левая односторонняя; *д* — комбинированная односторонняя.

В качестве примера возьмем случай бурения скважины буровой установкой УРБ-ЗАМ на глубину 400 м одноколонной конструкции (кондуктор диаметром 273 мм на глубину 100 м, бурильные трубы диаметром 73 мм, эксплуатационная колонна диаметром 168 мм на глубину 400 м). В этом случае наиболее тяжелая нагрузка на подъемный крюк будет от веса эксплуатационной колонны диаметром 168 мм, равная $400 \times 39 = 15,6 \text{ Т}$.

Следовательно, в этом случае при применении указанного каната он должен быть оснащен $15,6 : 4,43 = 3$ рабочими концами (т. е. 2×1).

Известно, что наиболее нагруженным и быстро изнашивающимся концом каната является ходовой, навиваемый и разматываемый с барабана буровой лебедки во время подъема колонны бурильных или обсадных труб.

Действительное наибольшее значение натяжения, развивающееся у ходового конца каната, определится по формуле

$$P = P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}},$$

где $P_{\text{ст}}$ — статическая нагрузка на канат; $P_{\text{дин}}$ — дополнительная динамическая нагрузка на канат во время подъема.

Диаметр, мм		Площадь сечения всех проволок, мм ²	Расчетный вес 100 м смазанного каната, кг	Расчетный предел прочности проволоки при растяжении, кг/мм ²									
				130		140		150		160		170	
каната	прово-лок			Разрывное усилие не менее, кг									
		суммарное про-волоч	каната в целом	суммарное про-волоч	каната в целом	суммарное про-волоч	каната в целом	суммарное про-волоч	каната в целом	суммарное про-волоч	каната в целом		
11.0	0.5	43.51	40.86	5 650	4 630	6 090	4 990	6 520	5 340	6 960	5 700	7 390	6 060
13.0	0.6	62.83	59.0	8 160	6 690	8 790	7 200	9 420	7 720	10 050	8 240	10 650	8 730
15.5	0.7	85.47	80,27	11 100	9 100	11 950	9 790	12 800	10 450	13 650	11 150	14 500	11 850
17.5	0.8	111.67	104.8	14 500	11 890	15 600	12 750	16 750	13 700	17 850	14 600	18 950	15 500
19.5	0.9	141.19	132.6	18 350	15 000	19 750	16 150	21 150	17 300	22 550	18 450	24 000	19 650
22.0	1.0	175.26	164.6	22 750	18 600	24 500	20 050	26 250	21 500	28 000	22 950	29 750	24 350
24.0	1.1	211.98	199.1	27 550	22 500	29 650	24 300	31 750	26 000	33 900	27 750	36 000	29 500
26.0	1.2	253.04	237.7	32 850	26 900	35 400	29 000	37 950	31 100	40 450	33 150	43 000	35 250
28.5	1.3	294.59	266.7	38 250	31 300	41 200	33 750	41 150	36 200	47 100	38 600	50 050	41 000
30.5	1.4	343.20	322.3	44 600	36 500	48 000	39 350	51 450	42 150	54 900	45 000	58 300	47 800
32.5	1.5	392.22	368,4	50 950	41 700	54 900	45 000	58 850	48 250	62 750	51 450	66 650	54 650

Примечание. Канаты стальные ТК 6×37=222 из проволоки с органическим сердечником по ГОСТ 3071=55.

Статическая нагрузка на канат определится по формуле

$$P_{ст} = \frac{\beta^n (\beta - 1)}{\beta^n - 1} Q,$$

где Q — максимальный вес поднимаемой колонны (в нашем случае 15,6 т); n — число вращающихся роликов талевого системы ($n = 3$); β — к. п. д. (в данном случае $\beta = 0,92$).

Значения к. п. д. роликов в блоке приведены ниже

Число роликов	1	2	3	4	5	6	7	8	9
К. п. д. стального каната	0,97	0,94	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,81	0,80

После подстановки получим

$$P_{ст} = \frac{0,92^3 (0,92 - 1)}{0,92^3 - 1} 15,6 = 4,37 \text{ Т.}$$

Динамическая нагрузка в ходовом конце стального каната определяется из выражения

$$P_{дин} = P_{ст} \frac{v}{gt},$$

где $P_{ст}$ — статическая нагрузка на канат, равная 4,37 Т; v — скорость подъема крюка: на I скорости 0,51, на II — 0,87 и на III — 1,45 м/сек (для буровой установки типа УРБ-ЗАМ при подъеме больших грузов принимаем I скорость равной 0,51 м/сек); g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек²; t — время разгона двигателя, принимаемое равным 1 сек.

Следовательно,

$$P_{дин} = \frac{4,37 \times 0,51}{9,81 \times 1} \approx 0,23 \text{ т.}$$

Таким образом, получаем наибольшее значение натяжения ходового конца

$$P = 4,37 + 0,23 = 4,6 \text{ т.}$$

§ 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА ПЕНЬКОВОГО КАНАТА

Пеньковые канаты обладают большой эластичностью, изготавлиются из трех основных прядей (стренг). Диаметр пенькового каната определяют по формуле

$$P = 0,66 \frac{\pi d^2}{4} [\sigma],$$

откуда

$$d = 1,4 \sqrt{\frac{P}{[\sigma]}},$$

где d — диаметр каната в см; P — нагрузка на канат в кг; $[\sigma]$ — допустимое напряжение для материала пенькового каната в кг/см²; обычно $\sigma = 120-130$ кг/см².

§ 13. ЧИСЛО СТРУН ТАЛЕВОЙ СИСТЕМЫ

Как уже сказано выше, при спуско-подъемных операциях в процессе бурения скважин применяются талевые системы. Зависимость между силой P и Q определяется из выражения

$$P = \frac{Q\beta^n (\beta - 1)}{\beta^n - 1},$$

где β — коэффициент сопротивления; n — число рабочих струн.

Зависимость между путями, проходимыми силой P и грузом Q , будет

$$H = nh,$$

где H — путь, проходимый силой P ; h — путь, проходимый грузом Q .

Таким образом, путь силы P равен пути груза Q , умноженному на число ветвей каната.

Сила P определится из выражения

$$P = \frac{Q}{n\eta}.$$

П р и м е р. Определить необходимое число струн талевой системы для подъема 25-т лебедкой, грузоподъемность которой равна 6 т. Тогда

$$n = \frac{Q}{P} = \frac{25}{6} = 4,17.$$

Примем четыре струны при трех роликах на кронблоке и двух роликах на талевом блоке (к. п. д. $\eta = 0,92$).

Уточненное значение силы P будет

$$P = \frac{Q}{n\eta} = \frac{25}{4 \times 0,92} = 6,8 \text{ т.}$$

П р и м е р. Определить усилие, необходимое для подъема груза весом 18 000 кг, при оснастке талевого блока на три ролика. При оснастке талевого блока на три ролика количество струн будет равно $2 \times 3 = 6$.

Усилие, необходимое для подъема груза весом 18 000 кг, будет равно $\frac{18000}{6} = 3000$ кг.

П р и м е р. Определить усилие, необходимое для подъема груза весом 30 000 кг, при оснастке талевого блока на четыре ролика.

В этом случае количество струн будет $2 \times 4 = 8$. Тогда усилие, необходимое для подъема груза весом 30 000 кг, составит

$$\frac{30000}{8} = 3750 \text{ кг.}$$

§ 14. НЕОБХОДИМАЯ ДЛИНА СТАЛЬНОГО КАНАТА

Длина оснастки каната зависит от системы оснастки и высоты буровой вышки.

Пример. Необходимо произвести оснастку талевого системы 3×4 буровой установки УРБ-4ПМ. Высота вышки равна 21 м. Тогда рабочих струн будет $6 + 1$ конец «ходовой» $+ 1$ конец «глухой». Всего будет восемь концов общей длиной $8 \times 21 = 168$ м. Кроме этой длины, необходимо добавить длину каната для навивки первого ряда витков на барабане лебедки, которую можно определить по формуле

$$l = \pi Dn,$$

где D — диаметр бочки барабана (равен 380 мм); n — число витков каната, укладываемых на барабан в один ряд (n — определяется как отношение $\frac{E}{a}$, где E — длина бочки барабана, равная 500 мм, a — диаметр каната, принимаемый равным 21,5 мм). Тогда

$$n = \frac{500}{21,5} = 23 \text{ витка.}$$

Длина каната, навиваемого на барабан в первом ряду витков, будет

$$l = 3,14 \times 380 \times 23 = 27 \text{ м.}$$

На пропуск сработанного ходового конца каната потребуется дополнительно 21 м.

Таким образом, общая длина каната, необходимая для оснастки талевого системы 3×4 буровой установки УРБ-4ПМ, составит

$$L = 168 + 27 + 21 = 216 \text{ м.}$$

Принимаем общую длину каната равной 220 м.

Пример. Определить требуемую длину стального каната для буровой установки УРБ-3АМ с оснасткой талевого системы 2×3 . Высота мачты буровой установки равна 16 м. Рабочих струн будет $4 + 2$ конца общей длиной $6 \times 16 = 96$ м («ходовой» и «глухой»).

Определяем необходимую длину каната для укладки витков первого ряда на барабане лебедки, которая составит (при диаметре барабана лебедки 240 мм, и его длине 360 мм и диаметре каната, равном 15,5 мм)

$$n = \frac{E}{a} = \frac{360}{15,5} = 23 \text{ витка.}$$

Вся длина каната, навиваемого на барабан, составит

$$l = 3,14 \times 240 \times 23 = 17 \text{ м.}$$

Тогда общая длина стального каната будет равна (с учетом добавки на пропуск сработанного конца)

$$L = 96 + 17 + 16 = 129 \text{ м.}$$

Принимаем длину стального каната для оснастки буровой установки УРБ-3АМ с оснасткой 3×4 равной 130 м.

§ 15. ПОДБОР ДИАМЕТРОВ БАРАБАНА ЛЕБЕДКИ И РОЛИКОВ ТАЛЕВОГО БЛОКА И КРОНБЛОКА

Диаметры барабанов и роликов необходимо подбирать в соответствии с диаметрами каната и проволоки так, чтобы канат во время работы не испытывал больших изгибающих напряжений. Обычно принимают $D > 400 \delta$, где D — диаметр барабана лебедки; δ — диаметр проволоки каната.

Таблица 58

Конструкция каната (число прядей и проволок)	Диаметр барабана или ролика	
	минимальный	рекомендуемый
6×7	42 <i>d</i>	72 <i>d</i>
6×19	30 <i>d</i>	45 <i>d</i>
6×37	18 <i>d</i>	27 <i>d</i>
6×19	21 <i>d</i>	31 <i>d</i>

Рекомендуемые соотношения между диаметрами роликов или барабанов и каната приведены в табл. 58.

§ 16. РАСЧЕТ НОРМ РАСХОДА СТАЛЬНОГО КАНАТА

Расход стального каната при бурении скважин на воду зависит от ряда факторов. В основу расчета должны быть положены: средняя глубина скважин в м, фактическое число рейсов за прошедший год и анализ нормы расхода стального каната, которым выявлена условная «ходимость» его, т. е. 0,8 *т·км* на 1 м бурения. Расход стального каната также зависит от количества спуско-подъемных операций, веса бурильного инструмента и его длины.

Определим работу для одной скважины, а следовательно, износ стального каната (в *т·км*) за весь период бурения по формуле

$$K = \frac{qL^2n}{2 \times 1\,000\,000},$$

где q — средний вес оборудования, бурильного инструмента и бурильных труб на 1 м бурения в кг; L — средняя длина спуска инструмента в м; n — число рейсов долота на скважину с учетом дополнительных спусков; 2 — делитель, полученный при выводе формулы; 1 000 000 — переводной делитель *кГ·м* в *т·км*.

Пример. Определить вес 1 м бурильного инструмента и оборудования (в кг) для скважины глубиной 150 м

квадратная штанга	38
долото	50
УБТ	98
талевого блок	80
	246

Средний вес бурильного инструмента будет $\frac{246}{150} = 1,64$ кг/м. Общий средний вес оборудования, бурильного инструмента и бурильных труб на 1 м бурения составит

$$17,8 \div 1,64 = 19,4 \text{ кг,}$$

где 17,8 — общий расчетный вес 1 м бурильных труб.

Расчет средней длины спуска инструмента

Средняя длина спуска инструмента (глубина скважины 150 м) равна 65% глубины скважины (по данным механического каротажа, проведенного бригадой МНИ), тогда

$$\frac{150 \times 65}{100} = 97 \text{ м.}$$

Общая проходка по участку равна 22 000 м, проходка на один рейс долота составляет 80 м; тогда общее число рейсов будет

$$\frac{22\,000}{80} = 277.$$

Принимая во внимание дополнительные спуски и подъемы, увеличиваем количество спуско-подъемных операций на 10%. Итого рейсов будет

$$277 \div 27.7 = 304.7.$$

Определим суммарную работу

$$K = \frac{qL^2n}{2 \times 1\,000\,000} = \frac{19.4 \times 97^2 \times 304.7}{2 \times 1\,000\,000} = 27.8.$$

Определим количество стального каната на скважину, разделив его суммарную работу в $m \cdot км$ за весь период бурения скважины на «ходимость» каната, т. е. 0,8 $m \cdot км$ (по данным АзНИИ рекомендуется условную ходимость стальных канатов принимать равной 0,8 $m \cdot км$)

$$27.8 : 0.8 = 34.8.$$

Тогда расход стального каната на 1 м бурения будет

$$34.8 : 150 = 0.23 \text{ кг.}$$

§ 17. УСЛОВИЯ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ДОЛОТ В ПОРОДУ

Для получения оптимальной проходки прежде всего нужно правильно выбрать тип шарошечных долот с учетом физико-механических свойств проходимых пород. При прохождении мягких и средней твердости пород целесообразно применять шарошки с крупными острыми зубьями. Твердые породы лучше бурить шарошками с мелкими и более тупыми зубьями.

Для внедрения долота в породу необходимо соблюдать условие

$$\frac{Q}{F} \geq p,$$

где Q — нагрузка на долото; F — площадь поверхности давления долота на породу; p — сопротивление породы внедрению долота, т. е. твердость породы.

Для эффективного внедрения долота в породу нужно стремиться к возможно меньшему значению F , т. е. к возможно более острой форме долота.

§ 18. ПРИМЕНЕНИЕ УТЯЖЕЛЕННЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Для устойчивости низ бурильной колонны должен состоять из утяжеленных бурильных труб. При этом продольные и поперечные размеры УБТ нужно выбирать такими, чтобы избежать продольного изгиба. Установлено, что осевая нагрузка на долото, которую можно создать сжатием труб без продольного их изгиба, с увеличением наружного и уменьшением внутреннего диаметров труб возрастает. При этом увеличение наружного диаметра труб более эффективно; уменьшение внутреннего диаметра УБТ ограничено необходимостью обеспечения интенсивности промывки.

Следовательно, наиболее рациональным является некоторое увеличение наружного диаметра труб и одновременно некоторое уменьшение внутреннего. Таким образом можно обеспечить работу бурильной колонны бурильных труб без продольного изгиба сжатой ее части.

Обычно осевые нагрузки на долото достигают значительных величин, иногда 3—4 T на единицу номера долота, в связи с этим длина УБТ составляет несколько десятков метров. В практике роторного бурения вес УБТ в глинистом растворе в колонне бурильных труб должен превышать на 25% заданную наибольшую нагрузку на долото. Кроме того, следует придерживаться следующих соотношений между диаметрами долот, бурильных труб и УБТ (табл. 59).

Т а б л и ц а 59

Диаметр долота, мм	Наружный диаметр, мм		Диаметр отверстия УБТ, мм	Вес 1 м УБТ, кг	Общая длина УБТ, м
	УБТ	буриль- ных труб			
118—135	95	73	32	49,4	6—8—12
135—190	108	89	38	63,2	6—8—12
190—214	146	114	74	97,2	8—12

Пример. Определить длину УБТ для создания осевой нагрузки на долото 8 T ; бурят с применением 141-мм бурильных труб. Длину l_1 УБТ, осуществляющих осевую нагрузку на долото, определяют

$$l_1 = \frac{c}{q},$$

где q — вес 1 м УБТ под 141-мм бурильные трубы, равный 150 кг.
Тогда

$$l_1 = \frac{8000}{150} = 53,3 \text{ м.}$$

Определение длины l_2 растянутой части УБТ

$$l_2 = 0,75 \times 53,3 = 39,9 \approx 40 \text{ м.}$$

Общая длина утяжеленных бурильных труб равна

$$l = l_1 + l_2 = 53,3 + 40 = 93,3 \text{ м.}$$

Количество УБТ

$$a = \frac{l}{10} = \frac{93,3}{10} \approx 10 \text{ штук.}$$

Тогда

$$l = 10 \times 10 = 100 \text{ м.}$$

§ 19. РАСЧЕТ БУРИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ПРОЧНОСТЬ

В процессе бурения скважин бурильные трубы передают вращающий момент от ротора к долоту и осевую нагрузку на долото для его внедрения в породу. Бурильные трубы, представляя собой пустотелый стержень очень небольших поперечных размеров по сравнению с их длиной, а также будучи нагруженными через определенные участки труб бурильными замками, вращаются с большой скоростью и поэтому во время работы в бурильном инструменте возникают различные напряжения от действия собственного веса, давления промывочной жидкости как внутри, так и снаружи труб, крутящего момента, центробежных сил и т. д.

Напряжение от растяжения под влиянием собственного веса возникает по всей длине бурильных труб при их спуске в скважину и достигает максимального значения у устья скважины в момент подхода долота к забоям.

Известно, что напряжение от растяжения выражается отношением растягивающей силы к площади поперечного сечения, т. е.

$$\sigma_1 = \frac{P}{F} \text{ кг/см}^2,$$

где P — растягивающая сила в кг; F — площадь поперечного сечения в см².

В этом случае растягивающей силой является собственный вес бурильных труб и поэтому ее можно выразить

$$P = PL(\gamma - \gamma_1) \frac{1}{10},$$

где L — длина бурильных труб в м; γ — удельный вес металла в Г/см³; γ_1 — удельный вес глинистого раствора в Г/см³. Тогда

$$\sigma_1 = \frac{FL(\gamma - \gamma_1)}{F10} = L(\gamma - \gamma_1) \frac{1}{10}.$$

Отсюда видно, что напряжение от растяжения не зависит от площади поперечного сечения бурильных труб, а зависит от длины инструмента, и поэтому для повышения прочности бурильных труб следует улучшать марки стали, из которой они изготавливаются.

Расчеты показывают, что потеря веса в глинистом растворе удельного веса $\gamma_1 = 1,2-1,3 \text{ Г/см}^3$ составляет примерно 15—17%. Однако во время подъема колонны взвешивающее действие глинистого раствора может полностью компенсироваться трудно поддающейся учету и расчету силой трения труб о стенки скважины.

Поэтому максимальную длину колонны определяют без учета потерь веса труб в глинистом растворе

$$L_{\text{дон}} = \frac{10\sigma_{\text{дон}}}{\gamma} \text{ м}, \quad \sigma_{\text{дон}} = \frac{\sigma_T}{k},$$

где σ_T — предел текучести материала труб в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$; k — коэффициент запаса прочности. При $\gamma = 7,80 \text{ Г/см}^3$; $L_d = 1,28 \sigma_{\text{дон}} \text{ м}$.

Приняв величину коэффициента запаса прочности $k = 1,5$ (как это обычно делается при расчетах бурильных колонн), можно вычислить допустимые глубины спуска труб при действии одного собственного веса:

для труб стали марки D $L_{\text{дон}} = 3240 \text{ м}$;
для труб стали марки E $L_{\text{дон}} = 4700 \text{ м}$.

Пример. Бурильная колонна, составленная из труб паружного диаметра 114 мм, внутреннего — 94 мм, длиной 800 м поставлена на забой. Осевая нагрузка на долото равна 1700 $\kappa\Gamma$, удельный вес металла трубы — 7,8 Т/м^3 . Требуется определить длину сжатой части колонны.

Длина сжатой части бурильной колонны находится из выражения

$$G = \gamma F l = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \gamma l,$$

Рис. 32. Сжатие и растяжение бурильной колонны.

где G — вес бурильной колонны, оказывающей давление на забой скважины, в $\kappa\Gamma$; γ — удельный вес материала трубы в $\kappa\Gamma/\text{см}^3$; F — площадь поперечного сечения трубы в см^2 ; D — паружный диаметр трубы в см ; d — внутренний диаметр трубы в см ; l — длина сжатой части колонны в см .

Из этой формулы определяем

$$l = \frac{4G}{\pi (D^2 - d^2) \gamma} = \frac{4 \times 1700}{3,14 (11,43^2 - 9,43^2) 0,0078} = 6665 \text{ см} = 66,65 \text{ м}.$$

Напряжение сжатия уменьшается по мере удаления от нижнего торца трубы до нуля в сечении А. Далее оно меняет свой знак на противоположный (растяжение) и достигает наибольшего значения у устья скважины (рис. 32).

Пример. Бурится скважина на глубину 400 м. Бурильная колонна составлена из труб паружным диаметром 89 мм, внутренним 71 мм. Осевая нагрузка на долото равна 600 кг. Удельный вес металла равен 7,8 Т/м^3 . Определить длину сжатой части бурильной колонны.

$$l = \frac{4G}{\pi (D^2 - d^2) \gamma} = \frac{4 \times 600}{3,14 (8,9^2 - 7,1^2) 0,0078} = 3370 \text{ см} = 33,7 \text{ м}.$$

Пример. Определить растягивающее напряжение в бурильных трубах у устья скважины, когда долото не касается забоя, при следующих условиях: удельный вес металла 7,8 Т/м^3 , глубина скважины 800 м.

Растягивающее напряжение в бурильной колонне от диаметра труб не зависит, взвешивающим действием глинистого раствора пренебрегаем

$$\sigma = \frac{L\gamma}{10} \text{ кг/см}^2,$$

где σ — растягивающее напряжение в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$; L — глубина скважины в м ; γ — удельный вес металла в $\Gamma/\text{см}^3$; 10 — переводной коэффициент.

Тогда

$$\sigma = \frac{800 \times 7,8}{10} = 624 \kappa\Gamma/\text{см}^2.$$

Пр и м е р. Определить максимально возможную длину бурильной колонны без учета потерь веса труб в глинистом растворе. Удельный вес металла 7,8 $\Gamma/\text{м}^3$; сталь марки С.

$$L_{\text{дон}} = \frac{10\sigma_{\text{дон}}}{\gamma} \text{ м},$$

$\sigma_{\text{дон}}$ — предел текучести в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$; для стали марки С $\sigma_{\text{дон}} = 3200 \kappa\Gamma/\text{см}^2$

$$L_{\text{дон}} = \frac{10 \times 3200}{7,8} = 4100 \text{ м}.$$

§ 20. ПОДСЧЕТ НОРМ РАСХОДА БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА ВОДУ

Нормы расхода труб должны предусматривать следующие статьи.

На амортизацию бурильных труб в кг на 1 м проходки; в том числе на амортизацию труб с правой резьбой (для бурения скважин) и амортизацию труб с левой резьбой (для ловильных работ). Норма расхода рассчитывается по формуле

$$s_1 = hkca,$$

где s_1 — условный износ, начисляемый комплекту за работу в пределах одного интервала, в кг ; h — проходка, пройденная комплектом в данном интервале; k — коэффициент глубины (табл. 60); c — коэффициент буримости для данного района (9,72 — постоянный коэффициент, который надо разделить на механическую скорость для данного района; получаемая цифра будет коэффициентом c); a — норма расхода труб (0,323 кг на 1 м проходки в интервале от 0 до 250 м при коэффициенте буримости, равном 1); Коэффициент 0,323 предназначен для труб, используемых в глубоком бурении, средний вес этих труб составляет 33,5 $\kappa\Gamma$.

Таблица 60

Показатель	Интервал бурения, м				
	0—250	250—500	500—750	750—1000	1000—1250
Коэффициент глубины, k	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25

Таблица 61

Размер бурильных труб, мм	Вес 1 м труб, кг	Соотношение труб, %	Расчетный вес труб, кг	Общий расчетный вес 1 м трубы, кг
73	15,3	30	4,59	
89	20,0	40	8,0	
114	25,0	30	7,50	

В связи с тем что при бурении скважин на воду применяются бурильные трубы, диаметр которых несколько отличен от диаметра бурильных труб, используемых в глубоком бурении и в других процентных соотношениях, коэффициент a должен измениться в соответствии со снижением среднего расчетного веса 1 м бурильных труб с 33,5 кг в глубоком бурении до 17,3 кг при бурении на воду (табл. 61).

Определение норм на амортизацию бурильных труб с левой резьбой

Для проведения работ по ликвидации аварий применяются бурильные трубы с левой резьбой. Нормы расхода на амортизацию указанных труб должны устанавливаться в каждом отдельном случае участком по бурению скважин на воду, исходя из фактического ежегодного списания их в износ, так как расход бурильных труб с левой резьбой в зависимости от характера аварий может очень резко колебаться.

Определение норм на амортизацию бурильных труб для разбуривания цементного стакана и промывки скважин

Практикой бурения скважин на воду установлено, что один комплект бурильных труб полностью амортизируется после того, как обслужит примерно 200—220 скважин средней глубиной 150 м.

П р и м е р. По данному району в нормируемом году заканчивается бурением 247 скважин со средней глубиной 150 м. Тогда количество комплексов бурильных труб для разбуривания цементного стакана и промывки скважин составит

$$247 : 220 = 1,13.$$

Средний вес одного комплекта бурильных труб диаметром 73 мм при весе 1 м бурильных труб 15,3 кг и средней глубине скважины 150 м будет

$$15,3 \times 150 = 23 \text{ т},$$

откуда общая потребность в бурильных трубах в нормируемом году составит

$$2,3 \times 1,13 = 2,6 \text{ т}.$$

Таким образом, исходя из суммарной глубины в нашем примере расчетная норма расхода бурильных труб будет

$$150 \times 247 = 37\ 000 \text{ м}$$

и норма расхода труб на 1 м проходки составит

$$2600 : 37\ 000 = 0,07.$$

Расчет норм бурильных труб на комплектацию буровых установок

В основу расчета принимаются проектные данные о количестве и средних глубинах скважин, заканчиваемых бурением, а также наличие бурильных труб различных диаметров.

Так как расход бурильных труб с правой резьбой на комплектацию новой буровой установки, вводимой в бурение, находится в прямой зависимости от глубин скважины, то вследствие этого норма расхода определится умножением среднего расчетного веса 1 м бурильных труб, находящихся в эксплуатации, на среднюю глубину бурения скважины данного района.

П р и м е р. Определить средний вес 1 м бурильных труб с правой резьбой при следующем процентном соотношении этих труб по размерам в действующем парке:

Размер бурильных труб, мм	73	89	114
Вес 1 м бурильных труб, кг	15,3	20,0	25,0
Соотношение труб, %	48	—	52
Расчетный вес труб, кг	7,3	—	12,9

Так как средняя глубина скважины, закачиваемых бурением, по данному району составляет 250 м, потребность в бурильных трубах с правой резьбой на комплектацию буровой установки будет

$$20,2 \times 250 = 5,1 \text{ м.}$$

Учитывая, что буровые находятся на расстоянии более 25 км друг от друга, считаем, что один комплект бурильных труб с левой резьбой может обслужить 10 работающих буровых установок. Поэтому потребность в бурильных трубах с левой резьбой по отношению к потребности в трубах с правой резьбой будет равна 1 : 10.

Таким образом, норма потребности в бурильных трубах на одну вновь вводимую в бурение установку будет равна

$$5,1 + 0,51 = 5,61 \text{ м.}$$

П р и м е р. Определить количество бурильных труб для комплектации одной буровой установки.

Скважину глубиной 250 м бурят буровой установкой УРБ-3АМ, бурильными трубами с правой резьбой диаметром 73 мм (средний вес 1 м бурильных труб равен 15,3 кг).

Вес колонны бурильных труб с правой резьбой будет

$$250 \times 15,3 = 3,8 \text{ м.}$$

Вес бурильных труб с левой резьбой будет

$$\frac{3,8 \times 10}{100} = 0,38 \text{ м.}$$

Общий вес бурильных труб составит

$$3,8 + 0,38 = 4,18 \text{ м.}$$

При выборе конструкции скважины необходимо рассматривать и конструкцию бурильных труб, при помощи которых бурят скважину. Диаметр бурильных труб рекомендуется выбирать таким образом, чтобы отношение m диаметра скважины D к диаметру соединения бурильных труб d было бы равно двум или меньше, т. е.

$$m = \frac{D}{d} \leq 2.$$

Минимальная величина зазора (просвет) между стенками скважины и соединениями бурильных труб должна составлять не менее 11 мм, т. е. $D - d \geq 11$ мм.

Рекомендуемые соотношения диаметров скважин и бурильных труб для различных типов скважин приведены в табл. 62.

Таблица 62

Наружный диаметр бурильных труб, мм	Наружный диаметр замкового соединения бурильных труб, мм	Диаметр скважины, мм		Отношение максимального диаметра скважины к наружному диаметру соединения труб $\frac{D}{d}$	Зазор между стенками скважины минимального диаметра и наружным диаметром соединения труб $D - d \geq 11$ мм
		наибольший	наименьший		
88.9	117.5	247	138	2.1	20
73	108	197	120	1.83	12
60.3	67	134	78	2	11
50	63	126	74	2	11
50	50	98	61	1.56	11

§ 21. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ ПО ПОКАЗАНИЯМ ИНДИКАТОРА ВЕСА

При определении натяжения глухого конца стального каната необходимо пользоваться паспортом гидравлического индикатора веса. Значение усилий в паспорте дается через 10 делений, а промежуточные должны определяться интерполяцией.

Пр и м е р. Показание индикатора веса — 45 делений. Согласно паспорту нагрузке в 40 делений соответствует усилие 4350 кгГ, а нагрузке в 50 делений — 5550 кгГ. Средняя цена одного деления в этом интервале (40—50) составит

$$\frac{5500 - 4350}{10} = 120 \text{ кг.}$$

Тогда значение нагрузки при 45 делениях составит

$$R = 4350 + 5 \times 120 = 4950 \text{ кгГ.}$$

Если из нагрузки R вычесть начальное натяжение глухого конца (при десятом делении равной 500 кгГ), то полученное значение R_1 составит $\frac{1}{n}$ = часть нагрузки R_k на подъемном крюке, где n — число струн талевого блока. Таким образом, $R_1 = 4950 - 500 = 4450$ кгГ, а нагрузка на крюк

$$R_k = nR_1 = 8 \times 4450 = 35\,600 \text{ кгГ (при оснастке } 4 \times 5, n = 8).$$

Для определения нагрузки на забой нужно умножить число делений, соответствующих разгрузке, на среднюю цену деления в данном интервале.

Пр и м е р. Показания индикатора веса перед началом бурения — 58 делений (при оснастке талевого системы 5×6), после начала — 52 деления.

Величина нагрузки инструмента на забой, составляет

$$58 - 52 = 6 \text{ делений.}$$

По паспорту 50-му делению соответствует нагрузка 5550 кг, а 60-му — 6800 кг. Тогда средняя цена деления в этом интервале составляет

$$\frac{6800 - 5550}{10} = 125 \text{ кг.}$$

Подъемный крюк висит на 10 струнах каната, величина разгрузки на крюке (нагрузка на забой) на одной деление равна

$$125 \times 10 = 1250 \text{ кг.}$$

Таким образом, нагрузка на забой составит

$$1250 \times 6 = 7500 \text{ кг,}$$

что и составляет нагрузку на долото.

Пример. Определить деление шкалы прибора, соответствующего заданной нагрузке на забой. При оснастке 4×5 нагрузка на забой 10 Т. Показание индикатора веса перед началом бурения над забоем равно 68 делениям. По паспорту усилие при 60 делениях составляет 6800 кг, а при 70 — 8300 кг. В этом случае средняя цена одного деления в указанном интервале составит

$$\frac{8300 - 6800}{10} = 150 \text{ кг.}$$

Число делений, соответствующее разгрузке 10 Т, составляет

$$\frac{10000}{150 \times 8} = 8,35 \text{ деления, или } 8,5 \text{ деления.}$$

В этом случае бурильщик должен разгрузить инструмент до

$$68 - 8,5 = 59,5 \text{ деления.}$$

Пример. Оснастка талевой системы 2×1 . Задается давление на забой, равное 500 кг. Перед началом бурения при вращении бурильного инструмента над забоем отсчет по индикатору веса составляет 28 делений. Согласно паспортным данным усилие при 20 делениях 500 кг, при 30 — 850 кг. Тогда цена одного деления в этом интервале будет

$$\frac{850 - 500}{10} = 35 \text{ кг.}$$

Число делений, соответствующее разгрузке 500 кг, с учетом оснастки талевой системы составит

$$\frac{500}{35 \times 2} = 7,15 \approx 7.$$

Таким образом, бурильщик должен разгрузить бурильный инструмент до $28 - 7 = 21$ деления.

Пример. Отсчет по индикатору веса равен 45 делениям. По паспорту 40 делениям соответствует усилие 1300 кг, 50 делениям — 1750 кг. Оснастка талевой системы принимается 2×1 . Значения усилий в паспорте даются через каждые 10 делений.

Определим среднюю цену одного деления в интервале от 40 до 50-го деления.

$$\frac{1750 - 1300}{10} = 45 \text{ кг.}$$

Тогда 45 делениям будет соответствовать усилие

$$P = 1300 + (5 \times 45) = 1525 \text{ кг}.$$

Из этой нагрузки следует вычесть начальное натяжение глухого конца каната (при 10-ом делении равное 100 кг), тогда полученное значение P_1 составит $1/n$ часть нагрузки на крюке P_k (n — число струн талевого блока).

Чтобы определить P_k , нагрузку P_1 нужно умножить на число струн (при оснастке 2×1 $n = 2$), тогда $P_1 = 1525 - 100 = 1425 \text{ кг}$;

$$P_k = P_1 n = 1425 \times 2 = 2850 \text{ кг}.$$

Для определения веса бурильного инструмента нужно к полученной нагрузке на подъемном крюке прибавить потерю веса в жидкости. Для определения нагрузки на вышку буровой установки P_v нагрузку на глухом конце каната нужно умножить на число струн талевой системы + 2 (не вычитая начальное натяжение каната)

$$P_v = 1525 (2 + 2) = 6100 \text{ кг}.$$

Для определения осевой нагрузки на долото число делений разгрузки следует умножить на среднюю цену одного деления в данном интервале.

Пр и м е р. Отсчет по индикатору веса перед началом бурения — 58 делений, после начала бурения — 52 деления. Оснастка системы 2×1 ($n = 2$).

Разгрузка в этом случае будет составлять

$$58 - 52 = 6 \text{ делений}.$$

Согласно паспортным данным 50-му делению соответствует нагрузка 1750 кг, 60-му — 2200 кг. Тогда средняя цена одного деления в этом интервале будет

$$\frac{2200 - 1750}{18} = 45 \text{ кг}.$$

Так как подъемный крюк висит на двух струнах, то давление на забой на одно деление составит

$$45 \times 2 = 90 \text{ кг},$$

а на 6 делений разгрузка будет

$$90 \times 6 = 540 \text{ кг}.$$

это и есть осевая нагрузка на долото.

Глава X

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙ

§ 1. ОСВОБОЖДЕНИЕ ПРИХВАЧЕННОГО БУРИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

В практике бурения скважин на воду прихваченный бурильный инструмент освобождают при помощи водяной ванны или ванны из дизельного топлива.

Водяная ванна имеет следующие преимущества:

- 1) не требуется подготовка для транспортировки специальной жидкости, можно быстро приступить к ликвидации аварии буровыми насосами;
- 2) быстрое действие, позволяющее освободить прихваченный бурильный инструмент в течение 4—12 ч;
- 3) безопасность в пожарном отношении.

Для устройства водяной ванны нужно подготовить необходимое количество воды (в 2—3 раза больше расчетного), в которую добавляют немного щелочи. После того как будет заготовлена вода, разгружают талевую систему и закачивают воду; в таком состоянии оставляют скважину в покое. Через 6—10 ч прихваченная колонна бурильных труб освобождается.

Количество дизельного топлива, необходимого для ванны, подсчитывают из расчета перекрытия прихваченного места не менее чем на 50 м.

Для освобождения прихваченного инструмента необходимо: подсчитать объем топлива, требуемый для устройства ванны, подсчитать объем бурильных труб и затрубного пространства на высоту прихвата, периодически подкачивать дизельное топливо в объеме 1—2 м³ во избежание прекращения циркуляции и одновременно расхаживать инструмент; кроме того, нужно расходить инструмент, заменить дизельное топливо на глинистый раствор, тщательно промыть скважину, и только после того как выравниваются параметры раствора, приступить к подъему бурильного инструмента.

Чтобы установить ванну из дизельного топлива, необходимо определить длину свободной и прихваченной частей инструмента. Длина свободной части прихваченного в скважине инструмента

подсчитывается по формуле Гука, согласно которой удлинение прямо пропорционально растягивающей нагрузке и длине инструмента, но обратно пропорционально свойствам металла тела и его размерам, т. е. площади поперечного сечения. Закон Гука сводится к тому, что все материалы до определенного предела подчиняются правилу: во сколько раз увеличится растягивающее усилие, во столько же раз увеличится удлинение тела при одних и тех же качестве металла и размерах тела. Этот предел называется пределом пропорциональности, при котором данный металл подчиняется закону Гука. Натяжка бурильных труб при их прихвате не должна выходить за предел пропорциональности металла труб. В этом случае по удлинению бурильных труб определяют место возможного их прихвата

$$L = \frac{lEF}{Q},$$

где L — длина свободной части прихваченного инструмента в м; l — удлинение бурильных труб при натяжке в см; E — модуль упругости материала, равный $2\,100\,000$ кг/см²; F — площадь поперечного сечения бурильных труб в см²; Q — нагрузка на крюке при натяжке труб в кг.

Длину прихваченной части бурильного инструмента L_1 можно определить следующим образом:

$$L_1 = H - L,$$

где H — общая длина бурильного инструмента в м; L — длина свободной части прихваченного инструмента в м.

По двум определенным по индикатору веса нагрузкам вычисляют удлинение свободной части инструмента. Вначале производят натяжку, соответствующую весу свободной части колонны, а вторая натяжка должна быть наибольшей допустимой с точки зрения безопасности и предотвращения остаточных деформаций в трубах. Глубину прихвата также можно определить следующим образом (данный метод не точен). Прихваченному инструменту дают натяжку, равную полному весу инструмента по показанию индикатора веса, и в этом положении на уровне роторного стола на бурильных трубах делают отметку мелом, потом увеличивают натяжку не более 10—20 Т. После этого инструмент несколько вытянется вверх и вновь на уровне роторного стола на бурильной трубе делают вторую отметку мелом. После определения расстояния между этими отметками (в мм) и определяют длину L (в м) свободной части бурильного инструмента по формуле

$$L = \frac{kl}{P},$$

где k — коэффициент, величина которого зависит от размеров бурильных труб (табл. 63); P — дополнительное натяжение бурильной колонны труб в Т.

Наружный диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Дополнительные нагрузки, Т						
		5	10	15	20	25	30	35
114	8	118.18	59.09	39.39	29.55	23.64	19.70	16.88
	10	145.53	72.76	48.51	36.38	29.11	24.26	20.79
89	9	98.78	49.39	32.93	24.70	19.76	16.46	14.11
	11	118.19	59.10	39.40	29.55	23.64	19.70	16.88

Пример. При дополнительной нагрузке 10 Т натяжение бурильных труб 89×9 составило 84 мм. Тогда длина свободной части бурильной колонны труб будет равна

$$L = \frac{84 \times 49,39}{10} = 414,8 \approx 415 \text{ м.}$$

Пример. В скважине глубиной 920 м произошел прихват бурильных труб диаметром 114 мм с толщиной стенки $\delta = 10$ мм.

Определим длину прихваченной части инструмента

$$L_1 = H - L,$$

где H — глубина скважины, равная 920 м; L — длина свободной части инструмента, определяемая по формуле

$$L = \frac{lEF}{Q},$$

где l — удлинение инструмента, принимаемое равным 49 см; E — модуль упругости труб, равный $2,1 \times 10^6$ кг/см²; F — площадь поперечного сечения

$$F = \frac{3,14}{4} (11,4^2 - 9,4^2) = 32,6 \text{ см}^2$$

Q — нагрузка, соответствующая максимальной нагрузке, прижимаемая равной 70 000 кг.

Тогда

$$L = \frac{49 \times 2,1 \times 10^6 \times 32,6}{70\,000} = 480 \text{ м.}$$

Длина прихваченной части инструмента будет равна

$$L_1 = 920 - 480 = 440 \text{ м.}$$

Расход дизельного топлива для установки ванны определяем по формуле

$$V = 1,3 (V_T + V_K),$$

где V_T — объем дизельного топлива для заполнения бурильных труб в м³; V_K — объем дизельного топлива для заполнения затрубного пространства при высоте прихвата 50 м в м³.

Предположим, что диаметр скважины равен 248 мм, тогда

$$V_T = 0,785 (0,114 - 0,020)^2 \times 920 = 6,4 \text{ м}^3;$$

$$V_K = 0,785 (0,248^2 - 0,114^2) (440 + 50) = 18,7 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{диз. тон}} = 1,3 (6,4 + 18,7) = 32,6 \text{ м}^3.$$

Количество жидкости для установки ванны можно определить по табл. 64.

Диаметр бурильных труб, мм	Объем 1 м, м ³	Диаметр скважины, мм	Объем 1 м, м ³
141	0.012	368	0.100
114	0.070	298	0.070
89	0.004	247	0.050
73	0.003	197	0.032

Если указанные мероприятия не дают положительных результатов, то в зависимости от конкретных условий в скважине отвинчивают бурильные трубы или левым инструментом, или же торпедованием прихваченной части инструмента.

§ 2. ПРИМЕРНЫЙ РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОГО КОЛИЧЕСТВА НЕФТИ ДЛЯ ВАННЫ

Схема расположения нефти и глинистого раствора в скважине показана на рис. 33, данные для расчета водоокейных ванн приведены в табл. 65.

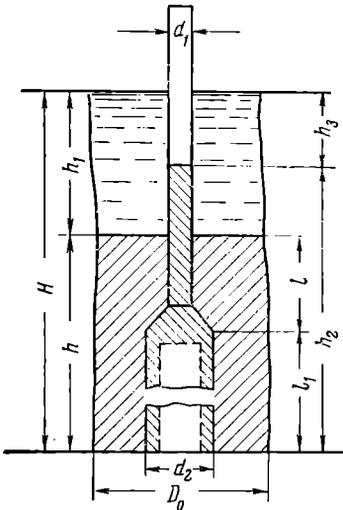


Рис. 33. Схема расположения нефти и глинистого раствора в скважине.

Условия: $D_0 = 134$ мм = 0,134 м — диаметр скважины; $D = 60$ мм = 0,06 м — наружный диаметр бурильных труб; $d_1 = 50$ мм = 0,05 м — внутренний диаметр бурильных труб; $d_2 = 108$ мм = 0,108 м — наружный диаметр колонковой трубы; $H = 300$ м — полная глубина скважины (забой); $h = 20$ м — высота столба нефти в скважине; $h_1 = H - h - 300 - 20 = 280$ м — высота столба глинистого раствора в скважине; $h_2 = 50$ м — высота столба нефти внутри инструмента; $h_3 = H - h_2 = 300 - 50 = 250$ м — высота столба глинистого раствора в буровых трубах; $l = 14$ м — длина буровых труб в нефтяной ванне; $l_1 = 6$ м — длина колонковой трубы; $\gamma = 0,87$ Г/см³ — удельный вес нефти; $\gamma_1 = 1,25$ Г/см³ — удельный вес глинистого раствора.

1. Количество нефти для подъема за буровыми трубами на высоту $h = 20$ м определится из формулы

$$Q_1 = \frac{\pi (D_0^2 - d_1^2) l_1}{4} + \frac{\pi (D_0^2 - D^2) l}{4};$$

$$Q_1 = \frac{3,14 (0,134^2 - 0,108^2) 6}{4} + \frac{3,14 (0,134^2 - 0,06^2) 14}{4} = 0,19 \text{ м}^3.$$

2. Количество нефти в буровых трубах

$$Q_2 = \frac{\pi d_1^2}{4} h_2 = \frac{3,14 \times 0,050^2}{4} 50 = 0,095 \text{ м}^3.$$

3. Полное количество нефти для ванны потребуется

$$Q = Q_1 + Q_2 = 0,19 + 0,095 = 0,285 \text{ м}^3 \text{ или при } \gamma = 0,87 \text{ Г/см}^3 \\ Q = 0,285 \times 0,87 = 0,25 \text{ т.}$$

Наружный диаметр бурильных труб, мм	Толщина труб, мм	Внутренний диаметр бурильных труб, мм	Теоретический объем 1 м внутритрубного пространства, м ³	Теоретический объем 1 м затрубного пространства скважины в м ³ при диаметре долот, мм							
				243	269	295	346	394	445	490	540
114	8	98	0,0076	0,0361	0,0465	0,0581	—	—	—	—	—
	10	94	0,0070	0,0361	0,0465	0,0581	—	—	—	—	—
141	8	125	0,0123	0,0307	0,0411	0,0526	0,0783	0,1062	0,1400	—	—
	9	123	0,0119	0,0307	0,0411	0,0526	0,0783	0,1062	0,1400	—	—
168	8	152	0,0182	0,0241	0,0346	0,0461	0,0617	0,0996	0,1332	0,1662	0,2067
	9	150	0,0177	0,0241	0,0346	0,0461	0,0617	0,0996	0,1332	0,1662	0,2067
	11	146	0,0168	0,0241	0,0346	0,0461	0,0617	0,0996	0,1332	0,1662	0,2067

Пример. Определить, на какую высоту H будет поднята нефть в затрубном пространстве в скважине диаметром (условно) 377 мм, если оказалась прихваченной нижняя часть (долотная) 141-мм бурильной колонны при палиции 6 м³ нефти в скважине.

Тогда

$$H = \frac{6}{0,0783} = 76,7 \text{ м.}$$

Зная длину находящейся 141-мм бурильной колонны в скважине (350 м), можно определить объем продавочной жидкости для выкачивания нефти из бурильных труб

тогда

$$V = 0,0123 \times 350 = 4,3 \text{ м}^3.$$

4. Количество глинистого раствора от устья скважины до уровня нефти в бурильных трубах h_3 будет

$$Q_3 = \frac{\pi d_1^2}{4} h_3 = \frac{3,14 \times 0,050^2}{4} 250 = 0,48 \text{ м}^3.$$

5. Давление столба жидкости за бурильными трубами, когда последние будут заполнены нефтью, а пространство за трубами — глинистым раствором удельного веса 1,25 Г/см³, составит

$$p_1 = \frac{H \gamma_p}{10} = \frac{300 \times 1,25}{10} = 37,5 \text{ кг/см}^2 \text{ — за бурильными трубами;}$$

$$p_2 = \frac{H \gamma}{10} = \frac{300 \times 0,87}{10} = 26,1 \text{ кг/см}^2 \text{ — в бурильных трубах.}$$

Противодавление из скважины в момент окончания прокачивания нефти (как это указано на рисунке) будет

$$p_1 = \frac{h_1 \gamma_1 + h \gamma}{10} = \frac{280 \times 1,25 + 20 \times 0,87}{10} = 36,7 \text{ кг/см}^2 \text{ — за бурильными трубами;}$$

$$p_2 = \frac{h_2 \gamma_1 + h_2 \gamma}{10} = \frac{250 \times 1,25 + 50 \times 0,87}{10} = 35,6 \text{ кг/см}^2 \text{ — в бурильных трубах,}$$

избыточное давление $p = p_1 - p_2 = 36,7 - 35,6 = 1,1 \text{ кг/см}^2$.

§ 3. ДОПУСТИМОЕ ДАВЛЕНИЕ НА НАСОСЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ДОМКРАТОВ

При безрезультатной попытке освободить прихваченную бурильную колонну с помощью расхаживания, а также для извлечения обсадных колонн из скважин, пробуренных ударно-канатным способом, применяют гидравлические домкраты. Допускаемое давление на насосе гидравлических домкратов (в $\text{кг}/\text{см}^2$) определяется по формуле

$$P_d = \frac{2\sigma_T F}{\pi \eta D_H^2},$$

где D_H — диаметр нипона гидравлических домкратов в см ; σ_T — предел текучести материала бурильных или обсадных труб в $\text{кг}/\text{см}^2$; F — площадь поперечного сечения трубы в см^2 ; η — коэффициент запаса прочности, который при расчетах, связанных с освобождением бурильного инструмента, нужно брать в пределах 1,2—1,3.

Технические данные гидравлических домкратов приведены в табл. 66.

Т а б л и ц а 66

Характеристика гидравлических домкратов	Типы домкратов		
	40/350	100/500	ГД-1-300
Грузоподъемность, т	40	100	300
Высота подъема штоков, мм . . .	350	500	900
Наибольший диаметр обсадных труб, мм	146	325	450
Привод масляного насоса	Ручной	Механический	Электрический
Двигатель	—	Л-6/3	А-72/3
Мощность двигателя, л. с.	—	6	19
Максимальное давление масла, $\text{кг}/\text{см}^2$	420	200	300
Габариты, мм :			
длина	410	1050	1310
высота	685	1190	700
ширина	—	590	1165
Вес (без клинцев), кг	240	876	1950

П р и м е р. Определить допустимое давление на насосе гидравлических домкратов при освобождении бурильной колонны диаметром $d = 89 \text{ мм}$ с толщиной стенки $\delta = 9 \text{ мм}$, сталь марки Д, если $D_H = 254 \text{ мм}$.

$$P_d = \frac{2 \times 3720 \times 22,6}{3,14 \times 1,2 \times 25,42^2} = 68,6 \text{ кг}/\text{см}^2.$$

§ 4. ДОПУСТИМОЕ УСИЛИЕ НАТЯЖЕНИЯ ПРИ РАСХАЖИВАНИИ ПРИХВАЧЕННОЙ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ

При расхаживании прихваченной бурильной колонны во избежание ее разрыва следует знать допустимое усилие натяжения, т. е. нагрузку на крюке, которая определится по формуле

$$Q_{кр. д} = \frac{\sigma_T}{\eta} F,$$

где η — запас прочности, который при расчетах, связанных с освобождением прихваченной бурильной колонны, принимается равным 1,2—1,3; σ_T — предел текучести материала труб в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$, F — площадь поперечного сечения бурильных труб в см^2 .

П р и м е р. Определить допустимое усилие натяжения при расхаживании прихваченной бурильной колонны труб $d = 141$ мм с толщиной стенок $\delta = 9$ мм из стали марки Д, при $\sigma_T = 3720 \kappa\Gamma/\text{см}^2$; $\eta = 1,2$

$$Q_{кр. д} = \frac{3720}{1,2} 37,5 = 116\,300 \kappa\Gamma; \quad Q_{кр. д} = 116,3 \text{ Т.}$$

§ 5. НАТЯЖЕНИЕ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ ДОМКРАТАМИ

Допустимую величину натяжения бурильной колонны домкратами необходимо сопоставить с состоянием бурильных труб. Не рекомендуется производить натяжение больше 60—70 Т для труб диаметром 114,98 и 73 мм.

Нагрузку на трубы при натяжении их домкратами можно определить в зависимости от давления на насосе домкратов по формуле

$$Q = \frac{2\pi d^2}{4 \times 1000} p,$$

где d — диаметр поршня домкратов в см ; p — давление, определяемое по манометру, в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$; Q — нагрузка в Т (работают два домкрата (табл. 67).

Таблица 67

Диаметр поршня, мм	Давление на насосе домкрата, $\kappa\Gamma/\text{см}^2$										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	100
203	0.648	1.296	1.944	2.592	3.240	3.888	4.536	5.184	5.832	6.480	64.800
210	0.689	1.379	2.068	2.758	3.447	4.136	4.826	5.515	6.205	6.894	68.940
216	0.732	1.464	2.195	2.927	3.659	4.391	5.123	5.854	6.586	7.318	73.180
222	0.776	1.551	2.327	3.102	3.878	4.654	5.429	6.204	6.980	7.755	77.550
229	0.820	1.641	2.461	3.282	4.102	4.922	5.743	6.563	7.384	8.204	82.040
235	0.866	1.733	2.600	3.466	4.383	5.200	6.066	6.933	7.800	8.666	86.660
241	0.918	1.836	2.754	3.672	4.591	5.509	6.427	7.345	8.263	9.181	91.810
248	0.960	1.919	2.879	3.839	4.799	5.758	6.718	7.678	8.638	9.597	95.970
254	1.013	2.026	3.039	4.052	5.065	6.077	7.090	8.103	9.116	10.129	101.290

Пример. Определить натяжение бурильной колонны, если диаметр поршней домкрата $d = 25,4$ см, давление на насосе домкратов $p = 70$ кг/см².

$$Q = \frac{2 \times 3,14 \times 25,4^2}{4 \times 1000} 70 = 70,9 \text{ м.}$$

§ 6. ОСВОБОЖДЕНИЕ ПРИХВАЧЕННОГО ИНСТРУМЕНТА ВЗРЫВОМ ТОРПЕДЫ ИЗ ДЕТОНИРУЮЩЕГО ШНУРА

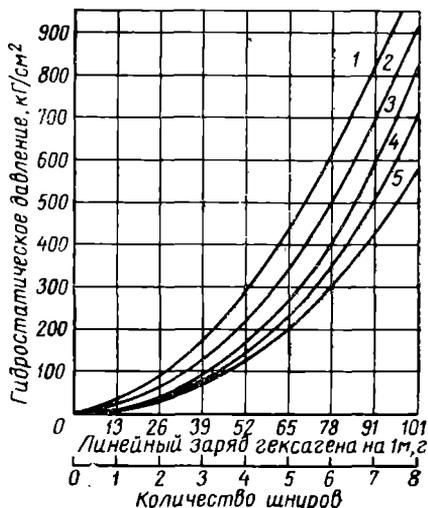


Рис. 34. Зависимость величины заряда торпеды и детонирующего шнура от гидростатического давления для труб разного диаметра (вес ВВ в 1 м детонирующего шнура 13 г).

Диаметры труб: 1 — 73 мм; 2 — 89 мм; 3 — 114 мм; 4 — 141 мм; 5 — 168 мм.

Чтобы торпеда разместилась против резьбового соединения, длина заряда торпеды из детонирующего шнура должна быть на 2—3 м больше длины бурильной трубы. Количество детонирующих шнуров определяют по графику (рис. 34), оно зависит от диаметра труб и гидростатического давления.

Последовательность работ по освобождению прихваченного инструмента

1. Вначале необходимо определить наивысшую точку прихвата бурильного инструмента по формуле Гука.

2. Торпеду из детонирующего шнура спускают и устанавливают непосредственно в интервале намечаемого ослабления резьбового соединения.

3. Взрывают торпеду.

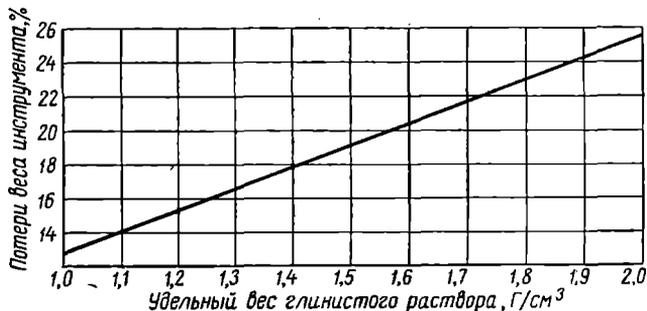


Рис. 35. Определение потерь веса инструмента в глинистом растворе.

4. Приступают к развинчиванию инструмента.

Примечание. При определении цены деления индикатора веса с учетом потери веса бурильных труб в глинистом растворе рекомендуется пользоваться приведенными ниже формулами.

Предварительно подсчитывается вес свободной части инструмента

$$P = Lq(1 - 0,01j),$$

где P — вес свободной части инструмента на крюке в кг; j — потери веса инструмента в глинистом растворе в % (определяется по рис. 35).

Среднюю цену деления индикатора веса, соответствующую фактической нагрузке на крюке от веса свободной части колонны труб, определяют по формуле

$$Ц = \frac{P}{h - h_1},$$

где P — вес свободной части инструмента в кг; h — полное число делений индикатора веса; h_1 — число делений до условного нуля.

Ошибка при определении цены деления не должна превышать 1 м. Все работы, связанные с отвинчиванием, расхаживанием и торпедированием прихваченного бурильного инструмента, необходимо проводить, обязательно соблюдая правила безопасности. Основное внимание должно быть обращено на исправность электропроводки, так как наличие утечек тока может привести к воспламенению запала и взрыву торпеды. Во время расхаживания колонны бурильных труб необходимо постоянно следить за показаниями индикатора веса, состоянием вышки и оборудования (рис. 36).

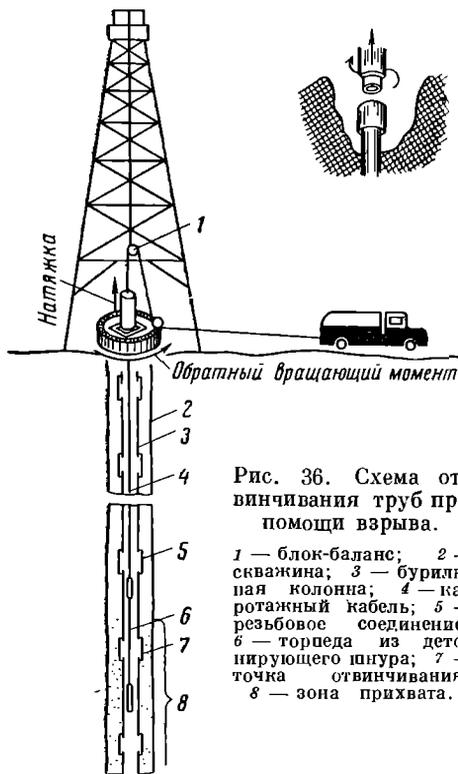


Рис. 36. Схема отвинчивания труб при помощи взрыва.

1 — блок-баланс; 2 — скважина; 3 — бурильная колонна; 4 — каротажный кабель; 5 — резьбовое соединение; 6 — торпеда из детонирующего шнура; 7 — точка отвинчивания; 8 — зона прихвата.

Глава XI

РАСЧЕТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЛИКВИДАЦИЕЙ СКВАЖИНЫ

В соответствии с «Правилами санитарно-технической заделки (тампонаж) водяных скважин», утвержденными Главным управлением водопроводов и канализации Министерства коммунального хозяйства РСФСР и согласованными с санитарно-эпидемиологическим управлением Министерства здравоохранения РСФСР от 2/VII 1956 г., санитарно-техническая заделка (тампонаж) скважины, которая по каким-либо причинам не подлежит эксплуатации, производится для защиты водоносных горизонтов от загрязнения и истощения.

Наиболее надежной заделкой явилась бы та, при которой можно полностью извлечь обсадные трубы. Так как обсадные трубы обычно прихвачены и извлечь их очень трудно, скважину следует тампонировать в обсадных трубах.

Перед началом работ необходимо проверить состояние скважины, т. е. определить степень заиления и наличие посторонних предметов в ней. При проверке в скважине могут быть обнаружены песчаная пробка и посторонние предметы, препятствующие санитарно-технической заделке и вызывающие дополнительные работы для их ликвидации.

Пример. Необходимо затампонировать скважину глубиной 160 м. Скважина обсажена 426-мм трубами на глубину 70 м, фильтровая колона труб диаметром 273 мм на глубине 65—160 м.

В односторонние горизонты располагаются в интервалах 140—155 м и 80—102 м.

В соответствии с установленными санитарно-техническими правилами работы проводятся в следующем порядке.

I стадия.

1. Чистка скважины от заиления, удаление из нее посторонних предметов; разбуривание песчаной пробки трехшарошечным долотом № 6 в интервале 30—160 м.

2. Чистка стенок обсадных труб от коррозии и наростов металлическими щетками в течение одной машино-смены.

3. Монтаж временной эрлифтной установки:

а) воздушные трубы диаметром 73 мм — 45 м;

б) водоподъемные трубы диаметром 168 мм — 50 м.

4. Откачка воды в течение 24 ч.

5. Взятие проб воды на полный физико-химический (3 л) и бактериологический (0,5 л) анализы.

6. Демонтаж эрлифта.

II стадия.

1. Промывка ствола скважины раствором хлорной извести в интервале 0—160 м. Количество раствора хлорной извести определяется по формуле

$$V = \frac{\pi}{4} (D^2H + d^2h),$$

где D — внутренний диаметр кондуктора, равный 406 мм; d — внутренний диаметр фильтровой колонны, равный 255 мм; H — интервал промывки кондуктора, равный 60 м; h — интервал промывки фильтровой колонны, равный 160—60 = 100 м.

Подставляя эти значения в формулу, получим, что

$$V = 0,785 (0,406^2 \times 60 + 0,255^2 \times 100) = 12,87 \text{ м}^3.$$

Количество хлорной извести

$$12\,870 \times 100 = 1\,287\,000 \text{ мг} = 1,287 \text{ кг}.$$

2. Засыпка и утрамбовка промытым и продезинфицированным гравием интервала 160—141 м

$$V_1 = \frac{\pi}{4} d^2 h_1,$$

где h_1 — интервал засыпки, равный 19 м; $V_1 = 0,785 \times 0,255^2 \times 19 = 0,97 \text{ м}^3$.

3. Засыпка и утрамбовка промытым и продезинфицированным песком интервала 141—138 м

$$V_2 = \frac{\pi}{4} d^2 h_2,$$

где h_2 — интервал засыпки, равный 3 м; $V_2 = 0,785 \times 0,255^2 \times 3 = 0,153 \text{ м}^3$.

4. Для установки цементного моста в интервале 138—133 м необходимо следующее количество цементного раствора

$$V_3 = \frac{\pi}{4} d^2 h_3,$$

где h — интервал установки цементного моста, равный 5 м;

$$V_3 = 0,785 \times 0,255^2 \times 5 = 0,256 \text{ м}^3.$$

Для приготовления данного количества цементного раствора необходимо:

цемент тампонажный	1	$\times 0,256 = 0,256 \text{ т}$
песок просеянный	0,77	$\times 0,256 = 0,197 \text{ м}^3$
вода	0,33	$\times 0,256 = 0,084 \text{ м}^3$

Дальнейшие работы по тампонажу скважины в интервалах от 133 до 74 м и от 74 до 12 м, а также в интервале от 12 м до устья проводятся циклами, которые описаны выше (рис. 37).

Последняя стадия.

1. Рытье шурфа размером $1 \times 1 \times 1 \text{ м}$.

2. Обрезание автогенном обсадной трубы на 0,5 м ниже поверхности земли.

3. Установка цементной плиты.

Для затворения бетона следует принять состав цементного раствора 1 : 3, т. е. на 1 м³ бетона требуется 0,33 м³ цементного раствора и 0,67 м³ песка.

Масштаб 1:1000	Номера слоев	Категория пород	Описание пород	Геологический разрез и конструкция скважины	Мощность слоя, м	Глубина подошвы слоя, м	Абсолютная отметка подошвы	Сведения о воде	Диаметры обсадных колонн, мм	Схема санитарно-технической заделки (тампонаж)
10	1	I	Суглинок желто-бурый		4	4	20		Трубы обсадные ф 420 мм	Цементная плита
20	2	I	Песок желто-серый разнозернистый глинистый		11	15	9			от 6 до 1 м цементный мост
			Песок гравийно-галечниковый с песчано-глинистым заполнителем							от 9 до 6 м протезинфицированный песок
30	3	III	Глина желто-бурая жирная		15	30	-6			от 12 до 8 м протезинфицированный гравий
40	4	II	Песок желто-серый с содержанием гравия до 30%		13	43	-19			от 17 до 12 м цементный мост
50			Глина серая жирная							от 20 до 17 м протезинфицированный песок
60	5	I	Глина серая жирная		17	60	-36			
70	6	II	Песок серый разнозернистый с прослойками глин мощностью 2-10 м		13	73	-49			
80										от 74 до 20 м протезинфицированный гравий
90										от 79 до 74 м цементный мост
100										от 82 до 79 м протезинфицированный песок
110										
120										
130										
140										от 133 до 82 м протезинфицированный гравий
150										от 138 до 133 м цементный мост
160	7				87	160	-136		Трубы обсадные ф 273 мм	от 141 до 138 м протезинфицированный песок
										от 160 до 141 м протезинфицированный гравий

Рис. 37. Схема санитарно-технической заделки (тампонаж).

Для приготовления $0,33 \text{ м}^3$ цементного раствора необходимо сухого цемента

$$Q = qV_{\text{ц. р}}\beta,$$

где q — количество сухого цемента, необходимого для затворения 1 м^3 раствора, определяется по формуле

$$q = \frac{\gamma_{\text{ц. р}}\gamma_{\text{в}}}{\gamma_{\text{в}} + m\gamma_{\text{с. ц}}},$$

$\gamma_{\text{с. ц}}$ — удельный вес сухого цемента, равный $3,15 \text{ г/см}^3$;

$\gamma_{\text{в}}$ — удельный вес воды, равный 1 г/см^3 ; m — водо-цементное отношение — $0,5$.

Подставляя эти значения в формулу, получим, что

$$q = \frac{3,15 \times 1}{1 + 0,5 \times 3,15} = 1,22 \text{ т};$$

β — коэффициент, учитывающий потерн цемента при затворении, равный $1,05$ — $1,2$.

Тогда

$$Q = 1,22 \times 0,33 \times 1,05 = 0,42 \text{ т}.$$

Количество воды для затворения цементного раствора определяется по формуле

$$V_{\text{в}} = mQ = 0,5 \times 0,42 = 0,21 \text{ м}^3.$$

После затворения бетона на цементной плите пишутся номер скважины и дата ее цементажа. Затем плита засыпается землей и устанавливается металлический знак с теми же надписями, что и на цементной плите.

Норма расхода сухого цемента для заполнения 1 м затрубного пространства цементным раствором, т

Конструкция (условный диаметр) лотот и обсадных колонн, мм	Объем 1 м затрубного простран- ства, м ³	Коэффициенты запаса											
		1,00	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60
При водо-цементном отношении 0,50													
610—478	0,09390	0,114	0,125	0,131	0,137	0,142	0,148	0,154	0,160	0,166	0,172	0,178	0,184
540—478	0,04955	0,060	0,066	0,069	0,072	0,075	0,078	0,081	0,084	0,087	0,090	0,093	0,096
490—426	0,04602	0,056	0,062	0,064	0,067	0,070	0,073	0,076	0,079	0,082	0,085	0,088	0,091
455—377	0,04388	0,053	0,058	0,061	0,064	0,066	0,069	0,072	0,075	0,078	0,081	0,084	0,087
394—324	0,03894	0,047	0,052	0,054	0,056	0,059	0,061	0,063	0,065	0,067	0,069	0,072	0,074
370—299	0,03729	0,045	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,061	0,063	0,065	0,067	0,069	0,072
346—273	0,03547	0,043	0,047	0,049	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068
320—245	0,03326	0,040	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064
295—219	0,03066	0,037	0,041	0,043	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060
При водо-цементном отношении 0,45													
295—168	0,04616	0,060	0,066	0,069	0,072	0,075	0,078	0,081	0,084	0,087	0,090	0,093	0,096
269—168	0,03461	0,045	0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068	0,070
243—168	0,02420	0,032	0,035	0,037	0,038	0,040	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052	0,054
214—146	0,01922	0,025	0,028	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
190—146	0,01161	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026

Количество утяжелителя (беловского барита удельного веса 4,1—4,2 Г/см³, необходимое для утяжеления глинистого раствора от удельного веса γ_1 до удельного веса γ_2 при 10% влажности барита, кг

Удельный вес искомого глинистого раствора, Г/см ³	Удельный вес утяжеленного глинистого раствора, Г/см ³																				
	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30
1.25	76	156	241	332	425	528	635	747	872	1000	1145	1288	1455	1625	1815	2030	2250	2505	2760	3070	3425
1.30		78	161	249	340	440	544	656	774	900	1046	1181	1345	1510	1695	1900	2115	2370	2620	2915	3160
1.35			80	166	256	352	452	562	680	800	935	1074	1231	1395	1575	1775	1980	2225	2475	2770	3090
1.40				83	170	264	362	468	582	700	830	967	1116	1275	1455	1650	1850	2083	2325	2610	2930
1.45					85	176	271	374	485	600	728	859	1005	1160	1335	1523	1720	1945	2180	2460	2775
1.50						88	181	281	388	500	625	752	893	1044	1210	1395	1586	1810	2035	2305	2610
1.55							90	187	291	400	520	645	784	927	1090	1268	1455	1670	1892	2150	2440
1.60								93	294	400	520	645	784	927	1090	1268	1455	1670	1892	2150	2440
1.65									97	200	312	430	560	696	850	1025	1187	1390	1600	1845	2120
1.70										100	207	322	447	580	728	889	1055	1250	1455	1690	1955
1.75											104	215	335	464	605	762	926	1110	1306	1535	1792
1.80												107	223	348	485	634	794	975	1160	1383	1630
1.85													112	232	364	507	660	835	1035	1236	1465
1.90														232	380	528	695	873	1076	1300	
1.95														116	242	380	528	695	873	1076	1300
2.00															121	253	396	555	726	922	1141
2.05																127	264	417	581	768	980
2.10																	132	278	436	615	815
2.15																		139	291	461	650
2.20																			145	307	490
2.25																				154	326
2.25																					163

Резьбовые соединения обсадных труб с короткой и нормальной длиной резьбы (ГОСТ 632-64)

Приложение 3

Условный диаметр трубы, мм	Наружный диаметр трубы D , мм	Толщина стенки s , мм	Средний диаметр резьбы в основной плоскости d_{cp} , мм	Диаметр резьбы у торца трубы, мм		Длина резьбы, мм			Сбег l_2 , мм	Диаметр цилиндрической расточки у торца муфты d_0 , мм	Внутренний диаметр резьбы в плоскости торца муфты d_1 , мм	Длина цилиндрической расточки l_0 , мм	Расстояние от торца муфты до конца резьбы на трубе при свинчивании от руки (натяг A), мм	Расстояние от торца трубы до середины муфты при свинчивании на станке b , мм	Натяг резьбы трубы (расстояние от измерительной плоскости калибра кольца до торца трубы), мм	
				наружный d_2	внутренний d_3	общая (до конца сбega резьбы) $L = l + l_1$	до основной плоскости (нитки с полным профилем)	от основной плоскости до конца сбega l_1								
114	114,3	6—8	112,566	111,136	107,516	66,5	50,625			116,7	111,230				12,5	3,2
127	127	6	125,266	124,023	120,403	63,5	47,625			129,4	123,930				19	9,7
140	139,7	7—9	137,966	136,534	132,914	70	54,125			129,4	123,930				12,5	3,2
140	139,7	6	137,966	136,130	132,510	66,5	50,625			142,1	136,630				19	9,7
146	146	6,5—11	144,316	142,292	132,672	76	60,125			143,4	142,980				12,5	3,2
168	168,3	7—12	166,341	164,298	160,678	79,5	63,625			170,7	165,205				12,5	3,2
178	177,8	7—12	176,066	173,822	170,203	79,5	63,625	15,875	7,248	170,7	165,205				12,5	3,2
194	193,7	7	191,941	190,105	186,485	73	57,125			180,2	174,730	12,7		9,5	12,5	3,2
194	193,7	8—12	191,941	189,511	185,891	82,5	66,625			196,1	190,512				22	12,7
219	219,1	7	217,341	215,317	211,697	76	60,125			221,5	215,912				12,5	3,2
219	219,1	8—12	217,341	214,723	211,103	85,5	69,625			221,5	215,912				22	12,7
245	244,5	7	242,741	240,311	236,691	82,5	66,625			246,9	241,312				12,5	3,2
245	244,5	8—12	242,741	240,123	236,503	85,5	69,625			246,9	241,312				12,5	3,2
273	273,1	7	271,316	269,667	266,047	70	64,125			275,5	269,887				31,5	22,2
273	273,1	8—12	271,316	268,480	264,860	89	73,125			275,5	269,887				31,5	22,2

Условный диаметр трубы, мм	Наружный диаметр трубы D , мм	Толщина стенки s , мм	Средний диаметр резьбы в основной плоскости $d_{ср}$, мм	Диаметр резьбы у торца трубы, мм		Длина резьбы, мм			Сбег l_2 , мм	Диаметр цилиндрической расточки у торца муфты d_0 , мм	Внутренний диаметр резьбы в плоскости торца муфты d_1 , мм	Длина цилиндрической расточки l_0 , мм	Расстояние от торца муфты до конца резьбы на трубе при свинчивании от руки (натяг A), мм	Расстояние от торца трубы до середины муфты при свинчивания на станке b , мм	Натяг резьбы трубы (расстояние от измерительной плоскости калибра кольца до торца трубы), мм
				наружный d_2	внутренний d_3	общая (до конца сбега резьбы) $L = l + l_1$	до основной плоскости (нитки с полным профилем)	от основной плоскости до конца сбега l_1							
299	298,5	8—12	296,716	293,880	290,260	89	73,125	15,875	7,248	300,9	295,287	12,7	11	12,5	3,2
324	323,9	9—12	322,116	319,280	315,660	89	73,125			326,3	320,687			12,5	3,2
340	339,7	9—12	337,991	335,155	331,535	89	73,125			342,1	336,562			12,5	3,2
407	406,4	9—12	404,666	401,048	397,428	101,5	85,625			408,8	403,237			12,5	3,2
508	508	11	506,266	502,648	499,028	101,5				510,4	504,837			12,5	3,2

Примечания: 1. Концом сбега (последней рисковой резьбы на трубе) считается конец непрерывно исчезающей нитки резьбы.

2. Размеры d_2 , d_3 , d_4 , l_2 , b и угол сбега 12° приведены в качестве справочных.

3. Толщина стенки под резьбой на конце трубы ($t_0 = \frac{d_3 - d}{2}$) определяется из выражения $t_0 = 0,009D + 1$ мм, но должна быть не менее 2 мм.

4. Резьбы труб с условными диаметрами 351, 377 и 426 мм изготавлиются по техническим условиям, утвержденным в установленном порядке.

5. Трубы с толщиной стенки 6 мм поставляются после выпуска соответствующего оборудования.

Обсадные трубы с удлиненной резьбой и муфты к ним (ГОСТ 632-64)

Условный диаметр трубы, мм	Трубы				Муфты						Гидравлическое давление в кг/см ² при испытании труб из стали групп прочности					
	наружный диаметр D , мм	толщина стенки s , мм	внутренний диаметр d , мм	теоретиче- ский вес 1 м, кг	наружный диаметр D_m , мм	длина L_m , мм	расточка		ширина тор- цового пло- щности B , мм	теоретиче- ский вес, кг	Д	К	Е	Л	М	Р
							диаметр d_0 , мм	длина l_0 , мм								
114	114,3	7	100,3	18,5	133	177	116,7	12,7	6	5,6	375	490	540	640	700	700
		8	98,3	20,9							425	560	615	700	700	700
		9	96,3	23,3							480	630	690	700	700	700
127	127	7	113	20,7	146	196	129,4	12,7	6	7	335	440	485	570	660	700
		8	111	23,5							380	505	555	655	700	700
		9	109	26,2							430	565	620	700	700	700
140	139,7	7	125,7	23,0	159	203	142,1	12,7	6,5	8,5	305	400	440	520	600	685
		8	123,7	26,0							350	455	500	595	685	700
		9	121,7	29,1							390	515	565	670	700	700
		10	119,7	32,1							435	570	630	700	700	700
		11	117,7	35,0							475	625	690	700	700	700
146	146	7	132	24,0	166	215	148,4	12,7	6,5	9,7	290	385	420	500	575	700
		8	130	27,2							335	440	480	570	670	700
		9	128	30,4							375	495	540	640	700	700
		10	126	33,5							415	545	600	700	700	700
		11	124	36,6							460	600	660	700	700	700
168	168,3	8	152,3	31,6	188	222	170,7	12,7	6,5	11,3	290	380	420	495	570	700
		9	150,3	35,3							325	430	470	555	645	700
		10	148,3	39,0							360	475	525	620	700	700
		11	146,3	42,6							400	525	575	680	700	700
		12	144,3	46,2							435	570	630	700	700	700
		14	140,3	53,2							505	665	700	700	700	700

Условный диаметр трубы, мм	Трубы				Муфты						Гидравлическое давление в кг/см ² при испытании труб из стали группы прочности					
	наружный диаметр D , мм	толщина стенки s , мм	внутренний диаметр d , мм	теоретиче- ский вес 1 м, кг	наружный диаметр D и', мм	длина L и', мм	расточка		ширина тор- цовой пло- скости B , мм	теоретиче- ский вес, кг	Д	К	Е	Л	М	Р
							диаметр d_0 , мм	длина l_0 , мм								
178	177.8	8	161.8	33.6	198	228	180.2	12.7	6.5	10.7	275	360	395	470	540	680
		9	159.8	37.3							310	405	445	525	605	700
		10	157.8	41.4							340	450	495	585	675	700
		11	155.8	45.0							375	495	545	645	700	700
		12	153.8	49.0							410	540	595	700	700	700
		14	149.8	56.5							475	630	690	700	700	700
194	193.7	8	177.7	36.7	216	235	196.1	12.7	6.5	15.5	250	330	365	430	495	625
		9	175.7	41.1							280	370	405	480	555	700
		10	173.7	45.4							315	415	455	535	620	700
		12	169.7	53.9							375	495	545	645	700	700
		14	165.7	62.2							435	575	635	700	700	700
		219	219.1	9							201.1	46.6	245	354	221.5	12.7
10	199.1			51.5	280	365	400	475	550	690						
11	197.1			56.4	305	405	445	525	600	700						
12	195.1			61.3	335	440	480	570	655	700						
245	244.5			9	226.5	52.4	270	266	246.9	12.7	7.5	25.5				
		10	224.5	58.0	185	245							270	320	365	465
		11	272.5	63.5	205	270							295	350	405	510
		12	220.5	69.8	225	295							325	380	440	560
		14	216.5	79.8	260	340							380	445	515	650

Примечания: 1. По требованию потребителя допускается поставка труб с условными диаметрами 114 и 127 мм с более толстой стенкой.

2. Если расчетное давление p превышает 700 кг/см², испытательное давление принимают равным 700 кг/см².

Обсадные трубы с короткой и нормальной резьбой и муфты к ним (ГОСТ 632-64)

Приложение 5

Условный диаметр трубы, мм	Трубы			Муфты						Испытательное гидравлическое давление в кг/см ² для труб из стали групп прочности					
	наружный диаметр, мм	толщина стенки, мм	внутренний диаметр, мм	наружный диаметр, мм	длина, мм	диаметр, мм	длина, мм	ширина тор- цового пло- скости, мм	теоретиче- ский вес, кг	С	Д	К	Е	Л	М и Р
114	114,3	6	102,3	133	158	116,7	12,7	6	3,7	250	250	420	460	545	
		7	100,3							250	250	490	540	640	
		8	98,3							250	250	560	615	700	
127	127	6	115	146	165	129,4	12,7	6	5,7	250	250	375	415	490	
		7	113							250	250	440	485	570	
		8	111							250	250	505	555	655	
140	139,7	6	127,7	159	171	142,1	12,7	6,5	7,0	220	250	340	375	445	
		7	125,7							250	250	400	440	520	
		8	123,7							250	250	455	500	595	
146	146	6,5	133	166	177	148,4	12,7	6,5	8	225	250	355	390	460	
		7	132							245	250	385	420	500	
		8	130							27,2	250	440	480	570	
		9	128							250	250	495	540	640	
		10	126							250	250	545	600	700	
		11	124							250	250	600	660	700	
			117,7							250	250	625	690	700	

Изготавливаются по согласию сторон

Продолжение прилож. 5

Условный диаметр трубы, мм	Трубы			Муфты					Испытательное гидравлическое давление в кг/см ² для труб из стали групп прочности						
	наружный диаметр, мм	толщина стенки, мм	внутренний диаметр, мм	наружный диаметр, мм	длина, мм	расточка		ширина тор- цовой пло- скости, мм	теоретиче- ский вес, кг	С	Д	К	Е	Л	М и Р
						диаметр, мм	длина, мм								
168	168,3	6,5	155,3	188	184	170,7	12,7	6,5	9,1	105	235	310	340	400	
		7	154,3							215	250	335	365	435	
		8	152,3							245	250	380	420	495	
		9	150,3							250	250	430	470	535	
178	177,8	7	163,8	198	184	180,2	12,7	6,5	10	200	240	315	345	410	
		8	161,8							230	250	360	395	470	
		9	159,8							250	250	405	445	525	
		10	157,8							250	250	450	495	585	
194	193,7	7	179,7	216	190	196,1	12,7	6,5	12,2	250	250	540	545	645	
		8	177,7							250	250	595	595	700	
		9	175,7							210	250	290	315	375	
		10	173,7							240	250	330	365	430	
219	219,1	7	205,1	245	196	221,5	12,7	7,5	16,2	185	220	290	315	375	
		8	203,1							210	250	330	365	430	
		9	201,1							240	250	370	405	485	
		10	199,1							250	250	415	455	535	
		12	189,7							250	250	495	545	645	

Изготавливаются по соглашению сторон

Условный диаметр трубы, мм	Трубы			Муфты				Искалывательное гидравлическое давление в кг/см ² для труб из стали групп прочности						M и P		
	наружный диаметр, мм	толщина стени, мм	внутренний диаметр, мм	наружный диаметр, мм	длина, мм	диаметр, мм	длина, мм	ширина тор- цовой пло- скости, мм	теоретиче- ский вес, кг	C	D	K	E		L	
245	244,5	7 8 9 10 12	230,5 228,5 226,5 224,5 220,5	41,1 46,5 52,4 58,0 69,0	270	196	246,9	12,7	7,5	17,3	110 125 140 155 190	130 150 170 185 225	170 195 220 245 295	190 215 245 270 325	225 255 285 320 380	Изготавливаются по соглашению сторон
273	273,1	7 8 9 10 12	259,1 257,1 255,1 253,1 249,1	45,9 52,3 58,6 64,9 77,2	299	203	275,5	12,7	7,5	21	100 115 135 150 170	115 135 150 165 200	155 175 200 220 265	170 195 220 240 290	200 230 255 285 345	
299	298,5	8 9 10 11 12	282,5 280,5 278,5 276,5 274,5	57,4 64,4 71,3 78,1 84,9	324	203	300,9	12,7	7,5	22,4	105 115 130 140 155	120 135 155 170 185	160 180 200 220 240	175 200 220 245 265	— — — — —	Не изготавливаются
324	323,9	9 10 11 12	305,9 303,9 301,9 299,9	70,1 77,6 85,1 92,6	351	203	326,3	12,7	8,5	23,4	105 120 130 140	125 140 155 170	165 185 200 220	185 205 225 245	— — — —	
340	339,7	9 10 11 12	321,7 319,7 317,7 315,7	73,2 82 89 96,6	365	203	342,1	12,7	8,5	25,5	100 110 125 135	120 135 150 160	160 175 195 210	175 195 215 235	— — — —	

Не изготавливаются

Условный диаметр трубы, мм	Трубы				Муфты						Испытательное гидравлическое давление в кг/см ² для труб из стали групп прочности						
	наружный диаметр, мм	толщина стенки, мм	внутренний диаметр, мм	теоретиче- ский вес 1 м, кг	наружный диаметр, мм	длина, мм	расточка		ширина тор- цового пло- сности, мм	теоретиче- ский вес, кг	С	Д	К	Е	Л	М и Р	
							диаметр, мм	длина, мм									
(351)	(351)	9	333	75,9	376	229	353	16	8,5	29	100	115	155	170	Иготовляются по соглашению сторон	Иготовляются по соглашению сторон	Не изготовляются
		10	331	84,1							110	130	170	190			
		11	329	92,2							120	140	190	205			
		12	327	100,3							130	155	205	225			
(377)	(377)	9	359	81,7	402	229	379	16	8,5	31	90	110	145	Иготовляются по соглашению сторон	Иготовляются по соглашению сторон	Не изготовляются	
		10	357	90,5							100	120	160				175
		11	355	99,3							110	135	175				190
		12	353	108,0							120	145	190				—
407	406,4	9	388,4	88,0	432	228	408,8	12,7	8,5	35,8	85	100	130	Иготовляются по соглашению сторон	Иготовляются по соглашению сторон	Не изготовляются	
		10	386,4	97,5							95	110	150				160
		11	384,4	107,0							105	125	160				180
		12	382,4	117,5							115	135	180				—
426	(425,5)	10	406	102,7	451	229	428	16	8,5	37,5	90	110	140	—	—	—	
		11	404	112,6							100	120	155	—	—	—	
		12	402	112,5							110	130	170	—	—	—	
508	508	11	486	135	533	228	510,4	12,7	8,5	44,6	85	100	—	—	—	—	

Примечания: 1. Размеры труб, указанные в скобках, применять не рекомендуется.

2. Если расчетное давление p превышает 700 кг/см², испытательное давление принимают равным 700 кг/см².

Теоретический объем скважины в зависимости от диаметра долота и глубины скважины, м³

Глубина скважины, м	Диаметр долота, мм												
	171	190	214	243	269	295	320	346	370	394	445	490	540
50	1.015	1.416	1.798	2.317	2.84	3.416	4.018	4.699	5.375	6.095	7.77	9.425	11.445
100	2.030	2.833	3.595	4.635	5.680	6.831	8.038	9.398	10.75	12.19	15.54	18.85	22.89
150	3.045	4.249	5.393	6.952	8.520	10.247	12.056	14.097	16.125	18.285	23.31	28.275	34.335
200	4.06	5.666	7.190	9.270	11.360	13.662	16.076	18.796	21.50	24.38	31.08	37.70	45.78
250	5.075	7.082	8.988	11.587	14.20	17.078	20.094	23.495	22.875	30.475	38.85	47.125	57.225
300	6.09	8.499	10.785	13.905	17.040	20.493	24.114	28.194	32.25	36.57	46.62	56.55	68.67
350	7.105	9.915	12.583	16.222	19.880	23.909	28.132	32.893	37.625	42.665	54.39	65.975	80.115
400	8.12	11.332	14.380	18.540	22.720	27.324	32.152	37.592	43.00	48.76	62.16	75.40	91.56
450	9.135	12.748	16.178	20.857	25.560	30.740	36.170	39.291	49.125	54.855	69.93	84.825	—
500	10.15	14.165	17.975	23.175	28.40	34.165	40.190	46.990	53.75	60.95	77.70	94.25	—
550	11.165	15.581	19.773	25.492	31.24	37.571	44.208	51.689	59.125	67.045	85.47	103.675	—
600	12.18	16.995	21.570	27.810	34.08	40.986	48.228	56.388	64.50	73.14	93.24	—	—
650	13.195	18.414	23.368	30.127	36.92	44.402	52.246	61.875	69.875	79.235	101.01	—	—
700	14.21	19.831	25.165	32.445	39.76	47.817	56.266	65.786	72.25	85.33	—	—	—
750	15.225	21.247	26.963	34.762	42.60	51.233	60.284	70.485	80.625	91.425	—	—	—
800	16.24	22.664	28.76	37.08	45.44	54.648	64.304	75.184	86.00	—	—	—	—
850	17.255	24.08	30.558	39.397	48.28	58.064	68.322	79.883	—	—	—	—	—
900	22.27	25.497	32.355	41.715	51.12	61.489	72.342	84.582	—	—	—	—	—
950	23.285	26.913	34.153	44.032	53.96	64.904	75.758	—	—	—	—	—	—
1000	20.3	28.33	35.95	46.35	56.80	68.31	80.38	—	—	—	—	—	—
1500	30.45	42.49	53.93	69.52	85.20	102.47	—	—	—	—	—	—	—

Теоретический объем 1 м внутреннего пространства обсадных труб в зависимости от толщины их стенок

Диаметр обсадных труб, мм	Объем 1 м внутреннего пространства обсадных труб в м ³ при толщине стенок обсадных труб, мм										
	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	12,0	12,5	14,0	средняя
140	0.0137	0.0133	—	—	0,0125	—	—	0,0117	—	—	0,0133
168	0.0186	0.0181	0.0177	—	0,0172	—	0,0167	0,0163	—	0,0154	0,0180
194	—	0.0249	—	—	0,0238	—	—	0,0227	—	0,0217	0,0240
219	—	0.0340	—	0,0314	—	—	0,0305	—	0,0295	—	0,0314
245	—	0.0412	—	0,0409	—	—	0,0391	—	0,0380	—	0,0401
273	—	—	0.0510	—	—	0,0498	—	0,0487	—	—	0,0504
299	—	—	—	—	0.0611	—	0,0602	0,0594	—	—	0,0602
324	—	—	—	—	0,0730	—	0,0720	0,0711	—	—	0,0726
351	—	—	—	—	0,0860	—	0,0850	0,0839	—	—	0,0846
377	—	—	—	—	—	—	0,0989	0,0978	—	—	0,0985
426	—	—	—	—	—	—	0,1281	0,1268	—	—	0,1275

Трубы бурильные с высаженными внутрь концами и муфты к ним
(по ГОСТ 631-63)

Условный диаметр бурильных труб, мм	Наружный диаметр D , мм	Толщина стенки δ , мм	Внутренний диаметр прохода, мм	Наименьший диаметр прохода, мм	Вес 1 м гладкой трубы, кг	Увеличение веса вследствие высадки обоих концов, кг	Вес муфты, кг
73	73.0	7	59	45	11,4	2,0	4,2
		9	55	34	14,2		
		11	51	28	16,8		
89	89,0	7	75	60	14,2	3,2	4,4
		9	71	49	17,8		
		11	67	45	21,2		
114	114,3	9	96,3	74	23,3	6,0	9,0
		10	94,3	70	25,7		
		11	92,3	68	28,0		
140	139,7	8	123,7	105	26,0	7,5	14,0
		9	121,7	101	29,0		
		10	119	97	32,0		
		11	117	91	35,0		
168	168,3	9	150,3	128	35,3	9,5	16,7
		10	148,3	124	39,0		

Вес колонны бурильных труб, т

Длина колонны бурильных труб, м	Диаметр бурильных труб, мм																
	73			89			114			140			168				
	Толщина стенки трубы, мм																
	7	9	11	7	9	11	7	8	9	10	11	8	9	10	11	9	10
	Средний вес 1 м трубы, кг																
13,6	16,4	18,4	16,82	20,42	23,82	22,9	25,3	27,7	30,1	32,4	32,85	35,85	38,85	41,85	43,55	47,25	
100	1,36	1,64	1,84	1,68	2,04	2,38	2,29	2,53	2,77	3,01	3,24	3,28	3,58	3,88	4,18	4,35	4,72
200	2,72	3,28	3,68	3,36	4,08	4,76	4,58	5,06	5,54	6,02	6,48	6,56	7,17	7,77	8,37	8,71	9,45
300	4,08	4,92	5,52	5,04	6,12	7,14	6,87	7,59	8,31	9,03	9,72	9,84	10,75	11,65	12,55	13,06	14,17
400	5,44	6,56	7,36	6,72	8,16	9,52	9,16	10,12	11,08	12,04	12,96	13,12	14,34	15,54	16,74	17,42	18,90
500	6,80	8,20	9,20	8,40	10,20	11,90	11,45	12,65	13,85	15,05	16,20	16,40	17,92	19,42	20,92	21,77	23,62
600	8,16	9,84	11,04	10,08	12,24	14,28	13,74	15,18	16,62	18,06	19,44	19,68	21,51	23,31	25,11	26,13	28,35
700	9,52	11,48	12,88	11,76	14,28	16,66	16,03	17,71	19,39	21,07	22,68	22,96	25,04	27,19	29,30	30,49	33,08
800	10,88	13,12	14,72	13,44	16,32	19,04	18,32	20,24	22,16	24,08	25,92	26,24	28,68	31,08	33,48	34,84	37,80
900	12,28	14,76	16,56	15,13	18,37	21,43	20,61	22,78	24,93	27,09	28,96	29,52	32,27	34,97	37,67	39,20	42,53
1000	13,6	16,4	18,4	16,82	20,42	23,82	22,9	25,30	27,7	30,1	32,4	32,85	35,85	38,85	41,85	43,55	47,25
1100	14,96	18,04	20,24	18,50	22,46	26,20	25,19	27,83	30,47	33,11	35,64	36,13	39,43	42,73	46,03	48,90	51,97
1200	16,32	19,68	22,08	20,16	24,48	28,56	27,48	30,36	37,24	36,12	38,88	39,41	43,02	46,62	50,22	52,26	56,70
1300	17,68	21,32	23,92	21,84	26,52	30,94	29,77	32,89	35,01	39,13	42,12	42,69	46,60	50,50	54,40	56,61	61,42
1400	19,04	22,96	25,76	23,52	28,56	33,32	32,06	35,42	38,78	42,14	45,36	45,98	50,18	54,38	58,60	60,98	66,16
1500	20,40	24,50	27,60	25,20	30,60	35,70	34,35	37,95	41,55	45,15	48,60	49,16	53,76	58,26	62,78	65,33	70,68
1600	21,76	26,24	29,44	26,88	32,64	38,08	36,64	40,48	44,32	48,16	51,84	52,44	57,36	62,16	66,96	69,68	75,6
1700	23,12	27,38	31,56	28,56	34,68	40,46	38,93	43,01	47,09	51,17	55,08	55,72	60,95	66,05	71,14	74,04	80,33
1800	24,48	28,52	33,12	30,24	36,72	42,84	41,22	45,54	49,86	54,18	58,32	59,00	64,53	69,93	75,33	78,39	85,05
1900	25,84	30,66	34,96	31,92	38,76	45,22	43,51	48,07	52,63	57,19	61,56	62,28	68,12	73,82	79,52	82,75	89,78
2000	27,2	32,8	36,8	33,6	40,8	47,6	45,8	50,6	55,4	60,2	64,8	65,6	71,7	77,7	83,7	87,1	94,5

Трубы буровые и муфты к ним

Приложение 11

Трубы										Муфты				Теоретический вес, кг	
наружный диаметр D , мм	толщина стенки δ , мм	внутренний диаметр d , мм	высадка				диаметр прохода, мм	наружный диаметр D_m , мм	длина L , мм	расточка		1 м гладкой трубы	увеличение веса одной трубы вследствие высадки обоих концов	муфты	
			наружный диаметр D_1 , мм	длина по переходной части l_1 , мм	длина переходной части l_2 , мм	d_1				d'_1	диаметр d_0 , мм				длина L_0 , мм
73	7 9	59 55	73	100	40	45 30	54 40	95	166	76,2	3	7	11,4 14,2	2,5	4,2
89	8 9 11	73 71 67	89	100	40	57 49 45	66 58 54	108	166	92,0	3	5,5	16,0 17,8 21,2	3	4,4
114	8 9 10	98 96 94	114,3	130	55	78 74 70	87 83 79	140	204	117,5	3	4	20,9 23,3 25,6	6	9

Техническая характеристика ведущих труб

Размеры ведущей трубы	Условный размер ведущих труб, мм				
	ЧМТУ 3647-59		ЧМТУ 3613-56		
	63	89	102	127	152
Размер стороны квадрата, мм	65	80	112	140	155
Диаметр канала, мм	30	33	74	85	100
Рабочая длина не менее, м	6,3	6,7	12,5	13,5	13,5
Длина (без замковых переводников) не менее, м	6,6	7,0	13,0	14,0	14,0
Наружный диаметр высаженной части, мм	95	108	—	—	—
Длина высаженной части, мм:					
до перехода	150	160	—	—	—
снаружи	175	175	—	—	—
Диаметр цилиндрической приточки, мм	—	—	110	135	150
Резьба на концах труб	Резьба бурильных труб ГОСТ 631-63				
	Внутренняя				
	3-76	3-88	3-152	3-152	3-152
Нижний конец, правая резьба	Внутренняя		Наружная		
	3-76	3-88	3-121	3-147	3-152
					3-171
Вес 1 м трубы, кг	27	40	60	105	121
Общий вес нижнего и верхнего переводника, кг	—	—	82	90	104
					93

Примечания: 1. Ведущие трубы диаметрами 63 и 89 мм заводами поставляются без нарезки.
 2. Ведущие трубы диаметрами 102, 127, 152 мм поставляются с резьбой на концах, но без замковых переводников. Резьба отличается от ГОСТ 631-63 только диаметром и длиной.

Канаты стальные (трос) ТК 6×37 = 222 проволоки с органическим сердечником (ГОСТ 3071-55)

Диаметр, мм		Площадь сечения всех проволок, мм ²	Расчетный вес 100 мм смазанного каната, кг	Расчетный предел прочности проволоки при растяжении, кг/см ²									
каната	проволоки			130		140		150		160		170	
				Разрывное усилие не менее, кг									
суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом
11.0	0.5	43.51	40.86	5 650	4 630	6 090	4 990	6 520	5 340	6 960	5 700	7 390	6 060
13.0	0.6	62.83	59.0	8 160	6 690	8 790	7 200	9 420	7 720	10 050	8 240	10 650	8 730
15.5	0.7	85.47	80.27	11 100	9 100	11 950	9 790	12 800	10 450	13 650	11 150	14 500	11 850
17.5	0.8	111.67	104.8	14 500	11 890	15 600	12 750	16 750	13 700	17 850	14 600	18 950	15 500
19.5	0.9	141.19	132.6	18 350	15 000	19 750	16 150	21 150	17 300	22 550	18 450	24 000	19 650
22.0	1.0	175.26	164.6	22 750	18 600	24 500	20 050	26 250	21 500	28 000	22 950	29 750	24 350
24.0	1.1	211.98	199.1	27 550	22 500	29 650	24 300	31 750	26 000	33 900	27 750	36 000	29 500
26.0	1.2	253.04	237.7	32 850	26 900	35 400	29 000	37 950	31 100	40 450	33 150	43 000	35 250
28.5	1.3	294.59	266.7	38 250	31 300	41 200	33 750	41 150	36 200	47 100	38 600	50 050	41 000
30.5	1.4	343.20	322.3	44 600	36 500	48 000	39 350	51 450	42 150	54 900	45 000	58 300	47 800
32.5	1.5	392.22	368.4	50 950	41 700	54 900	45 000	58 850	48 250	62 750	51 450	66 650	54 650

Канаты стальные (трос) ТК 6×19 = 114 проволока с органическим сердечником (ГОСТ 3070-55)

Диаметр, мм		Площадь сечения всех проволок, мм ²	Расчетный вес 100 мж смазанного каната, кг	Расчетный предел прочности проволоки при растяжении, кг/мм ²									
каната	проволоки			130		140		150		160		170	
				Разрывное усилие не менее, кг									
суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом	суммар- ное проволок	каната в целом
9.3	0.6	32.26	30.57	4 190	3 560	4 510	3 830	4 830	4 100	5 160	4 380	5 480	4 650
11.0	0.7	43.89	41.59	5 700	4 840	6 140	5 210	6 580	5 590	7 020	5 960	7 460	6 340
12.5	0.8	57.34	54.33	7 450	6 330	8 020	6 810	8 600	7 310	9 170	7 790	9 740	8 270
14.0	0.9	72.50	68.70	9 420	8 000	10 150	8 620	10 850	9 220	11 600	9 850	12 300	10 450
15.5	1.0	89.49	84.80	11 600	9 860	12 500	10 600	13 400	11 350	14 300	12 150	15 200	12 900
17.0	1.1	108.30	102.6	14 050	11 900	15 150	12 850	16 200	13 750	17 300	14 700	18 400	15 600
18.5	1.2	128.32	122.0	16 700	14 150	18 000	15 300	19 300	16 400	20 600	17 500	21 850	18 550
20.0	1.3	151.28	143.3	19 650	16 700	21 150	17 950	22 650	19 250	24 200	20 550	25 700	21 800
22.0	1.4	175.56	166.3	22 800	19 350	24 550	20 850	26 300	22 350	28 050	23 800	29 800	25 300
23.5	1.5	200.64	190.1	26 050	22 100	28 050	23 800	30 050	25 500	32 100	27 250	34 100	28 950
25.0	1.6	229.14	217.1	29 750	25 250	32 050	27 200	34 350	29 150	36 650	31 150	38 950	33 100
26.5	1.7	258.78	245.2	33 600	28 550	36 200	30 750	38 800	32 950	41 400	35 150	43 950	37 350
28.0	1.8	289.56	274.3	37 600	31 950	40 500	34 400	43 400	36 850	46 300	39 350	49 200	41 800

Данные для расчета эрлифтов

13*

Условия работы эрлифта	Отношение глубины динамического уровня от уровня излива воды к глубине погружения смесителя													Рекомендуемые диаметры (в мм) труб (диаметр условного прохода) для откачки эрлифтом при расположении труб по схеме			
	1 : 2,5				1 : 2,0				1 : 1,66					«внутри»		«рядом»	
	Динамический уровень (от уровня излива воды), м													ВОДО-ПОДЪЕМНЫХ		ВОЗДУХО-ПРОВОДНЫХ	
	10	20	30	40	50	20	30	40	50	60	45	55	70	ВОДО-ПОДЪЕМНЫХ	ВОЗДУХО-ПРОВОДНЫХ	ВОДО-ПОДЪЕМНЫХ	ВОЗДУХО-ПРОВОДНЫХ
Глубина погружения смесителя от уровня излива воды, м	25	50	75	100	125	40	60	80	100	120	74,7	91,3	116,2				
Глубина погружения водо-подъемной трубы от уровня излива воды, м	28	53	79	103	128	43	63	83	103	123	77,7	94,3	119,2				
Минимальная глубина скважины, м	33	58	84	110	135	48	68	88	110	130	83,0	100,0	120,0				
Рабочее (избыточное) давление воздуха в воздухопроводной трубе у смесителя, кг/см ²	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	3,0	3,6	4,6				
Удельный расход воздуха м ³ на 1 м ³ воды	3,00	3,81	4,66	5,41	6,15	5,43	6,46	7,50	8,35	9,15	11,76	13,20	14,61				
Расход воздуха (м ³ /мин) и электроэнергии (квт) для подачи воды, м ³ /ч:																	
5	<u>0,25</u>	<u>0,32</u>	<u>0,38</u>	<u>0,42</u>	<u>0,50</u>	<u>0,43</u>	<u>0,53</u>	<u>0,63</u>	<u>0,68</u>	<u>0,70</u>	<u>0,97</u>	<u>1,10</u>	<u>1,25</u>	40	15	32	15
	0,92	1,3	2,10	2,83	3,86	1,5	2,5	3,4	4,1	5,5	4,30	5,25	8,8				

Условия работы эрлифта	Отношение глубины динамического уровня от уровня разлива воды к глубине погружения смесителя													Рекомендуемые диаметры (в мм) труб (диаметр условного прохода) для откачки эрлифтом при расположении труб по схеме				
	1 : 2,5					1 : 2,0				1 : 1,66				«внутри»		«рядом»		
	Динамический уровень (от уровня залива воды), м													«внутри»		«рядом»		
	10	20	30	40	50	20	30	40	50	60	45	55	70	водо-подъемных	воздухо-проводных	водо-подъемных	воздухо-проводных	
Расход воздуха ($м^3/мин$) и электроэнергии ($квт$) для подачи воды, $м^3/ч$																		
10	$\frac{0.50}{1.84}$	$\frac{0.63}{2.80}$	$\frac{0.75}{4.25}$	$\frac{0.84}{5.60}$	$\frac{1.00}{7.73}$	$\frac{0.86}{3.00}$	$\frac{1.10}{5.00}$	$\frac{1.26}{6.80}$	$\frac{1.36}{8.40}$	$\frac{1.60}{13.00}$	$\frac{1.95}{8.60}$	$\frac{2.16}{10.50}$	$\frac{2.50}{17.60}$	50	20	40	20	
20	$\frac{1.00}{3.68}$	$\frac{1.26}{5.60}$	$\frac{1.50}{8.50}$	$\frac{1.70}{11.20}$	$\frac{2.00}{15.45}$	$\frac{1.72}{6.0}$	$\frac{2.12}{10.0}$	$\frac{2.52}{13.6}$	$\frac{2.70}{16.8}$	$\frac{3.35}{26.0}$	$\frac{3.90}{17.2}$	$\frac{4.32}{21.0}$	$\frac{5.0}{35.0}$	80	20—25	70	20	
30	$\frac{1.50}{5.40}$	$\frac{1.90}{8.20}$	$\frac{2.30}{12.73}$	$\frac{2.52}{17.00}$	$\frac{3.00}{23.20}$	$\frac{2.60}{9.0}$	$\frac{3.20}{15.00}$	$\frac{3.80}{20.00}$	$\frac{4.00}{25.00}$	$\frac{4.20}{33.0}$	$\frac{5.84}{26.00}$	$\frac{6.48}{31.5}$	$\frac{7.50}{53.0}$	100	25	70	20	
50	$\frac{2.50}{9.00}$	$\frac{3.15}{14.0}$	$\frac{3.75}{21.50}$	$\frac{4.20}{28.50}$	$\frac{5.00}{38.65}$	$\frac{4.30}{15.0}$	$\frac{5.30}{25.0}$	$\frac{6.30}{33.4}$	$\frac{6.70}{42.0}$	$\frac{7.2}{55.0}$	$\frac{9.74}{43.20}$	$\frac{10.8}{52.5}$	$\frac{12.5}{88.0}$	125	25—32	100	25	
100	$\frac{5.00}{18.0}$	$\frac{6.30}{28.0}$	$\frac{7.50}{43.0}$	$\frac{8.4}{57.0}$	$\frac{10.0}{77.0}$	$\frac{8.60}{30.0}$	$\frac{10.6}{50.0}$	$\frac{12.6}{68.0}$	$\frac{13.4}{84.0}$	$\frac{14.5}{110.0}$	$\frac{19.5}{86.0}$	$\frac{21.6}{105.0}$	$\frac{25.0}{176.0}$	200	50	157	40	

Примечание: В числителе указан расход воздуха, в знаменателе — электроэнергии.

Таблица пересчета л/сек в м³/сутки

л/сек	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	86,4	172,8	259,2	345,6	432,0	518,4	604,8	691,2	777,6
10	864,0	950,4	1036,8	1123,2	1209,6	1296,0	1382,4	1468,8	1555,2	1641,6
20	1728,0	1814,4	1900,8	1987,2	2073,6	2160,0	2246,4	2332,8	2419,2	2505,6
30	2592,0	2678,4	2764,8	2851,2	2937,6	3024,0	3110,4	3196,8	3283,2	3369,6
40	3456,0	3542,4	3628,8	3715,2	3801,6	3888,0	3974,4	4060,8	4147,2	4233,6
50	4320,0	4406,4	4492,8	4579,2	4665,6	4752,0	4838,4	4924,8	5011,2	5097,6
60	5184,0	5270,4	5356,8	5443,2	5529,6	5616,0	5702,4	5788,8	5875,2	5961,6
70	6048,0	6134,4	6220,8	6307,2	6393,6	6480,0	6566,4	6652,8	6739,2	6825,6
80	6912,0	6998,4	7084,8	7171,2	7257,6	7344,0	7430,4	7516,8	7603,2	7689,6
90	7776,0	7862,4	7948,8	8035,2	8121,6	8208,0	8294,4	8380,8	8467,2	8553,6

Таблица пересчета л/сек в м³/ч

л/сек	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	3,6	7,2	10,8	14,4	18,0	21,6	25,2	28,8	32,4
10	36,0	39,6	43,2	46,8	50,4	54,0	57,6	61,2	64,8	68,4
20	72,0	75,6	79,2	82,8	86,4	90,0	93,6	97,2	100,8	104,4
30	108,0	111,6	115,2	118,8	122,4	126,0	129,6	133,2	136,8	140,4
40	144,0	147,2	151,2	154,8	158,4	162,0	165,6	169,2	172,8	176,4
50	180,0	183,6	187,2	190,8	194,4	198,0	201,6	205,2	208,8	212,4
60	216,0	219,6	223,2	226,8	230,4	234,0	237,6	241,2	244,8	248,4
70	252,0	255,6	259,2	262,8	266,4	270,0	273,6	277,2	280,8	284,4
80	288,0	291,6	295,2	298,8	302,4	306,0	309,6	313,2	316,8	320,4
90	324,0	327,6	331,2	334,8	338,4	342,0	345,6	349,2	352,8	356,4

Технические данные буровых установок, применяемых для бурения водяных скважин

Показатели	УРВ-2А	УРВ-3АМ	УРВ-3АВ	УРВ-4ПМ	БА-15В
Тип буровой установки . . .		Самоходная		Передвижная	Самоходная
Глубина бурения, м	200	300	300	500	
Рекомендуемые диаметры бурения, мм:					
начальный	146	248	394	394	490
конечный (минимальный)	76	76	76	76	76
Диаметр бурильных труб, м	50; 60,3	60,3; 73	60,3, 73	73; 89; 114	73; 89
Тип вращателя			Ротор		
Размер отверстия ротора, мм	150	250	410	360	410
Скорость вращения ротора, об/мин	106; 210; 320	110; 190; 314 Обратный ход 46	83; 143; 126 Обратный ход 35	85; 146; 241; 382 Обратный ход 66	65; 130; 246
Система подачи инструмента	Канатно-цепная с механическим приводом	Свободная с тормоза лебедки	Свободная с тормоза лебедки	Свободная с тормоза лебедки или с гидравлическим тормозом	Свободная с тормоза лебедки
Тип лебедки	Двухбарабанная	Однобарабанная с дисковым фрикционом	Однобарабанная с двухдисковой муфтой	Однобарабанная с дисковым фрикционом	Одновальная с фрикционной муфтой
Натяжение каната, Т	На обоих барабанах 2,5	3,5	3,7	При работе одного двигателя 3,5; двух — 6	3,9
Скорость подъема крюка, м/сек	0,67; 1,34; 2,03	При оснастке 2×1: 0,51; 0,87; 1,45	При оснастке 4×3: 0,225; 0,385; 0,64	При оснастке 4×3: 0,28; 0,35; 0,64; 1,01	При оснастке 3×2: 0,36; 0,73; 1,37
Канатоемкость барабана лебедки, м	—	100	100	175	100
Рекомендуемый диаметр каната, мм	—	15,5	15,5	21,5—26	17,5

Показатели	УРБ-2А	УРБ-3АМ
Номинальная грузоподъемность установки, т . . .	2,5	10
Буровой насос:	НГр	11Гр
производительность, л/сек	5	5
давление на выкиде, кг/см ²	40	50
приводная мощность (расчетная), л. с.	50	48
Подъемное устройство	Мачта	Мачта складная
Высота вышки, мачты, м	9,5	16
Грузоподъемность вышки, мачты, т	2,5	10
Привод установки	От ходового двигателя автомашины	Д-54
Тип двигателя	Бензиновый	.
Мощность, л. с.	50	54
Количество двигателей	1	1
Тип ходовой части основных блоков	ЗИЛ-151	МАЗ-200
Габариты установки, м	10,9×2,25×3,3 (без прицепа)	10,7×2,8×3,4
Вес основных блоков установки, т	10,1	6,8 (без автомашины)
Полный вес комплекта буровой установки, т	14,1 с прицепом и 200 м 60,3-мм бурильных труб	13,56

УРБ-3АВ	УРБ-4ПМ	БА-15В
15 9МГр	16 9МГр	15 11ГрБ
11,2	11,2	5
50	150	60
60 Мачта складная	100 Вышка металличе- ская разборная	60 Мачта складная
16	21,05	16
15 СМД-14Б	25 КДМ-100	15 ЯМЗ-236
100 1	100 2	100 1
МАЗ-200 10,7×2,8×3,4	Двигель Гусеничная тележка «Восток» 8,75×2,75×2,9	МАЗ-200П
13,8 (без насоса)	Гусеничная те- лежка с оборудо- ванием — 19	
21,5	43	

ЛИТЕРАТУРА

- Анатольевский П. А., Малоян А. В., Шнееров О. М. **Технология бурения скважин на воду.** Гостоптехиздат 1962.
- Анатольевский П. А., Малоян А. В., Шнееров О. М. **Эксплуатация и ремонт водяных скважин.** Изд-во «Недра», 1964.
- Белоусов В. О., Спивак А. И. **Спутник буровика.** Гостоптехиздат, 1960.
- Дубровский В. В., Керченский М. М., Плохов В. И., Сиднев Я. А. **Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду.** Изд-во «Недра», 1964.
- Жуховицкий С. Ю. **Глинистые растворы в бурении.** Гостоптехиздат, 1955.
- Ибатулов К. А. **Практические расчеты по буровым и эксплуатационным машинам и механизмам.** Азнефтеиздат, 1955.
- Иночкин П. Т., Прокшиц В. Л. **Справочник бурового мастера.** Изд-во «Недра», 1966.
- Казьмин В. С. **Передвижные установки для бурения скважин.** Гостоптехиздат, 1959.
- Малоян А. В., Плохов В. И. **Бурение скважин на воду. Краткий справочник.** Изд-во «Недра», 1966.
- Михайлов В. Р. **Бурение нефтяных и газовых скважин.** Гостоптехиздат, 1959.
- Федоров В. С. и др. **Практические расчеты в бурении.** Изд-во «Недра», 1966.
- Протасов Г. Н. **Типовые задачи вращательного бурения нефтяных скважин.** Азнефтеиздат, 1947.
- Шацов И. И. и др. **Бурение нефтяных и газовых скважин.** Гостоптехиздат, 1961.
- Справочное руководство гидрогеолога.** Гостоптехиздат, 1959.
- Спутник буровика.** Гостоптехиздат, 1960.
- Справочник бурового мастера.** Азнефтеиздат, 1956
- Нормирование расходов и запасов материалов в нефтяной промышленности.** Гостоптехиздат, 1959.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Введение	3
Г л а в а I	
Технология процесса бурения	
§ 1. Технология бурения скважин	6
§ 2. Режим бурения	6
§ 3. Осевая нагрузка на долото	7
§ 4. Скорость вращения ротора	10
§ 5. Количество и качество промывочной жидкости	10
§ 6. Продувка скважин	12
§ 7. Бурение с промывкой аэрированной жидкостью	15
Г л а в а II	
Выбор конструкции скважин, расчеты колонн обсадных труб	
§ 1. Конструкция скважины	1
§ 2. Диаметр ствола скважины	17
§ 3. Примеры обоснования конструкции скважин	19
§ 4. Расчет обсадных колонн	21
Г л а в а III	
Промывка скважин	
§ 1. Влияние промывки глинистым раствором при бурении скважин	28
§ 2. Влияние свойств глинистых растворов на водоотдачу	29
Г л а в а IV	
Очистка и обработка глинистых растворов	
§ 1. Очистка глинистых растворов от выбуренной породы	32
§ 2. Расчет количества глины для приготовления 1 м ³ глинистого раствора заданного удельного веса	36
§ 3. Принятые обозначения и размерности	37
§ 4. Измерение параметров глинистых растворов	37
§ 5. Химическая обработка глинистых растворов	41
§ 6. Меры борьбы с водопроявлениями	47
§ 7. Борьба с поглощениями	49
§ 8. Обработка глинистого раствора	52
§ 9. Снижение гидростатического столба жидкости на забой при подъеме бурильного инструмента	54
§ 10. Скорость движения раствора	55
§ 11. Удерживающая способность глинистого раствора	56

§ 12.	Гидростатическое давление	56
§ 13.	Глубина проникновения глинистого раствора в породы	58
§ 14.	Степень минерализации глинистого раствора в зависимости от проходимых пород	58
§ 15.	Удельный вес глинистого раствора для предупреждения открытого фонтанирования воды из скважины при бурении или вскрытии пласта	59
§ 16.	Влияние подземных вод и растворимых солей в породах на качество глинистых растворов в процессе бурения	59
§ 17.	Потери давления по пути движения глинистого раствора	60
§ 18.	Длина и уклон желобной системы	61

Г л а в а V

Разобшение водоносных горизонтов.

Крепление скважин

§ 1.	Подготовка ствола скважины к спуску колонны обсадных труб	64
§ 2.	Подготовка обсадных труб	64
§ 3.	Подготовка вышки и бурового оборудования	65
§ 4.	Спуск колонны	65
§ 5.	Глубина «порожнего» места	65
§ 6.	Обратные клапаны	66
§ 7.	Цементирование скважин	71

Г л а в а VI

Расчеты водоприемной части скважин

§ 1.	Расчет основных параметров фильтра	80
§ 2.	Скважность перфорированных фильтров	82
§ 3.	Скважность целевых фильтров	82
§ 4.	Подбор гравийной обсыпки	83
§ 5.	Влияние диаметра фильтра и расположения его в водоносном горизонте на производительность скважин	84
§ 6.	Количество отверстий на 1 м фильтра	84
§ 7.	Диаметр и длина фильтра	86
§ 8.	Расчет спуска фильтровой колонны	88
§ 9.	Просвет сеток водоприемной поверхности фильтров	88

Г л а в а VII

Расчет дебитов водяных скважин

§ 1.	Количество воды, необходимое для водоснабжения населенного пункта	90
§ 2.	Химический состав воды	91
§ 3.	Физические свойства воды	93
§ 4.	Опробование скважин откачками	94
§ 5.	Глубина погружения воздухопроводной трубы	98
§ 6.	Давление сжатого воздуха	99
§ 7.	Глубина загрузки смесителя эрлифта	100
§ 8.	Расчет понижения уровня воды	100
§ 9.	Расчет производительности водяной скважины	101
§ 10.	Расчет дебита скважины, эксплуатирующей несколько водоносных горизонтов	101
§ 11.	Дебит скважины в грунтовых водах	104
§ 12.	Дебит одиночной водяной скважины (напорной)	105
§ 13.	Удельный дебит скважины	106
§ 14.	Объемный способ замера дебита скважины	106

§ 15. Расчет размещения скважин с учетом обеспечения зоны санитарной охраны	107
§ 16. Расчет балансирных приводов	107
§ 17. Насосно-компрессорные трубы	109
§ 18. Дебит скважины и глубина спуска насоса	110

Г л а в а VIII

Расчеты, связанные с увеличением водопритока

§ 1. Применение торпеды из детонирующего шнура для очистки фильтров	118
§ 2. Торпедирование скважин для увеличения водопритока	121
§ 3. Расчет солянокислотной обработки фильтров	122
§ 4. Реагенты, применяемые при солянокислотных обработках	124

Г л а в а IX

Расчеты наземных сооружений и оборудования

§ 1. Расчет буровых вышек	125
§ 2. Расчет треноги	127
§ 3. Расчет перетаскивания буровой вышки	129
§ 4. Водоснабжение буровой установки	130
§ 5. Подсчет производительности бурового насоса	132
§ 6. Определение расстояния между шкивами двигателя и глиномешалки	139
§ 7. Расчет буровых шлангов	140
§ 8. Кинематическая схема буровой установки УРБ-ЗАМ	141
§ 9. Скорость вращения стола ротора (долота)	143
§ 10. Кинематическая схема буровой установки УРБ-4ПМ	143
§ 11. Расчет стального каната на прочность	146
§ 12. Определение диаметра пенькового каната	149
§ 13. Число струн талевой системы	150
§ 14. Необходимая длина стального каната	151
§ 15. Подбор диаметра барабана лебедки и роликов талевой блока и кронблока	152
§ 16. Расчет норм расхода стального каната	152
§ 17. Условия для внедрения долот в породу	153
§ 18. Применение утяжеленных бурильных труб	154
§ 19. Расчет бурильного инструмента на прочность	155
§ 20. Подсчет норм расхода бурильных труб для бурения скважин на воду	157
§ 21. Определение нагрузки по показаниям индикатора веса	160

Г л а в а X

Предупреждение и ликвидация аварий

§ 1. Освобождение прихваченного бурильного инструмента	163
§ 2. Примерный расчет требуемого количества нефти для ванны	166
§ 3. Допустимое давление на насосе гидравлических домкратов	168
§ 4. Допустимое усилие натяжения при расхаживании прихваченной бурильной колонны	169
§ 5. Натяжение бурильной колонны домкратами	169
§ 6. Освобождение прихваченного инструмента взрывом торпеды из детонирующего шнура	170

Г л а в а XI

Расчеты, связанные с ликвидацией скважины

Приложения	176
Литература	200

Арменак Владимирович МАЛОЯН,

Эдуард Арменакович МАЛОЯН

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ
ПО БУРЕНИЮ СКВАЖИН
НА ВОДУ**

Редактор издательства *Чопорова Т. А.*
Техн. редактор *Сивова Т. Г.*
Корректор *Аполчина А. С.*

Сдано в набор 15/1 1968 г.
Подписано в печать 22/IV 1968 г.
Т-07602. Формат 60 × 90^{1/16}.
Печ. л. 12,75. Уч.-изд. л. 12,80.
Бумага № 2. Индекс 1-3-1.
Заказ 1463/984-5. Тираж 9000 экз.
Цена 74 коп.

Издательство «Недра». Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19.

Ленинградская типография № 14
«Красный Печатник» Главполиграфпрома
Комитета по печати
при Совете Министров СССР.
Московский проспект, 94.