

РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН  
НАВОИЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ  
НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

---

---

На правах рукописи

УДК 622.271

*Рахманов Санжар Юлдашевич*

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА**

на тему:

**«ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ  
ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН»**

по направлению: 5521400 – «Горная электромеханика»

Работа рассмотрена и допускается к  
защите

Зав. кафедрой «Горная электромеханика»:

\_\_\_\_\_ доц. Тошов Б.Р.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

Научный руководитель:

\_\_\_\_\_ доц. Тошов Ж.Б.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

**НАВОИЙ – 2010**

***Рахманов С.Ю.***

Повышения эффективности бурения геотехнологических скважин. Выпускная квалификационная научно-исследовательская работа выполнена по направлению 5521400 – «Горная электромеханика». Навоий, 2010. 67 с.

Выпускная квалификационная научно-исследовательская работа посвящена повышению эффективности бурения геотехнологических скважин.

В данной работе рассмотрены увеличение производительности буровых установок для геотехнологических скважин. Рекомендации по снижению себестоимости буровых работ путём перехода на меньшие диаметры бурения при постоянных эксплуатационных параметрах скважины.

В работе, для повышения производительности буровых работ геотехнологических скважин и уменьшения диаметр скважин, предложено применение расширителей комбинированного действия.

Табл. 2, ил. 10, список лит. 18 назв.

**Рецензенты:**

Заместитель начальника производственно-технического отдела по буровым работам РУ-5 Навоийского горно-металлургического комбината М.М. Худайбердиев.

Начальник научного отдела Навоийского государственного горного института канд. техн. наук И.П. Эгамбердиев.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДОБЫЧИ ПИ МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИНАХ .....	8
1.1. Основные сведения о методе подземного выщелачивания и о геотехнологических скважинах .....	8
1.2. Классификация геотехнологических скважин .....	11
1.3. Способы бурения геотехнологических скважин .....	13
1.4. Искривление скважин. Мероприятия по поддержанию заданного направления технологических скважин .....	15
Выводы по главе I .....	17
II. БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ, КОНСТРУКЦИИ И КРЕПЛЕНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН .....	18
2.1. Основные факторы, определяющие выбор буровых агрегатов .....	18
2.2. Самоходные буровые агрегаты с роторными вращателями и установки со шпindelными вращателями .....	20
2.3. Конструкции геотехнологических скважин для подземного выщелачивания (ПВ) металлов .....	26
2.4. Крепление геотехнологических скважин .....	34
Выводы по главе II .....	38
III. Цементирование и гидроизоляция геотехнологических скважин .....	40
3.1. Назначение, способы и технические средства цементирования геотехнологических скважин .....	40
3.2. Технические средства и технология гидроизоляции зон движения рабочих и продуктивных растворов .....	44
3.3. Технология вскрытия продуктивных горизонтов .....	48
Выводы по главе III .....	54

IV. ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН .....	56
4.1. Технология сооружения геотехнологических скважин в прифильтровую зону.....	56
4.2. Расширение призабойной зоны геотехнологических скважин .....	59
Выводы по главе IV.....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	66

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** В настоящее время в Республике Узбекистан практические подтвержденные, оцененные и промышленные запасы твердых полезных ископаемых сосредоточены в Кызылкумском регионе.

Из числа из них месторождения урана экзогенно-магнетического происхождения характеризуются разнообразием минералогического состава, крайне сложными горнотехническими и гидрогеологическими условиями залегания, что в значительной мере затрудняет либо исключает их отработку традиционными горными способами. Поэтому увеличение ее выпуска на основе повышения эффективности производства в сложных условиях Кызылкумского региона при рациональном использовании ресурсов является актуальной проблемой, решение которой имеет существенное экономическое значение для Узбекистана.

В последнее время для добычи многих твердых полезных ископаемых (ПИ) применяют геотехнологические методы добычи с использованием буровых скважин. Они позволяют упростить и удешевить добычу, производить отработку бедных месторождений, а также месторождений, характеризующихся сложными условиями залегания. Вскрытие рудной залежи осуществляют геотехнологическими методами с применением буровых скважин.

Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых позволяют снизить в некоторых случаях в 2 – 4 раза капитальные затраты на строительство предприятий, повысить производительность труда по конечной продукции, сократить численность работающих. Кроме того, их применение способствует значительному улучшению условий труда и уменьшению отрицательного воздействия на окружающую среду.

Одним из геотехнологических методов является метод подземного выщелачивания (ПВ). *Подземное выщелачивание (ПВ)*, метод добычи полезного ископаемого избирательным растворением его химическими реагентами в рудном теле на месте залегания с извлечением на поверхность.

ПВ применяется для добычи цветных металлов и редких элементов и др. ПВ относится к фильтрационным процессам и основано на химических реакциях «твёрдое тело – жидкость».

При ПВ проницаемых рудных тел месторождение вскрывается системой скважин, располагаемых (в плане) рядами, многоугольниками, кольцами. В скважины подают растворитель, который, фильтруясь по пласту, выщелачивает полезные компоненты. Продуктивный раствор откачивается через другие скважины. В связи выше изложенным выбор и обоснование технологической схемы подземного выщелачивания, способов бурения, технологии бурения и оборудования скважин при подземном выщелачивании твердых полезных ископаемых является весьма актуальной задачей горного производства.

**Целью работы** является повышения эффективности бурения геотехнологических скважин путем уменьшения диаметр скважины.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Анализ методов подземного выщелачивания при добыче полезных ископаемых и технология бурения геотехнологических скважинах.

2. Выбор и обоснование бурового оборудование для сооружения конструкции и крепление геотехнологических скважин.

3. Обоснование способа и технических средства для цементирования геотехнологических скважин и технологии вскрытия продуктивных горизонтов.

4. Обоснование выбора забойного оборудование и основные направления повышения эффективности сооружения геотехнологических скважин.

**Основные методы исследования.** Выпускная квалификационная научно-исследовательская работа выполнена с применением комплексного метода исследований, включающего: анализ известных методов подземного

выщелачивания; теоретические исследования технологии забойного оборудования геотехнологических скважин.

**Научная новизна работы заключается в обосновании** уменьшения диаметра эксплуатационных скважин путем применения расширителей в прифильтровую зону при бурении геотехнологических скважин.

**Практическая ценность работы.** Выполненная работа дает возможность выбор бурового оборудования и технологии сооружения геотехнологических скважин в условиях со сложными горно-геологическими условиями залегания.

**Апробация работы.** Основные положения научно-исследовательской выпускной квалификационной работы отражены в следующих научных публикациях автора: Рахманов С.Ю. (рук. к.т.н., доц. Тошова Ж.Б.) Пути повышения эффективности бурения геотехнологических скважин. // Научно-практическая конференция одаренных студентов и магистрантов «Баркамол авлод келажак пойдевори». Навоий, 28 мая 2010 г.

**Структура и объем работы.** Научно-исследовательская выпускная квалификационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, изложенных на 67 страницах машинописного текста, содержит 10 рисунков, 2 таблиц, список литературы из 18 наименований.

Автор выражает искреннюю благодарность и глубокую признательность научному руководителю кандидату технических наук, Ж.Б.Тошову, начальнику научного отдела Навоийского государственного горного института кандидату технических наук И.П. Эгамбердиеву за принципиальные замечания и ценные рекомендации при подготовке данной выпускной квалификационной научно-исследовательской работы.

# І. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДОБЫЧИ ПИ МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИНАХ

## 1.1. Основные сведения о методе подземного выщелачивания и о геотехнологических скважинах

Сущность подземного выщелачивания ПИ заключается в избирательном переводе полезного компонента в жидкую фазу путем управляемого движения растворителя по руде в естественном залегании или подготовленного к растворению и подъему насыщенного металлом раствора на поверхность. С этой целью через скважины, пробуренные с поверхности в пласт ПИ нагнетается химический реагент, способный переводить минералы полезного ископаемого в растворимую форму. Раствор, пройдя часть рудного пласта, через другие скважины поднимается на поверхность и далее по трубопроводу транспортируется к установкам для переработки.

Принципиальная схема подземного выщелачивания металлов приведена на рис. 1.1.

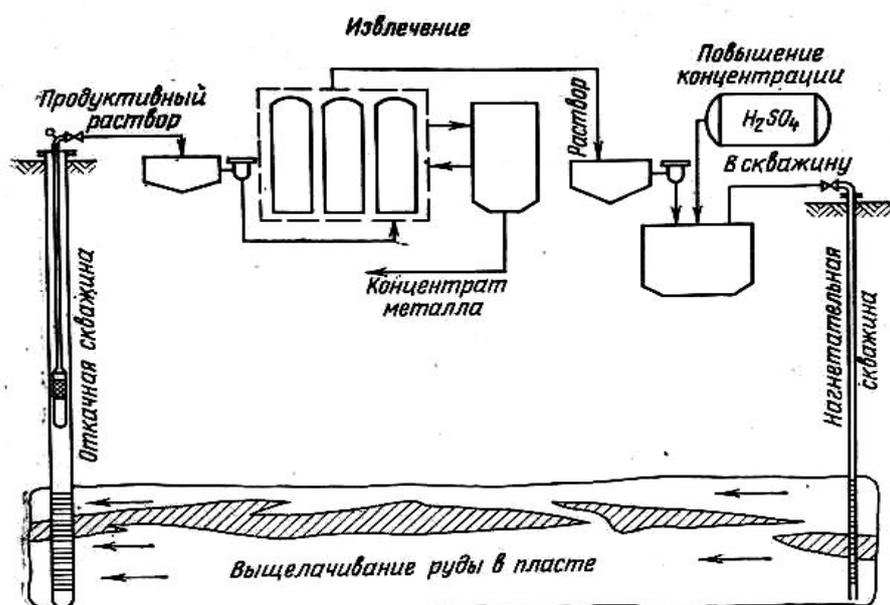


Рис. 1.1. Принципиальная технологическая схема подземного выщелачивания

В случае монолитных, непроницаемых руд выщелачивание осуществляется из горных выработок, вскрывших пласт ПИ. Раздробленную с помощью буровзрывных работ горную массу орошают растворителем, который, стекая вниз, растворяет минералы полезного ископаемого. Продуктивные растворы собираются на нижнем горизонте и перекачиваются затем на поверхность, для переработки.

Важнейшими природными предпосылками применения ПВ являются способность ПИ и его соединений переходить в раствор при воздействии на рудный пласт водного раствора выщелачивающего реагента, а также возможность фильтрации выщелачивающих растворов в породах продуктивного горизонта.

Выбор растворителя для ПВ зависит от состава руд. Наиболее широкое применение находят водные растворы кислот (серной, соляной, азотной) или соды.

ПВ применяется при добыче урановых руд, цветных и редких металлов (медь, никель, свинец, цинк, золото и др.). Имеются предпосылки использования его для добычи фосфоритов, боратов и др.

Важным фактором повышения эффективности добычи методом ПВ является правильный выбор схемы размещения технологических скважин и расстояний между ними. В практике эксплуатации месторождений в основном применяется линейная схема расположения скважин, представляющая собой чередование рядов нагнетательных и откачных скважин. Расстояния между рядами и скважинами в ряду колеблются в широких пределах (15 – 50 м и более). Наиболее широкое распространение получила схема 25x50 м.

#### *Основные сведения о геотехнологических скважинах.*

Буровые скважины при ПВ являются ответственным сооружением и служат не только для вскрытия пластов ПИ, но и основным техническим средством в процессе добычи. Буровые скважины производят подачу рабочих агентов в зону продуктивного пласта и подъем технологических

растворов на поверхность, выполняют все операции, связанные как непосредственно с процессом добычи, так и контролем за ходом этого процесса. С помощью буровых скважин производится также контроль полноты извлечения полезного компонента и охрана окружающей среды от возможного физико-химического загрязнения. Кроме того, с помощью буровых скважин уточняются данные геологической разведки (положение рудного пласта, условия залегания и др.), физико-механические и физико-химические свойства пород, создаются противofильтрационные завесы.

При ПВ руд путем воздействия кислотных, щелочных и бактериальных растворителей диаметр скважины определяется размерами раствороподъемного оборудования (эрлифты, погружные насосы и др.).

В зависимости от существующих конструкций добычных агрегатов конечные диаметры геотехнологических скважин колеблются от 150 до 400 мм.

Следует отметить, что диаметры стволов геотехнологических скважин должны определяться с учетом затрат на бурение и на добычу полезного компонента.

Известно, что при уменьшении диаметра скважин все технико-экономические показатели бурения повышаются – увеличиваются механическая и рейсовая скорости, уменьшаются энергетические затраты и трудоемкость выполнения спускоподъемных операций, снижается стоимость 1 м бурения и оборудования скважин.

С другой стороны, при увеличении размеров добычного и подъемного оборудования повышается производительность скважин и эффективность добычи. Поэтому критерием выбора диаметра скважин в конечном счете является стоимость добытой руды. Необходимо стремиться к тому, чтобы применяемое добычное оборудование при равной производительности имело бы меньшие размеры. Это позволит уменьшить диаметры скважин, снизить стоимость буровых работ, а в результате – и стоимость добычи.

Направление геотехнологических скважин выбирается с учетом характера залегания пластов полезных ископаемых. При горизонтальном залегании пластов скважины задаются вертикальными. При наклонном залегании они могут быть наклонными или направленными вдоль пласта, что может способствовать увеличению добытой руды из одной скважины. Повышению количества добытой руды из одной скважины и уменьшению стоимости, особенно при глубоко залегающих пластах, может способствовать применение многоствольного бурения. Вскрытие может осуществляться с помощью одиночных скважин и комбинированным способом.

Глубины геотехнологических скважин определяются глубиной залегания продуктивных пластов и колеблются в широких пределах – от нескольких метров до 1000 м и более.

## **1.2. Классификация геотехнологических скважин**

По своему назначению, составу и объему выполняемых функций буровые скважины, используемые для добычи твердых ПИ, подразделяются на две основные группы: эксплуатационные и вспомогательные.

*Эксплуатационные* скважины предназначены для осуществления непосредственного процесса добычи – подачи рабочего агента на забой скважины и подъема образующегося раствора из скважины на поверхность.

Эксплуатационные скважины для ПВ металлов с использованием кислотных или других растворителей подразделяются на нагнетательные и откачные.

*Нагнетательные* технологические скважины предназначены для подачи в продуктивный пласт рабочих растворов.

*Откачные* скважины предназначены для подъема продуктивных растворов на поверхность.

К *вспомогательным* скважинам относятся разведочные, наблюдательные, контрольные, барражные, для гидроразрыва пластов, анкерные и др.

*Разведочные* скважины используются для уточнения положения пласта ПИ, его мощности, условий залегания и др. Бурение разведочных скважин ведется с отбором керна только в зоне рудного интервала. Они закладываются в основном на месте эксплуатационных скважин и после выполнения поставленных задач используются в дальнейшем для ведения процесса добычи.

*Наблюдательные* скважины предназначены для наблюдений и контроля за условиями формирования продуктивных растворов или камер в пределах эксплуатационных блоков, гидродинамическим состоянием продуктивного горизонта, растеканием технологических растворов за пределы эксплуатационных участков и их возможным перетеканием в выше или ниже лежащие горизонты.

*Контрольные* скважины бурятся на отработанных участках для контроля полноты извлечения полезного компонента из недр, а также для решения других задач (исследование изменений рудовмещающих пород, контроль возможного загрязнения подземных вод и окружающей среды и др.).

*Барражные* скважины предназначены для создания вертикальных и горизонтальных противofильтрационных гидравлических завес, ограничивающих растекание выщелачивающих растворов за пределы эксплуатационного блока, а также для уменьшения охвата этими растворами пород, вмещающих рудную залежь.

Скважины для гидроразрыва пластов предназначены для увеличения поверхности контакта растворителя с породами продуктивных горизонтов путем образования искусственной пористости. При ПВ гидроразрыв пластов используется также для создания механических противofильтрационных завес.

*Анкерные* скважины предназначены для сооружения бесфильтровых скважин при ПВ металлов. Закрепление пород анкерными скважинами обычно осуществляется перед добычей ПИ.

В зависимости от назначения геотехнологические скважины имеют существенные различия в конструкции, в технике и технологии бурения и оборудования. К ним также предъявляются различные требования.

Наиболее высокие требования к качеству сооружения предъявляются к эксплуатационным скважинам, оказывающим наиболее существенное влияние на технико-экономические показатели добычи полезных ископаемых.

### **1.3. Способы бурения геотехнологических скважин**

Из различных способов бурения для сооружения геотехнологических скважин в настоящее время в основном применяется вращательное бурение с прямой промывкой.

Однако в связи с расширением областей применения геотехнологических методов добычи и с целью повышения их эффективности проводятся работы по разработке более прогрессивных способов бурения. К числу таких способов относятся: 1) вращательное бурение с обратной промывкой; 2) вращательное с продувкой воздухом; 3) ударно-вращательное; 4) вибрационное; 5) термическое; 7) термомеханическое и др.

Вращательное бурение с прямой промывкой применяется для бурения различных по твердости пород и находит широкое применение при проходке устойчивых пород. При разработке россыпных месторождений методом ПВ из-за недостаточной устойчивости стенок скважин и наличия различной величины валунов этот способ бурения имеет значительные недостатки, так как требует применения специальной технологии ведения работ. В качестве

породоразрушающих инструментов (ПРИ) применяются долота (лопастные и шарошечные), а также различные пикобуры.

Вращательное бурение с прямой промывкой осуществляется с помощью различных буровых установок (роторных, шпиндельных). Для бурения мягких пород сплошным забоем широкое применение находят установки с роторными вращателями типа УРБ-3АМ, 1БА-15В, УБВ-600 и др.

Вращательное бурение с обратной промывкой особенно эффективно может быть применено при сооружении технологических скважин для ПВ металлов, что позволит уменьшить кольматацию продуктивных пластов, увеличить диаметры скважин и создавать фильтры с уширенным контуром гравийной обсыпки.

Для бурения скважин с обратной промывкой сконструирован буровой агрегат 1БА-15К. Можно также использовать буровые установки 1БА-15В, УКС-22М и др., приспособив их для этих целей. Кроме того, при бурении с обратной промывкой требуется применение специального инструмента и приспособлений (бурильные и ведущие трубы и др.).

Вращательное бурение с продувкой при сооружении технологических скважин повышает качество вскрытия продуктивных горизонтов, уменьшает затраты времени на освоение скважин и повышает технико-экономические показатели, особенно при сооружении технологических скважин ПВ.

Однако этому способу бурения присущи и значительные недостатки, связанные с его неприменимостью при бурении глинистых, песчано-глинистых и сыпучих пород и при встрече подземных вод.

Наиболее эффективными способами бурения скважин на россыпях могут быть ударно-забивное, ударно-канатное, виброударное, термическое, термомеханическое, электроимпульсное и др.

#### **1.4. Искривление скважин. Мероприятия по поддержанию заданного направления технологических скважин**

Поддержание заданного направления геотехнологических скважин имеет большое значение. При ПВ металлов искривление скважин может привести к нарушению принятой системы разработки месторождений.

В настоящее время при разработке методом ПВ урановых руд наиболее распространенной является линейная система с шахматным расположением скважин с расстоянием 25x50 м. При искривлении скважин расстояния между осями скважин в зоне рудного пласта могут измениться, что приведет к нарушению полноты выемки полезного компонента.

При отработке пластовых месторождений отклонение забоя скважины от вертикали при бурении вертикальных скважин достигает 1,5 – 4,5 м при глубинах скважин до 150 м и 6 – 15 м при глубинах скважин свыше 250 м.

При указанной выше сетке расположения технологических скважин максимальное сближение фильтров может достигнуть 5 м, а максимальное их удаление – 80 м. В связи с искривлением скважин может значительно изменяться конфигурация ячеек выщелачивающих блоков (рис. 1.2.). Допустимое отклонение ствола скважин от вертикали не должно превышать 1 – 2° на 100 м при сооружении неглубоких скважин и 1° на 100 м при сооружении скважин глубиной более 250 – 300 м.

Разработка мероприятий по поддержанию заданного направления геотехнологических скважин является важной задачей. Такими мероприятиями могут быть следующие: а) тщательная установка стола ротора; б) зазор между ведущей трубой и клиньями не должен превышать 2 – 3 мм; в) искривленность бурильных и утяжеленных труб, а также ведущей трубы должна быть в пределах нормы; г) тип долота подбирать в соответствии с физико-механическими свойствами пород; д) низ бурильной

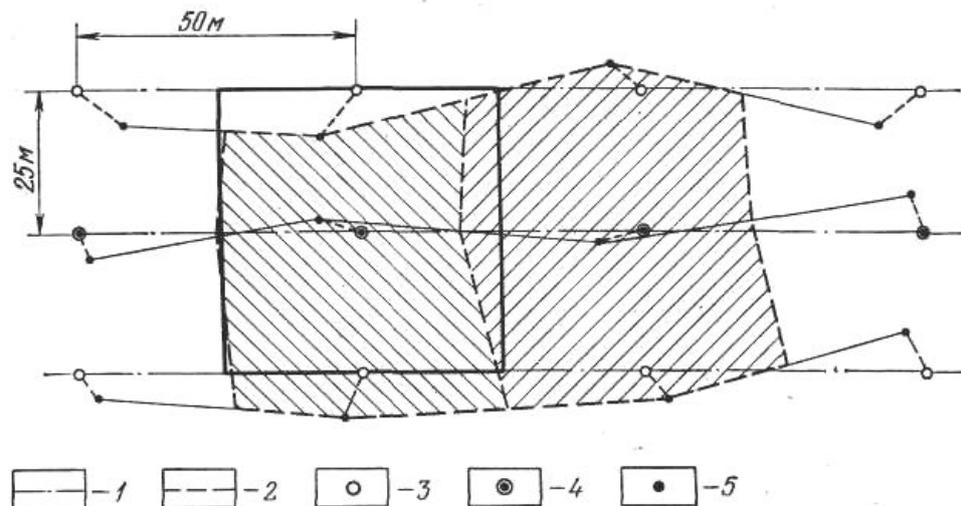


Рис. 1.2. Влияние искривления скважин на форму обрабатываемой ячейки при ПВ:  
 1 – проектная форма ячейки; 2 – фактическая форма ячейки; 3 – устье откачных скважин; 4 – устье нагнетательных скважин; 5 – фактическое положение забоя нагнетательных и откачных скважин.

колонны собирать без перекосов, не допуская несоосности ее деталей и узлов; е) применять правильный режим бурения.

Основным средством борьбы с искривлением скважин является правильная конструкция низа буровой колонны. Бурение скважин необходимо вести с обязательным применением утяжеленных буровых труб. Диаметр УБТ должен быть близким к диаметру долота.

Для придания скважинам заданного направления при значительном несоответствии диаметров долота и труб очень часто предусматривается центрирование долота путем установки над долотом центраторов или фонарей, изготовленных из труб близкого к долоту диаметра. Центраторы могут также устанавливаться по длине УБТ или БТ на расстоянии друг от друга, равном длине полуволны изогнутой колонны труб.

## Выводы по главе I

1. Увеличения размеров добычного и подъемного оборудования повышает производительность скважин и эффективность добычи. Поэтому критерием выбора диаметра скважин в конечном счете является стоимость добытой руды.

2. В зависимости от назначения геотехнологические скважины имеют существенные различия в конструкции, в технике и технологии бурения и оборудования.

3. Вращательное бурение с продувкой при сооружении технологических скважин повышает качество вскрытия продуктивных горизонтов, уменьшает затраты времени на освоение скважин и повышает технико-экономические показатели, особенно при сооружении технологических скважин ПВ.

4. Основным средством борьбы с искривлением скважин является правильная конструкция низа бурильной колонны. Бурение скважин необходимо вести с обязательным применением утяжеленных бурильных труб. Диаметр УБТ должен быть близким к диаметру долота.

## **II. БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ, КОНСТРУКЦИИ И КРЕПЛЕНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН**

### **2.1. Основные факторы, определяющие выбор буровых агрегатов**

Важным требованием к буровому оборудованию для сооружения геотехнологических скважин является его высокая мобильность, быстрый монтаж, демонтаж и перевозка, высокий уровень механизации вспомогательных операций, а также наличие укрытий, так как сооружение скважин производится круглогодично.

Разбуриваемые горные породы по своим свойствам обладают большим разнообразием, но преобладают породы осадочного комплекса, что вызывает определенные требования к буровому оборудованию и в первую очередь необходимость в буровых насосах с высокой подачей.

Из современных буровых установок, выпускаемых промышленностью, наиболее полно требованиям технологии сооружения геотехнологических скважин отвечают буровые агрегаты УРБ-ЗАМ 1БА-15В, УРБ-ЗА2, УРБ-ЗА3, УБВ-600. Указанные буровые установки отвечают основным требованиям, предъявляемым к технологии бурения и оборудованию геотехнологических скважин. Самоходные установки обеспечивают возможность бурения скважин большими диаметрами. Наиболее полно требованиям технологии сооружения эксплуатационных скважин при ПВ отвечает буровой агрегат 1БА-15В.

Бурового оборудования, полностью удовлетворяющего требованиям технологии бурения геотехнологических скважин, в нашей стране не выпускается, так как не было необходимости бурения скважин таких конструкций и глубин в больших объемах. Выпускаемые промышленностью буровые установки роторного типа во многих случаях не могут обеспечить необходимые параметры режима бурения – осевую нагрузку на долото и количество промывочной жидкости, подаваемой на забой. Выпускаемые

буровые установки укомплектованы насосами, обычно имеющими небольшую подачу, что не может обеспечить при бурении мягких пород эффективную очистку забоя от шлама в скважинах, имеющих значительные поперечные размеры.

При бурении скважин установками роторного типа передача осевой нагрузки на долото осуществляется с помощью УБТ. В этом случае при неглубоких скважинах не представляется возможным обеспечить требуемые осевые нагрузки на долото для объемного разрушения породы на забое, в связи с чем имеются трудности в получении высоких скоростей бурения.

Применение воды способствует увеличению механической скорости бурения и уменьшению затрат на приготовление глинистого раствора. Но вода обладает меньшей вязкостью, чем любая промывочная жидкость и ее применение может способствовать оседанию большого количества шлама при остановке циркуляции. Кроме того, применение воды возможно в том случае, когда обеспечивается необходимая устойчивость разбуриваемых пород, их высокая сопротивляемость размывающему действию потока ПЖ.

Повышению эффективности разрушения мягких пород при небольших осевых нагрузках может способствовать применение лопастных гидромониторных долот.

Опыт эксплуатации буровых агрегатов УРБ-ЗАМ, 1БА-15В, УБВ-600 в различных горно-геологических условиях выявил ряд недостатков, присущих этим агрегатам. Основными из них являются следующие: 1) недостаточный уровень механизации вспомогательных процессов; 2) отсутствие утепляемых укрытий; 3) значительные затраты времени на монтаж, демонтаж и перевозку агрегатов; 4) не в полной мере отвечают требованиям технологии оборудования эксплуатационных скважин добычными устройствами.

Отсутствие утепляемых укрытий и другие недостатки, присущие самоходным установкам с роторными вращателями, привели к тому, что для сооружения технологических скважин ПВ путем конструктивных изменений

приспосабливаются и другие буровые агрегаты, например ЗИФ-650А, ЗИФ-650М, ЗИФ-1200А, ЗИФ-1200МР и др.

Ведутся работы по созданию специализированных буровых агрегатов для сооружения технологических скважин ПВ.

В подземных условиях при выщелачивании в скальных блоках для бурения скважин применяются буровые агрегаты типа НКР-100М, БСК-2М-100, БСК-2М2-100, буровые каретки БК-2П с перфораторами ПК-60 и др.

## **2.2 Самоходные буровые агрегаты с роторными вращателями и установки со шпиндельными вращателями**

*Буровой агрегат 1БА-15В.* Буровой агрегат состоит из трех блоков: бурового, насосно-силового и компрессорного.

Кинематическая схема бурового агрегата 1БА-15В приведена на рис. 2.1. Буровой блок агрегата монтируется на шасси автомобиля МАЗ-500А, здесь располагаются ротор с проходным отверстием 410 мм, лебедка, коробка скоростей с пневмомуфтой, буровой насос НБ-12-63-40, буровая мачта с секционными гидравлическими домкратами, генератор мощностью 12 кВт, коробка отбора мощности с гидравлическим насосом, гидрораскрепитель, пульт управления (ПУ), аварийный компрессор для пневмоуправления.

На насосно-силовом блоке расположены двигатель ЯМЗ-236 с коробкой передач, буровой насос 9МГР-61 или 9МГР-73, угловой редуктор, аккумуляторный ящик и др.

На компрессорно-силовом блоке располагаются двигатель Д-108 со сцеплением, компрессор К9М для производства откачек, угловой редуктор, ресивер и др.

Для привода средств механизации, имеющихся на буровом агрегате, а также с целью облегчения управления механизмами буровой установки она снабжена пневмо- и гидромеханизмами.

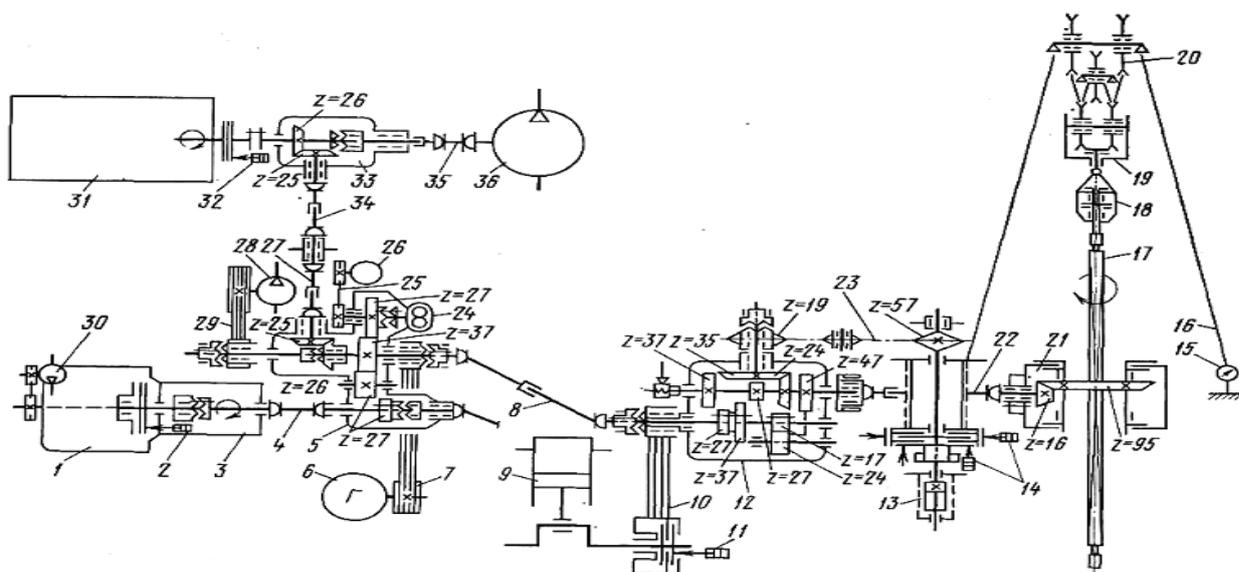


Рис. 2.1. Кинематическая схема бурового агрегата 1БА-15В:

1 – двигатель ЯМЗ-256; 2, 11, 14, 32 – пневмокамеры; 3 – коробка передач двигателя; 4, 8, 22, 27, 34, 35 – карданные валы; 5 – коробка отбора мощности; 6 – генератор; 7, 10, 25, 29 – клиноремённые передачи; 9 – буровой насос; 12 – коробка передач; 13 – лебёдка; 15 – индикатор веса; 16 – талевый канат; 17 – ведущая труба; 18 – вертлюг; 19 – талевый блок; 20 – кронблок; 21 – ротор; 23 – цепная передача; 24 – гидронасос; 26 – тахогенератор; 28 – аварийный компрессор; 30 – компрессор двигателя; 31 – двигатель Д-108 для привода компрессора; 33 – редктор угловой; 36 – компрессор К9М.

Буровой насос и ротор включаются с пульта управления бурильщика с помощью пневмомуфт. Фрикцион и тормоз лебедки имеют пневмоусилители, которые получают привод от компрессора автошасси или аварийного компрессора.

На буровом агрегате используются гидрораскрепитель для развинчивания БТ диаметром 73 мм с помощью ротора, приспособление для выноса БТ, вспомогательная катушка и др.

Для измерения осевой нагрузки на долото применяется индикатор веса ГИВ-6-11. При бурении можно использовать свечи длиной 12 м, обсаживать скважину трубами диаметром 377 мм без снятия ротора.

*Буровая установка УБВ-600.* Буровая установка состоит из двух блоков – бурового и насосного, смонтированных на трехосном автошасси КраЗ-257.

Привод основных механизмов осуществляется от ходового двигателя ЯМЗ-238 через двухскоростную коробку отбора мощности. Управление коробкой отбора мощности установлено в кабине автомобиля.

В состав бурового блока входят раздаточная коробка, угловой редуктор, двухбарабанная лебедка, вал для привода ротора, компрессор для привода механизмов управления, мачта с гидравлическими домкратами подъема, закрепленная на раме лебедки.

На насосном блоке размещены раздаточная коробка, два насоса 9МГР-61 с обвязкой, электрогенератор мощностью 30 кВт, компрессор КТ-7, устройства для спаривания насосного и бурового блоков. Передача вращения с блока на блок производится с помощью карданного вала. Суммирование мощности двух двигателей на одну трансмиссию не допускается.

Ротор с проходным отверстием 410 мм и подсвечник устанавливаются на рабочей площадке.

Мачта – наклонная, телескопическая. Верхняя секция выдвигается посредством талевого блока установки. На верхнем торце нижней секции крепят полати емкостью 50 свечей из труб диаметром 114 мм. Полати при транспортировке перевозятся отдельно.

Лебедка состоит из двух барабанов – бурового и тартального, которые включаются шинно-пневматическими муфтами. Из средств механизации работ предусматриваются гидрораскрепитель, тележка для переноса труб, устройство для свинчивания долот под ротором и бурения шурфа, электрическая лебедка и компрессор.

Управление механизмами бурового агрегата сосредоточено на пульте управления бурового и насосного блоков.

Технические характеристики самоходных буровых агрегатов с роторными вращателями приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Параметры	УРБ-ЗАМ	УРБ-ЗАЗ	УРБ-ЗА2	1БА-15В	УБВ-600
Грузоподъемность, т:					
Номинальная	5	6,5	6,3/12,5	12,5	32
Максимальная	8	13	10/20	20	50
Основной способ бурения	Вращательный с промывкой				
Рекомендуемая глубина бурения, м	500	600	800	500	600
Диаметр труб, мм	60	60	60	73	114
Рекомендуемые диаметры скважин, мм:					
Начальный	243	243	243	394	490
Конечный	93	93	93	194	214
Транспортная база	Шасси МАЗ-500А	Шасси МАЗ-500А	Шасси МАЗ-500А	Шасси МАЗ-500А	КрАЗ-257 (2 шасси)
Силовой привод, тип	Дизель Д-54	Дизель А-41Г	ЯМЗ-236	ЯМЗ-236/ Д-108	ЯМЗ-238 (2 двигателя)
Мощность, кВт	39,7	66,2	77,2	77,2/79,4	110,3х2
Частота вращения, об/мин	1300	1750	1500	1500/1070	1500
Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	150,7	132,4 – 136	122,8 – 133	132,4 – 133	122,8 – 133
Ресурс до капитального ремонта, ч	5000	6000	8000	8000	8000
Мачта	Секционная складывающаяся			Телескопическая наклонная	
Высота до оси кронблока, м	16	18	18	18	22,4
Подъем мачты	Гидродомкратом				
Длина бурильной трубы/свечи, м	4,5/9	6/12	6/12	6/12	12
Механизм вращения	Ротор				
Проходное отверстие стола, мм	250	250	250	410	410
Частота вращения, об/мин (прямые основные передачи)	110, 190, 314	75, 150, 285	79, 160, 300	65, 130, 245	105, 183
Число передач основных / вспомогательных	4	4	4/4	4/4	2/3
Крутящий момент (максимальный), Н·м	3500	7000	4500 (7000)	7000 (1000)	1700
Натяжение талевого каната максимальное, кН	28	35	52	52	90/30
Диаметр каната, мм	15,5	18	18	18	25/13
Емкость барабана, м	100	150	150	150	200

Оснастка талевой системы	1x2	2x3	1x2/2x3	2x3	3X4
Скорость подъёма крюка, м/с	0,54 – 1,56	0,34 – 1,32	0,4 – 1,48	0,2 – 1,39	0,18 – 1,2
Тип подачи	С тормоза лебедки	С тормоза лебедки и гидравлическая	С тормоза лебедки и гидравл. (по заказу)	С тормоза гидравлическая (по заказу)	С тормоза лебедки
Усилие подачи, кН:					
вниз	–	35	35	35	–
вверх	–	50	50	50	–
Ход подачи, м	На длину штанги	0,6 или на длину штанги	0,6 или на длину штанги	0,6 или на длину штанги	На длину штанги

Для бурения геотехнологических скважин используются также буровые станки, имеющие шпиндельные вращатели. В основном применяются буровые станки ЗИФ-650М и ЗИФ-1200МР.

Их основное преимущество перед установками с роторными вращателями заключается в наличии гидравлических механизмов подачи и средств механизации спуско-подъемных операций (СПО), а также электродвигателей в качестве привода основных механизмов. Другим важным преимуществом этих установок является возможность создания нормальных условий работы для обслуживающего персонала путем постройки передвижных буровых зданий.

Установки колонкового бурения применяются в основном для проходки разведочных скважин. Однако в последнее время для сооружения эксплуатационных скважин ПВ металлов используются модифицированные установки типа БПУ-650М и БПУ-1200М, изготовленные на базе буровых агрегатов ЗИФ-650А, ЗИФ-650М, ЗИФ-1200А, ЗИФ-1200МР. Глубины скважин при диаметре 243 – 295 мм в зависимости от применяемого бурового станка достигали 250 – 500 м. Основное буровое оборудование смонтировано в утепленном буровом здании, установленном на платформе на колесном ходу. Перевозка установки производится с помощью транспортных средств. В рабочем положении платформа установки снабжена

гидравлическими опорами, которые подключены к гидросистеме бурового станка.

В состав бурового оборудования, установленного на платформе, входят: буровой станок, буровой насос НБ-32, электропривод бурового станка и бурового насоса. Из средств механизации СПО применяются трубооборот РТ-1200М и полуавтоматические элеваторы.

Мачта телескопическая, двухсекционная, высотой 18,7 м, грузоподъемностью 11 т. Изменение высоты мачты осуществляется путем выдвижения верхней секции мачты с помощью гидроцилиндров, смонтированных на платформе, или лебедки. Гидроцилиндры подъема мачты через распределитель подключены к гидросистеме бурового станка. Подъем и опускание мачты осуществляется с пульта управления.

Отапливается буровое здание двумя электрокалориферами типа СФОА, мощностью 25 кВт каждый. Питание бурового агрегата электроэнергией осуществляется от промышленной энергосистемы или от передвижной электростанции ЭСД-100.

Иногда в модифицированных установках колонкового бурения в качестве вращателя используется ротор типа Р-410 с проходным отверстием 410 мм от бурового агрегата 1БА-15В.

Применение модифицированных буровых агрегатов типа БПУ-650М и БПУ-1200М позволило повысить производительность сооружения технологических скважин ПВ и улучшить условия работы обслуживающего персонала.

Однако установки колонкового бурения не дают возможности использовать их при сооружении технологических скважин глубиной свыше 500 м при диаметре ствола 320 – 346 мм.

Техническая характеристика модифицированных буровых агрегатов и станков для бурения скважин из подземных горных выработок приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Параметры	БПУ-1200М	БПУ-650М	БСК-2М-100	НКР-100
Глубина бурения, м, при конечном диаметре скважины, мм:				
93	1500	650		
152 – 190	700	500		
46			100	
105				50
Диаметр бурильных труб, мм	50; 63,5; 73	50; 63,5; 73	33,5; 42	43; 63,5.
Частота вращения бурового инструмента, об/мин	75; 136; 231; 288; 336; 414; 516; 600	81; 118; 188; 254; 340; 460; 576; 800	300; 600	76
Наибольшее усилие подачи, кН:				
вверх	150	80		
вниз	50	30	12	6,0
Грузоподъемность лебедки, т	5,5	3,5	Нет	
Скорость навивки каната на барабан, м/с	0,7; 1,24; 2,1; 2,6; 3,04; 3,75; 4,7; 5,24	0,7; 0,95; 1,5; 2,04; 2,72; 3,7; 4,6; 6,24		
Мощность электродвигателя для привода бурового станка, кВт	55	30	7,5	
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин	–	–	–	6
Тип бурового насоса	НБ-32	НБ-32	НБ-63/40	
Подача, л/мин	540	540	63	
Максимальное давление, МПа	4,0	4,0	4,0	
Приводная мощность, кВт	32	32	3,0	
Высота мачты, м	18	18	–	
Грузоподъемность, т	11	11		
Механизм свинчивания и развинчивания труб	РТ-1200М	РТ-1200М	–	–
Транспортная база	Платформа на колесном ходу		–	–
Укрытие	Буровое здание			
Отопление	Калорифер СФОА		–	–
Мощность калорифера, кВт	25	25	–	–

### 2.3. Конструкции геотехнологических скважин для подземного выщелачивания (ПВ)

При выборе конструкции эксплуатационных скважин для подземного выщелачивания ПИ с использованием кислотных растворителей необходимо учитывать следующее: 1) обеспечение высокой стойкости материала обсадных труб (ОТ) к химически агрессивным средам, а также механической

прочности ОТ в условиях горного давления и гидродинамических нагрузок;

- 2) внутреннее сечение ОТ должно допускать производство ремонтно-восстановительных работ, цементирование скважин для создания гидроизоляции зон движения рабочих и продуктивных растворов и проведение необходимых геофизических и гидрогеологических наблюдений за ходом процесса ПВ;
- 3) возможность создания надежной гидроизоляции надрудного горизонта, особенно в случае эксплуатации маломощных рудных тел, находящихся в зоне водоносных горизонтов;
- 4) в процессе бурения не должна нарушаться целостность нижнего водоупора, в случае перебуривания водоупора необходимо предусматривать в дальнейшем его тампонирование;
- 5) утяжелитель для спуска в скважину полиэтиленовых обсадных колонн необходимо изготавливать из инертных материалов или же он должен быть извлекаемым;
- 6) при оборудовании нижней части фильтра отстойником с окнами для облегчения освоения скважины необходимо предусматривать возможность перекрытия окон после окончания работ по освоению;
- 7) для предохранения затрубного пространства скважин от проникновения с поверхности рабочих растворов следует использовать специальное оборудование устья;
- 8) срок службы скважин должен быть не менее срока отработки блока.

При отработке месторождений ПИ методом ПВ особые требования предъявляются и к фильтрам буровых скважин.

На выбор проектных конструкций эксплуатационных скважин ПВ оказывают влияние следующие основные факторы: 1) геологические и гидрогеологические условия месторождения (физико-механические свойства слагающих пород, глубина залегания продуктивного пласта, наличие в разрезе водоносных горизонтов и др.); 2) принятая система отработки месторождения и схема размещения эксплуатационных скважин; 3) проектная производительность добычных скважин; 4) тип и конструкция раствороподъемных устройств; 5) географическое расположение месторождения; 6) назначение скважин и др.

Конструкции откачных и нагнетательных технологических скважин отличаются только по диаметру применяемых эксплуатационных колонн: откачные скважины обычно оборудуются колоннами большего диаметра. Диаметры скважин и эксплуатационных колонн определяются размерами раствороподъемных устройств (эрлифты, погружные насосы и др.).

В качестве материала обсадных и эксплуатационных колонн при подземном выщелачивании наиболее широко используются полиэтиленовые трубы типа ПНП, серии С и Т; ПВХ серии С, Т, СТ,, стеклопластовые и металлопластовые трубы, ОТ из нержавеющей стали. ОТ применяются при кислотном выщелачивании в качестве обсадных (защитных) колонн, а при других способах выщелачивания могут использоваться и в качестве эксплуатационных колонн. В практике ПВ металлов в основном применяются одноколонные и двухколонные конструкции технологических скважин.

На рис. 2.2 показаны конструкции одноколонных эксплуатационных скважин, наиболее широко применяемых при подземном выщелачивании пластовых месторождений. В некоторых случаях при значительных глубинах залегания продуктивных горизонтов и наличии в разрезе неустойчивых пород устье скважины может быть оборудовано направляющей трубой и кондуктором. При сооружении эксплуатационных нагнетательных и откачных скважин с гидроизоляцией рабочих и продуктивных растворов с помощью манжет скважины бурят до рудного пласта диаметром 190 – 243 мм, а перебуривание рудного пласта осуществляется долотами меньшего диаметра (рис. 2.2, а).

Эксплуатационная колонна диаметром 110 – 140 мм оборудуется отстойником, фильтром, манжетой из кислотостойкой резины и утяжелителями.

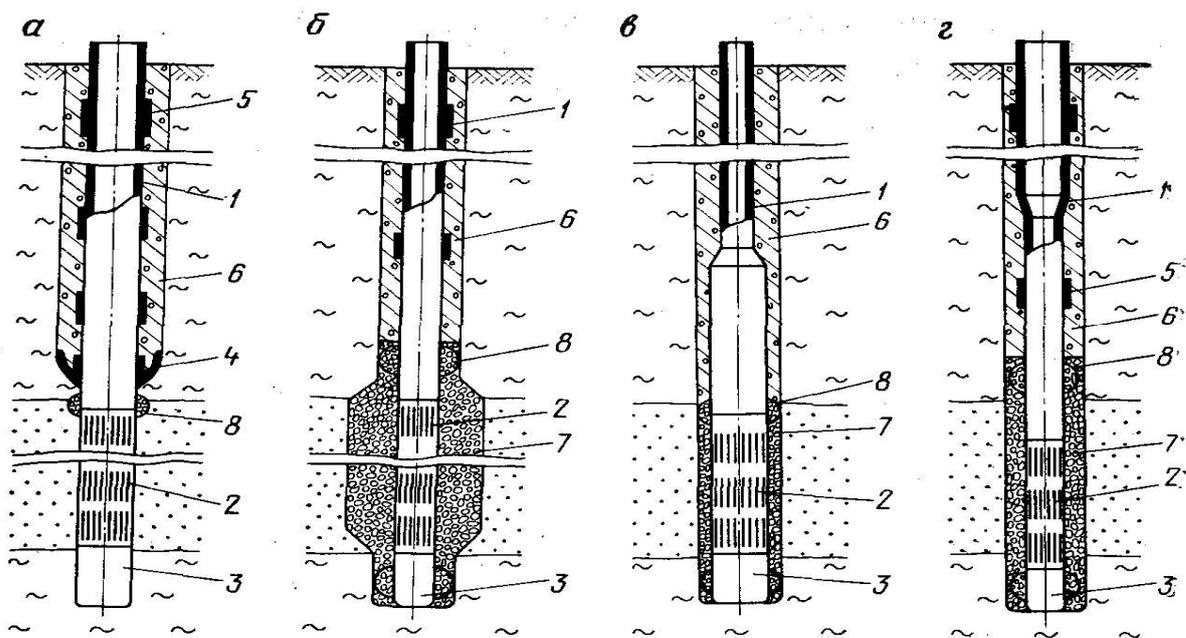


Рис. 2.2. Типовые конструкции одноколонных эксплуатационных скважин ПВ: а – с гидроизоляцией при помощи пакера (манжеты); б – с гравийной обсыпкой фильтров; в – с комбинированной эксплуатационной колонной и эрлифтным подъёмом продуктивных растворов; г – с комбинированной эксплуатационной колонной и подъёмом продуктивных растворов с помощью погружных насосов: 1 – эксплуатационная колонна, 2 – фильтр, 3 – отстойник, 4 – разобщающая манжета с цементировочным устройством, 5 – утяжелитель, 6 – материал гидроизоляции, 7 – песчано-гравийная обсыпка, 8 – центратор

В месте перехода на уменьшенный диаметр скважины эксплуатационная колонна снабжается манжетой с удлиненным корпусом и впаянным в основание металлическим кольцом, которое обеспечивает необходимую прочность и жесткость. В тех случаях, когда посадка манжеты производится в верхний водоупор, представленный слабыми глинистыми породами, плечо должно отбуриваться выше предполагаемого места установки манжеты.

Основное назначение манжеты – создание гидроизоляции выше зоны движения продуктивных растворов. Поверх манжеты заливается гидроизоляционный материал.

Интервал гидроизоляции, кроме специально оговариваемых случаев, обычно равен высоте от манжеты до динамического уровня подземных вод. Остальная часть затрубного пространства скважины может заполняться другим материалом, а устье скважины на глубину 2 – 3 м цементируется.

Одноколонные конструкции нагнетательных и откачных технологических скважин ПВ с гидроизоляцией с помощью манжет обладают простотой и имеют небольшие затраты на их сооружение. Однако такие конструкции технологических скважин не дают возможности применять фильтры с гравийной обсыпкой, что снижает производительность и срок службы скважин. Такие конструкции технологических скважин в настоящее время чаще всего используются в качестве нагнетательных.

В последнее время технологические скважины ПВ оборудуются фильтрами с гравийной обсыпкой. С целью создания на забое скважины уширенного контура гравийной обсыпки призабойная зона скважины может предварительно расширяться (рис. 2.2. б).

Оборудование нагнетательных скважин гравийными фильтрами позволило увеличить приемистость скважины, при этом также увеличились срок службы скважины и работоспособность раствороподъемных устройств, особенно погружных насосов. Гидроизоляция зон движения рабочих и продуктивных растворов осуществляется после создания вокруг фильтра песчано-гравийной обсыпки путем заливки гидроизоляционного материала поверх слоя гравия.

Диаметры эксплуатационных колонн выбираются с учетом назначения скважин и применяемых добычных устройств (откачных, нагнетательных).

При сооружении нагнетательных скважин диаметр эксплуатационных колонн выбирается так, чтобы разместить внутри колонны раствороподающие устройства и обеспечить необходимую приемистость скважин (в продуктивный пласт должно быть подано в единицу времени необходимое количество раствора). В настоящее время при сооружении нагнетательных скважин диаметр эксплуатационных колонн колеблется в пределах 70 – 150 мм.

Для конструкции скважин, показанных на рис. 2.2, б, диаметры эксплуатационных колонн имеют величины 110 – 225 мм.

В глубоких скважинах при высоком динамическом уровне продуктивных растворов эксплуатационная колонна может быть комбинированной. Верхняя часть колонны выбирается большего диаметра для установки погружных насосов. Длина верхней части эксплуатационной колонны увеличенного диаметра устанавливается с учетом динамического уровня раствора в скважине, длины насоса, глубины погружения насоса ниже динамического уровня (3 – 5 м) и дополнительного понижения уровня в результате кольтации фильтра. Собирается эта часть колонны в большинстве случаев из полиэтиленовых труб, длина которых определяется предельной глубиной спуска труб данного типоразмера. Нижняя же часть эксплуатационной колонны соответствует диаметру фильтра (рис. 2.2, г). Материал труб нижней и верхней частей колонны также может различаться, обычно в нижней части устанавливаются более прочные трубы, например, из нержавеющей стали, стеклопластиковые и др.

В некоторых случаях при эрлифтном подъеме продуктивных растворов при использовании в качестве раствороподъемных труб эксплуатационных колонн возможно уменьшение диаметра колонны по сравнению с диаметром фильтра (рис. 2.2, в). Это устанавливается на основе расчетных соотношений диаметра воздухоподающих и раствороподъемных труб и производительности скважины.

Диаметр скважины под эксплуатационную колонну при одноколонных конструкциях зависит от диаметра и материала применяемых труб (полиэтиленовые, стеклопластиковые, из нержавеющей стали и др.);

Типа, диаметра и места установки утяжелителя для спуска полиэтиленовых колонн, применяемых способов цементирования и гидроизоляции зон движения рабочих и продуктивных растворов.

При применении системы отработки месторождений, в которых Число откачных и нагнетательных скважин выбирается из соотношения 1:3, 1:4, 1:5, производительность откачных скважин должна быть соответственно в 3, 4 и 5 раз больше производительности нагнетательных скважин. На рис. 2.3. даны

типовые конструкции высокодебитных скважин. При сооружении высокодебитных откачных скважин, оборудованных фильтрами с песчано-гравийной обсыпкой, находят применение конструкции, в которых предусмотрена обсадка ствола скважины до кровли продуктивного горизонта трубами из нержавеющей стали, стеклопластика и других, материал которых не подвержен разрушению при действии кислотных растворителей (рис. 2.3, а). Конструктивно башмак обсадной колонны выполняется меньшего диаметра для более надежной и легкой установки гидроизоляционного пакера.

Забуривание скважины и бурение до продуктивного горизонта обычно осуществляются долотами диаметром 295, 346, 394 мм. Затрубное пространство обсадной колонны цементируется. Дальнейшее бурение с целью вскрытия продуктивного горизонта осуществляется долотами диаметром 190 – 243 мм.

Интервал продуктивного пласта, в котором располагается каркас фильтра с гравийной обсыпкой, при необходимости расширяется.

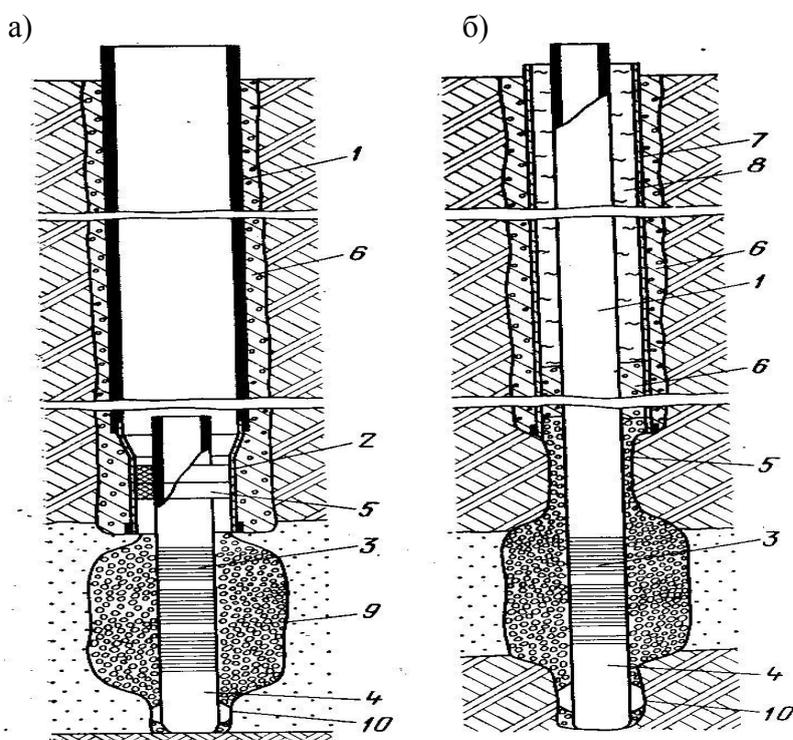


Рис. 2.3. Типовые конструкции высокодебитных эксплуатационных скважин ПВ: а – высокодебитные откачные скважины; б – скважины большой глубины при наличии неустойчивых интервалов ствола: 1 – эксплуатационная колонна; 2 – хвостовик; 3 – фильтр; 4 – отстойник; 5 – пакер; 6 – слой гидроизоляции; 7 – защитная колонна; 8 – глинистый раствор; 9 – гравий; 10 – центратор

Фильтр вместе с надфильтровым патрубком и отстойником опускают в скважину на БТ соединенных с надфильтровым патрубком с помощью специального переходника, имеющего левую резьбу. Для обеспечения лучшего центрирования фильтра на забое скважины он снабжается двумя направляющими фонарями – на отстойнике и на надфильтровом патрубке (в верхней части).

Конструкция эксплуатационных скважин, применяемая в условиях больших глубин (свыше 300 м) и при наличии неустойчивых пород в верхних интервалах скважины, показана на рис. 2.3, б. Закрепление неустойчивой части ствола скважины осуществляется обсадной (защитной) колонной из металлических труб с последующей цементацией затрубного пространства. В дальнейшем скважина оборудуется эксплуатационной колонной из кислотостойких материалов, которая изолируется от обсадной колонны при помощи манжет (пакеров), цементных, глинистых или известковых растворов.

Глубины эксплуатационных скважин ПВ определяются положением продуктивного горизонта, длиной отстойника и др. Положение рудного пласта определяется путем взятия геологических проб (кернов) при опережающем бурении скважин малого диаметра в процессе сооружения технологических скважин, а также по данным геофизических измерений.

Длина отстойника нагнетательных скважин определяется количеством взвесей, находящихся в рабочем растворе, подаваемом в скважину, и временем между профилактическими ремонтами скважин. Обычно длина отстойников в фильтрах, устанавливаемых в нагнетательных скважинах, составляет не более 1 % номинальной глубины скважин, для откачных скважин эта величина не превышает 2 %.

В некоторых случаях при низких уровнях пластового раствора и большой глубине скважин использование эрлифтов в качестве раствороподъемных средств возможно только путем увеличения заглубления

смесителя под уровень пластовых растворов. Для этого глубину скважин увеличивают.

Если при перебурировании скважины ниже рудного горизонта последняя вскрывает водоносный горизонт, то необходимо предусмотреть цементацию затрубного пространства отстойника до нижней границы фильтра.

#### **2.4. Крепление геотехнологических скважин**

К обсадным трубам для крепления и оборудования геотехнологических скважин предъявляются специфические требования, связанные с условиями сооружения и эксплуатации скважин.

Основными из них являются следующие: 1) достаточная механическая прочность в условиях горного давления и гидродинамических нагрузок; 2) стойкость материала труб к химически агрессивным средам (рабочим и продуктивным растворам), а также при работе в условиях низких и высоких температур; 3) высокие адгезионные свойства или сцепление с различными тампонажными и гидроизоляционными материалами; 4) простота конструкции, надежность в работе и высокая герметичность соединений труб; 5) невысокая стоимость труб, обуславливающая рациональную конструкцию скважин.

Правильный выбор типа труб для обсадных и эксплуатационных колонн геотехнологических скважин определяет работоспособность и срок службы скважин.

В настоящее время для крепления и оборудования геотехнологических скважин широко применяются стальные (в том числе из нержавеющей стали) и полиэтиленовые трубы. Реже используются полипропиленовые, винилпластовые, бипластмассовые, фанерные и стальные трубы, футерованные полиэтиленом. В стадии внедрения находятся стеклопластиковые и металлопластовые трубы.

*Стальные трубы*, изготавливаемые по ГОСТ 632–80, широко применяются в качестве обсадных и эксплуатационных колонн при сооружении технологических скважин для подземного выщелачивания солей, а также при обсадке и оборудовании различных вспомогательных скважин (баражные, гидроразрыва пластов, водопонижительные и др.).

При добыче металлов методом ПВ с использованием кислотных растворителей стальные трубы из обычной стали применяются в качестве обсадных, защитных колонн. В процессе освоения и эксплуатации технологических скважин они должны быть изолированы от контакта с продуктивными и рабочими растворами.

Обсадные трубы ГОСТ 632–80 выпускаются бесшовными, муфтового соединения с короткой, нормальной и реже удлиненной резьбами. Стандартом предусмотрено также изготовление труб с удлиненной резьбой трапециевидного профиля, отличающегося повышенной прочностью.

Трубы ниппельного соединения, выпускаемые согласно ГОСТ 6238–52, используются при оборудовании неглубоких технологических скважин, а также для вспомогательных работ.

При оборудовании неглубоких геотехнологических скважин стальными обсадными эксплуатационными колоннами муфтового соединения рабочие напряжения в резьбовых соединениях и по телу трубы будут незначительными. Для упрощения конструкции скважин и уменьшения их диаметров, соединительные муфты обсадных труб можно обточить, уменьшив их диаметр на 10 – 15 мм. Это будет способствовать также улучшению условий извлечения труб в процессе ликвидации скважин.

Для выполнения вспомогательных работ в технологических скважинах применяются насосно-компрессорные трубы, изготавливаемые по ГОСТ 633–80.

При добыче металлов методом ПВ с использованием кислотных растворителей наиболее полно требованиям технологии оборудования скважин отвечают трубы из коррозионно-стойкой стали. Однако применение

труб из нержавеющей стали для крепления и оборудования технологических скважин ПВ очень ограничено вследствие недостаточного числа этих труб и их значительной стоимости. Поэтому в настоящее время трубы из нержавеющей стали применяют только для изготовления фильтров глубоких скважин и скважинного оборудования, а также в качестве раствороподъемных колонн.

*Полипропиленовые трубы.* При сооружении технологических скважин ПВ могут также применяться полипропиленовые трубы.

Полипропилен (ПП) является продуктом полимеризации пропилена и изготавливается из отходов нефтеперерабатывающей промышленности.

Для изготовления труб применяют гранулированный, стабилизированный полипропилен марок 02П и 03П. Изготавливают трубы методом экструзии гранулированного полипропилена.

Недостатком полипропилена является повышенная хрупкость, при низких температурах.

Полипропиленовые трубы пока не нашли широкого применения для крепления технологических скважин ПВ.

*Винипластовые трубы.* Винипласт или твердый непластифицированный поливинилхлорид (ПВХ).

К достоинствам винипластовых труб можно отнести их сравнительно высокую механическую прочность, высокую химическую стойкость к воздействию кислот, щелочей и растворов солей различной концентрации, хорошие диэлектрические свойства, хорошую обрабатываемость материала.

Согласно сортаменту, винипластовые трубы изготавливаются четырех типов: Л, СЛ, С, Т.

К основным недостаткам винипласта следует отнести то, что он сильно подвержен старению под воздействием кислорода воздуха и ультрафиолетовых лучей, а также наличие повышенной хрупкости при отрицательных температурах.

Виниловые трубы могут быть из полиэтилена высокой плотности (ПВП), полиэтилена низкой плотности (ПНП), полипропилена (ПП) и непластифицированного поливинилхлорида (ПВХ).

*Металлопластовые трубы.* Одним из направлений повышения прочности обсадных полиэтиленовых труб и увеличения глубины их спуска в скважину является армирование полиэтиленовых труб металлическими спиралями или сетками.

В настоящее время для крепления технологических скважин ПВ по техническим условиям ТУ 95.661–79 разработаны обсадные металлопластовые трубы (МПТ) на основе полиэтиленовой оболочки и металлической сетки из проволоки диаметром 1,5–2,0 мм. Соединение обсадных труб осуществляется при помощи резьбовых металлопластовых муфт.

Важным преимуществом металлопластовых труб является их высокие прочностные показатели и коррозионная стойкость. Глубины спуска труб в настоящее время превышают 600 м.

Основным недостатком металлопластовых труб является различие коэффициентов температурного расширения материала арматуры и полиэтиленовой оболочки, что приводит к растрескиванию тела трубы и последующему разрушению труб в местах повреждения.

С целью предупреждения повреждения труб от температурных деформаций оболочки и арматуры в настоящее время проводятся исследования по изготовлению труб с наполненным полиэтиленом. В качестве наполнителя применяется стеклопластиковая масса.

В индексации указывают материал труб, наружный диаметр и толщину стенки в миллиметрах. Например, МПТ 132X12,5 ТУ 95.661–79.

*Стеклопластиковые трубы.* Материалом для изготовления труб служит стекловолокно и связующие вещества в виде смол. При этом тип применяемых смол является определяющим фактором коррозионной стойкости труб. Стеклопластиковые трубы применяются для оборудования

технологических скважин глубиной более 300 м для транспортирования рабочих и продуктивных растворов в напорном режиме. Они обладают высокой прочностью и коррозионной стойкостью при работе в агрессивных средах, а также низким коэффициентом гидравлических сопротивлений.

Стеклопластиковые трубы для напорных трубопроводов разработаны Всесоюзным научно-исследовательским институтом по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ) на эксплуатационное давление 2,5 – 3 МПа при диаметрах труб 100, 150 и 200 мм.

Для оборудования технологических скважин на предприятиях ПВ металлов разработаны и изготавливаются стеклопластиковые трубы с резьбовыми муфтами соединениями согласно ТУ 013.98–79. Трубы состоят из двух или трех заготовок, соединенных с помощью клея.

В настоящее время стеклопластиковые трубы используются при оборудовании технологических скважин ПВ глубиной более 500 м. Этими трубами оборудовано несколько скважин глубиной 520 м в тяжелых горно-геологических условиях и находятся в хорошем состоянии. Трубы имеют хорошую адгезию к цементу, что позволяет осуществить качественную гидроизоляцию затрубного пространства.

В связи с недостаточным выпуском стеклопластиковых труб и их относительно высокой стоимостью они чаще всего применяются совместно с полиэтиленовыми трубами и обычно располагаются в нижней части обсадной колонны.

В индексации указывается материал труб, внутренний диаметр и толщина стенки, например ТСО 110Х6 ТУ 13.098–79.

## **Выводы по главе II**

1. Проведенный анализ основных факторов определяющие выбор буровых агрегатов для сооружения геотехнологических скважин в различных горно-геологических условиях показал наиболее требованиям технологии

сооружения скважин отвечают агрегаты типа УРБ и ЗИФ с роторными и шпиндельными вращателями.

2. Предложены различные конструкции геотехнологических скважин в зависимости от типа месторождения горно-геологических условий, глубины и назначения скважины.

3. Теоретические исследования показали, для крепления геотехнологических скважин наиболее эффективными являются трубы стальные и полиэтиленовые специальных марок.

4. Рассмотрены технологии монтажа, спуска эксплуатационных и обсадных колон при сооружении геотехнологических скважин.

### **III. Цементирование и гидроизоляция геотехнологических скважин**

#### **3.1. Назначение, способы и технические средства цементирования геотехнологических скважин**

Цементирование и гидроизоляция геотехнологических скважин являются важнейшими факторами эффективности и качества работ, связанных с добычей твердых ПИ. Они осуществляются с целью решения основных задач:

1) предотвращения растекаемости рабочих и продуктивных растворов из обрабатываемых продуктивных пластов через затрубное пространство скважин в выше- и нижележащие водоносные горизонты;

2) разобщения пространства между эксплуатационной и обсадной колоннами. Применяется в основном тогда, когда обсадная колонна выполнена из корродирующего материала, а рабочие и продуктивные растворы обладают высокой агрессивностью;

3) защиты эксплуатационной колонны от сминающих усилий, вызванных горным давлением слабоустойчивых пород, вскрытых в процессе бурения скважин. Такая защита особенно необходима, когда скважиной вскрываются мощные пласты нецементированных, неустойчивых пород, и в качестве обсадных колонн применяются неметаллические трубы;

4) предотвращения утечек рабочих растворов через соединения (чаще всего резьбовые) эксплуатационных колонн, особенно при высоконапорном режиме нагнетания;

5) удержания и изоляции обсадных и эксплуатационных колонн в скважине, когда ствол скважины в призабойной зоне представлен камерой (полостью) значительных размеров. Это необходимо учитывать при безфильтровых скважин ПВ. Расширение призабойной зоны скважин с целью повышения их производительности также широко практикуется при сооружении технологических скважин ПВ металлов;

б) локализации рудных тел и отдельных залежей для предотвращения растекаемости выщелачивающих и продуктивных растворов в отдельных блоках при подземном выщелачивании металлов путем закачки в специально оборудованные трещины гидроразрыва цементных и других растворов;

7) упрочнения стенок скважин при сооружении эксплуатационных скважин ПВ в раздробленных породах и в подготовительных скальных блоках;

8) создания искусственных целиков для предупреждения размыва породы в зоне башмака обсадной колонны. Это мероприятие находит применение при оборудовании эксплуатационных скважин при подземном растворении солей.

#### *Способы цементирования геотехнологических скважин*

Процесс цементирования скважин ПВ, оборудованных неметаллическими обсадными и эксплуатационными колоннами, является сложным и трудоемким.

Широкое применение нашли способы цементирования через заливочные трубки, по которым и подается цементный раствор. В зависимости от размещения заливочных трубок различают два варианта доставки тампонажных материалов в затрубное пространство скважины. При первом варианте цементирования заливочные трубки опускают в затрубное пространство цементируемой колонны, а при втором – внутрь обсадной или эксплуатационной колонны.

Вариант доставки тампонажных материалов при размещении заливочных трубок в затрубном пространстве колонны показан на рис. 3.1.

Нижний конец заливочных трубок опускают выше башмака колонны или разобщающей манжеты на 0,5 – 2 м и по ним в затрубное пространство закачивают цементный раствор в требуемом объеме. В качестве заливочных трубок могут применяться бурильные трубы ниппельного соединения, насосно-компрессорные трубы или полиэтиленовые шланги.

В связи с трудностью спуска в скважину полиэтиленовых шлангов предусматривается их крепление к обсадным или эксплуатационным трубам и одновременный спуск.

При цементировании обсадных колонн из полимерных материалов с целью предупреждения смятия предусматривается полное заполнение их внутренней полости глинистым раствором (рис. 3.1. а). Причем по мере заполнения затрубного пространства тампонажным раствором заливочные

### Схемы цементирования скважин с применением заливочных трубок

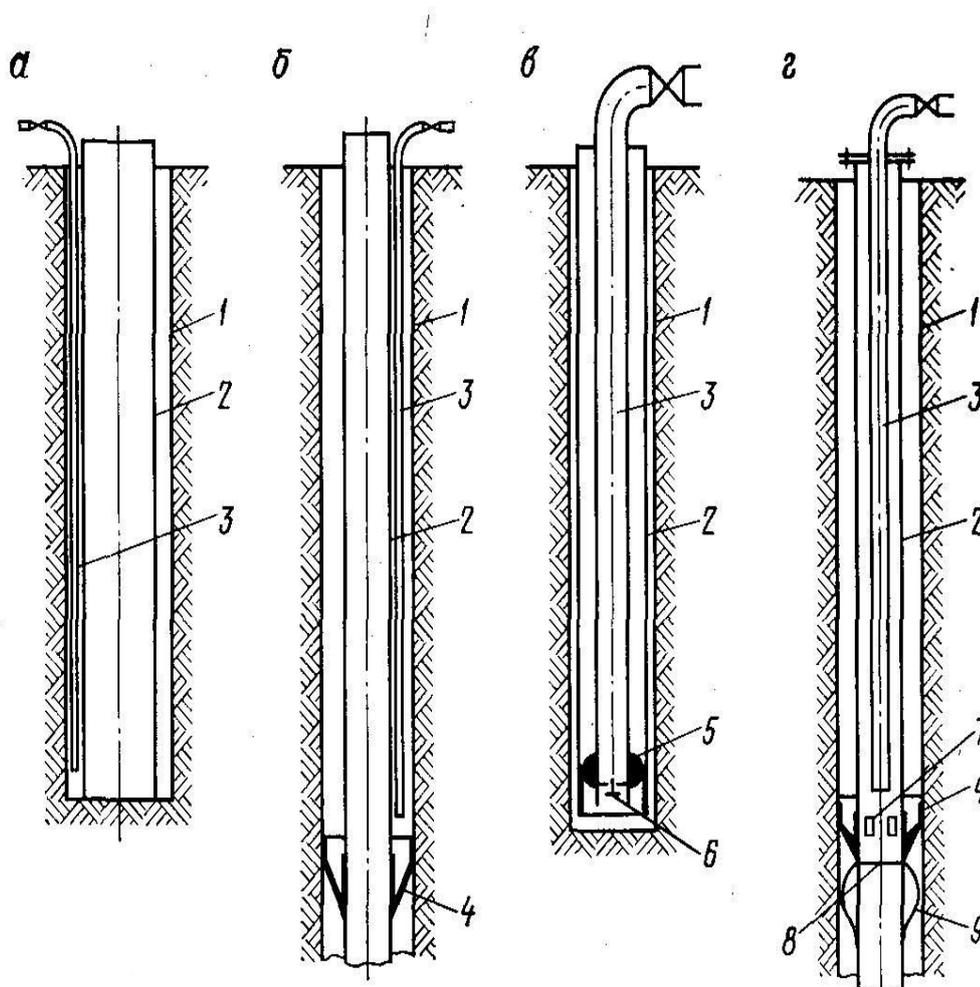


Рис. 3.1.

а, б – путем спуска заливочных трубок в затрубное пространство обсадной колонны; в, г – путем спуска заливочных трубок в полость обсадной колонны: 1 – ствол скважины; 2 – обсадная (эксплуатационная) колонна; 3 – заливочные трубки; 4 – разобщающая манжета; 5 – пакер; 6 – обратный клапан; 7 – цементирующее устройство; 8 – диафрагма; 9 – центратор

трубки приподнимают. Для предупреждения перетекания цементного раствора в полость обсадной колонны ее башмак оборудуется диафрагмой, изготовленной из чугуна, стекла и других материалов, либо предусматривается заливка полости обсадной колонны глинистым раствором с плотностью, близкой к плотности цементного раствора.

При цементировании колонн, оборудованных в нижней части фильтром, предусматривается постановка разобщающей манжеты, закрепленной на колонне выше фильтра (рис. 3.1., б). Она предотвращает поступление тампонажных растворов в при фильтровую зону скважины.

Манжета выполняется из эластичного материала, в основном из кислотостойкой резины и имеет форму усеченного конуса, широкая часть которого больше диаметра скважины на 20 – 50 мм. Для лучшей герметизации при фильтровой зоны скважины посадку манжеты обычно производят на уступ, образованный при переходе ствола скважины на уменьшенный диаметр.

К основным недостаткам цементировании при размещении заливочных трубок в затрубное пространство можно отнести следующие:

- 1) затруднено использование при цементировании глубоких скважин в связи с трудностью спуска заливочных трубок;
- 2) необходимость увеличения диаметра скважин для размещения заливочного става в пространстве между стенкой скважины и обсадной колонной. Для цементировании обсадной колонны из полиэтиленовых труб ПВП 110X18 Т и применения в качестве заливочного става БТ диаметром 42 мм диаметр скважины должен быть не менее 190 – 214 мм. Это приводит к увеличению стоимости ее сооружения;
- 3) при использовании в качестве заливочных трубок бурильных, насосно-компрессорных и других металлических труб увеличивается вероятность повреждения цементируемых труб и их соединений, что приводит к аварийным ситуациям и выходу скважины из строя;

4) невозможность оборудования цементируемой колонны центрирующими фонарями, скребками и другими приспособлениями вследствие того, что они являются препятствием для спуска заливочного става;

5) не обеспечивается высокое качество цементирования в связи с неравномерным распределением цементного раствора за колонной и разбавлением его глинистым раствором.

### **3.2. Технические средства и технология гидроизоляции зон движения рабочих и продуктивных растворов**

К оборудованию технологических скважин ПВ предъявляются специфические требования, связанные с необходимостью гидроизоляции зон движения рабочих и продуктивных растворов. Надежная изоляция зон движения растворов повышает технико-экономические показатели добычи и является важным мероприятием охраны природы и в частности подземных вод.

Осуществляется гидроизоляция по самым разнообразным схемам с применением различных материалов. Одним из самых распространенных способов гидроизоляции рабочих и продуктивных растворов является способ с использованием кислотостойких резиновых манжет с впаянным в основание металлическим кольцом, которое обеспечивает необходимую прочность и жесткость. С помощью специальных кислотостойких штифтов манжета присоединяется к телу трубы, изготовленной обычно из полиэтилена или другого кислотостойкого материала. Место установки манжеты соответствует переходу ствола скважины на уменьшенный диаметр бурения.

Гидроизоляционный материал заливается в этом случае обычно поверх манжеты через заливочные трубки, которые опускаются в затрубное пространство или внутрь эксплуатационной (обсадной) колонны.

В последнее время технологические скважины ПВ оборудуются фильтрами с гравийной обсыпкой, очень часто с предварительным расширением призабойной зоны. Применение гравийных фильтров способствует повышению производительности технологических скважин и увеличению срока службы. Гидроизоляционный материал при сооружении таких скважин заливается поверх слоя гравия.

Интервал гидроизоляции обычно равен высоте от манжеты или верхнего уровня гравийного слоя до, статического (откачных скважин) или динамического (для нагнетательных скважин) уровня подземных вод. Остальная часть скважины обычно заполняется инертным (очень часто песчаным) материалом, а устье скважин на глубину 2 – 3 м цементируется, что предотвращает попадание растворов с поверхности в затрубное пространство.

Гидроизоляция с помощью манжет выполняется с небольшими затратами средств и обеспечивает при качественной посадке манжеты достаточно высокую надежность перекрытия зон движения растворов.

Однако следует отметить и значительные недостатки гидроизоляции с использованием манжет, главным из которых является проникновение цементных растворов или других гидроизоляционных материалов под манжету, что приводит иногда к цементированию фильтров. В большинстве случаев это обуславливается отсутствием достаточного уступа при переходе на меньший диаметр скважины и его размывом при промывке скважин через фильтр.

При заливке гидроизоляционного материала поверх гравийного слоя также не всегда обеспечивается надежная изоляция, так как возможны перетоки растворов вверх по стволу скважины и проникновение материала гидроизоляции в слой гравия. Перетоки растворов по стволу скважины могут быть обусловлены двумя обстоятельствами:

а) недостаточным сцеплением цементных и других растворов, используемых в качестве гидроизоляционного материала с поверхностью полиэтиленовых труб и стенками скважины;

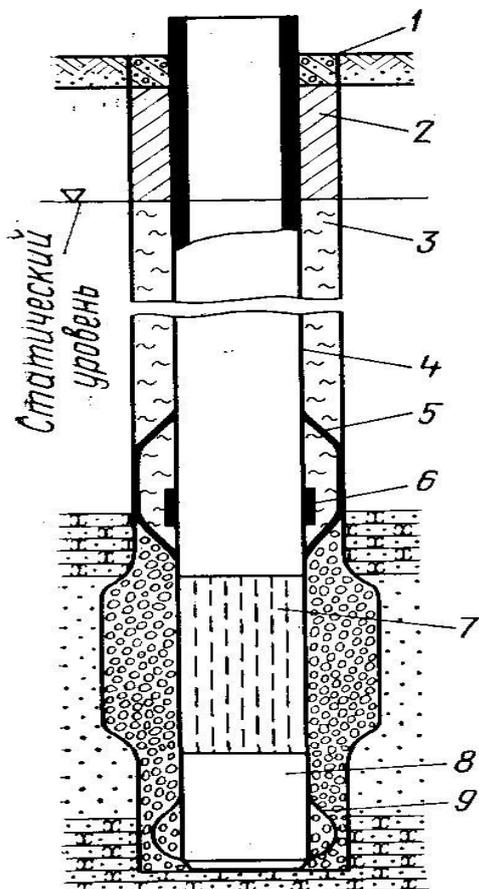
б) разрушением материала гидроизоляции в результате длительного воздействия агрессивных выщелачивающих растворов и образованием в гидроизоляционном материале каналов, пор, по которым могут циркулировать выщелачивающие растворы.

Важным недостатком существующих способов сооружения технологических скважин с гравийными фильтрами, формируемыми на забое, является невозможность осуществления гравийной обсыпки фильтров при наличии пакерных гидроизоляционных устройств.

При применении одноколонных конструкций скважин, в том числе и с гравийной обсыпкой, гидроизоляцию затрубного пространства можно производить с помощью гидравлических пакеров, которые позволяют

разобшить зону продуктивного пласта от вышележащих пород (рис.3.2). Привод пакера в рабочее состояние производится путем закачки воды в его полость через обратный клапан по бурильным трубам, опускаемым в эксплуатационную колонну.

После разобширения зафильтрованного пространства затрубное пространство поверх пакера заполняют гидроизоляционным материалом. Такая



**Рис. 3.2. Гидроизоляция растворов с помощью гидравлических пакеров:**

1 – цементное кольцо; 2 – тампонажный слой глины; 3 – глиноизвестковый раствор; 4 – полиэтиленовая колонна; 5 – гидравлический пакер; 6 – клапан; 7 – фильтр; 8 – отстойник; 9 – направляющий фонарь

схема гидроизоляции позволяет применять одноколонные конструкции скважин и оборудовать их фильтрами с гравийной обсыпкой, что позволяет повысить производительность и срок службы технологических скважин. Материал гидроизоляции в этом случае заливают в зону выше пакера после засыпки гравия в прифильтровую зону скважины.

Можно выделить некоторые особенности сооружения таких скважин. Бурение их обычно осуществляется долотами уменьшенных диаметров – 151 – 243 мм. При применении фильтров с гравийной обсыпкой производится при необходимости расширение призабойной зоны скважин с целью получения уширенного контура гравийной обсыпки.

Данный способ оборудования технологических скважин и создание гидроизоляции имеет следующие преимущества: 1) уменьшается диаметр скважин; 2) сокращается время на их сооружение; 3) не требуется производить дорогостоящие и трудоемкие работы по цементированию скважин; 4) уменьшается стоимость оборудования скважин.

В качестве гидроизоляционного материала при сооружении технологических скважин ПВ применяются растворы сульфатостойких и кислотостойких цементов, а также различные пасты и специальные растворы.

При создании гидроизоляционных оболочек важным условием является также доставка гидроизоляционных материалов в зону скважины. Доставка этих материалов в скважину, оборудованную неметаллическими колоннами, осуществляется заливкой материала по трубам или шлангам, опущенным в зазор между стенками скважины и эксплуатационной (обсадной) колонной или опущенными внутрь колонны, по аналогии с технологией цементирования скважин. В последнем случае потребуются применение специальных цементировочных устройств.

### 3.3. Технология вскрытия продуктивных горизонтов

Вскрытие продуктивных горизонтов при сооружении технологических скважин ПВ металлов является одним из мероприятий повышения производительности и срока службы скважин, снижения эксплуатационных затрат. При вскрытии продуктивных пластов, сложенных мелкозернистыми песками, практически всегда происходит нарушение их естественных фильтрационных свойств, что выражается, прежде всего в уменьшении проницаемости пород пристволенной зоны в результате образования зоны кольматации – участка скважины, в поры которого проникли частицы дисперсной фазы промывочной жидкости. Выделяют две зоны кольматации: зону, примыкающую к пристволенной части скважины, обусловленную проникновением частиц бурового шлама и ПЖ, а также зону фильтрата ПЖ, чаще всего глинистого раствора, в породы продуктивного горизонта.

Возникновение зоны кольматации является неизбежным, если в ПЖ присутствуют твердые частицы и бурение осуществляется с депрессией на пласт.

Величина зоны кольматации зависит от перепада давления в процессе бурения, продолжительности бурения и от соотношения размеров твердой фазы ПЖ и размеров пор и трещин. При попадании твердых частиц в поры и трещины продуктивного пласта площадь сечения их уменьшается, что приводит к резкому снижению проницаемости.

Глубина проникновения глинистого раствора в поры продуктивного горизонта зависит от свойств пород и глинистого раствора.

При увеличении зоны интенсивной кольматации возрастает и сложность ее разрушения. Снятие корки со стенок скважины с помощью механических расширителей и гидроразмыва большой сложности не представляет, но удаление глинистых частиц полностью из пласта представляет собой значительные трудности.

Воздействие фильтрата ПЖ на пласт вызывает следующие изменения в породах продуктивных горизонтов:

- наличие химических веществ, содержащихся в фильтрате жидкости, приводит к уменьшению эффективных сечений пор и каналов продуктивных пластов, а также их проницаемости за счет увеличения гидрофильности пород и толщины гидратных оболочек;
- глинистые минералы, содержащиеся в продуктивных пластах, гидратируют под влиянием водного фильтрата и увеличиваются в объеме, что также способствует снижению проницаемости;
- наличие в фильтрате ПЖ растворенных химических элементов способствует при взаимодействии с веществами продуктивного пласта образованию нерастворимых осадков.

Таким образом, при воздействии фильтрата проницаемость пласта также снижается.

Но это снижение обычно меньше, чем при кольматации, воздействие фильтрата на пласт следует уменьшать, так как глубина проникновения фильтра в пласт во много раз больше толщины зоны кольматации.

*Вращательное бурение с прямой промывкой* является наиболее распространенным способом при вскрытии продуктивных горизонтов.

В качестве очистных агентов для вскрытия продуктивных горизонтов при вращательном бурении могут применяться:

*Техническая вода.* Является самым дешевым очистным агентом, ее применение предотвращает загрязнение пород продуктивных горизонтов, способствует резкому уменьшению их кольматации.

Применение воды способствует также повышению скоростей бурения и снижению стоимости сооружения скважин. Однако вода является по отношению к породам приствольной зоны скважин самой агрессивной промывочной жидкостью и приводит к размыву песчано-глинистых пород, набуханию и обвалам скважин. Применение воды для вскрытия продуктивных горизонтов возможно только в том случае, когда

обеспечивается устойчивость разбурываемых пород, их высокая сопротивляемость размывающему действию потока промывочной жидкости.

Высокие технико-экономические показатели вскрытия продуктивных горизонтов, сложенных песками различной зернистости, могут быть получены при вращательном бурении с прямой промывкой скважин технической водой путем поддержания на пласт постоянного противодействия. Этот метод вскрытия водоносных пластов требует постоянного подлива воды в скважину и поддержания уровня жидкости на устье скважины.

Из недостатков этого способа вскрытия следует также отметить большой расход воды.

*Глинистые растворы* обеспечивают высокую устойчивость стенок скважин, сложенных неустойчивыми породами. Однако содержащиеся в глинистом растворе твердые частицы, а зачастую и химические реагенты способствуют коагуляции пород продуктивных горизонтов и резкому снижению их проницаемости. Глинистые растворы целесообразно применять для вскрытия напорных водоносных пластов.

Глинистые растворы, применяемые для вскрытия продуктивных пластов при ПВ, должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) обеспечивать минимальное проникновение раствора в породы продуктивного пласта;
- 2) предотвращать образование осадков (механических, химических), закупоривающих поры пласта и отверстия в рабочей части фильтра;
- 3) способствовать быстрому удалению продуктов коагуляции в зоне пласта;
- 4) обеспечивать необходимую стабильность при изменении температуры и давления.

*Меловые растворы.* Применение меловых растворов для вскрытия продуктивных пластов приводит к образованию корки толщиной 3 – 5 мм, которая легко удаляется при воздействии растворами серной или соляной

кислот. Содержащиеся в кольматирующем слое глинистые частицы дезинтегрируют и легко удаляются при откачках.

Основной недостаток меловых растворов – трудоемкость приготовления и низкая технологичность в процессе их использования. Поэтому меловые растворы в качестве ПЖ находят ограниченное применение.

*Ингибированные растворы.* Для вскрытия продуктивных горизонтов при сооружении скважин ПВ могут найти применение известковые, кальциевые и гипсовые растворы. Получают ингибированные растворы путем добавления к малоглинистым растворам соответствующих ингибирующих компонентов:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{KCl}$  и др. Зона кольматации продуктивных пластов при применении ингибированных растворов легко разрушается под действием кислоты в процессе освоения скважин и подготовки их к эксплуатации.

Однако образование труднорастворимых осадков при обработке продуктивных пластов кислотными растворами может привести к закупориванию пор и трещин и снижению проницаемости пластов. Поэтому для определения эффективности применения ингибированных растворов для вскрытия продуктивных горизонтов потребуется проведение исследований.

*Буровые растворы с низким содержанием твердой фазы.* К числу таких растворов можно отнести растворы с добавками гидролизированных продуктов акрилатного типа К-4, К-6, К-9, а также гипан.

Их применение способствует резкому уменьшению поглощения ПЖ и повышению устойчивости прифилтровой зоны скважин. Зона кольматации в виде корки толщиной 5 – 7 мм легко разрушается в процессе освоения скважин. При этом время освоения скважин сокращается.

Основным недостатком реагентов К-4, К-9, К-6 является их плохое растворение в воде в холодное время года. Кроме того, все они имеют высокую стоимость.

Приготовление растворов с реагентами в виде гидролизованного полиакриламида К-4, К-9, К-6 осуществляется в зумпфе путем тщательного перемешивания определенного количества воды и реагента с помощью гидросмесителя или бурового насоса.

*Водогипановые растворы* обладают повышенной вязкостью, что способствует улучшению условий выноса шлама при бурении скважин большого диаметра с использованием буровых насосов с небольшой подачей, т.е. при малых скоростях восходящего потока ПЖ.

Кроме того, их применение позволяет предотвратить аварии и осложнения при бурении в поглощающих и неустойчивых, склонных к обрушениям пластах.

Водогипановые растворы обладают коагулирующими свойствами, что объясняется их способностью коагулировать при контакте с электролитами, содержащими ионы железа, кальция и магния и с выделением нерастворимого осадка.

Наличие слоя коагуляции в виде корки небольшой толщины способствует при сооружении технологических скважин ПВ повышению устойчивости пород продуктивных пластов, обычно сложенных мелкозернистыми песками, что является положительным фактором. В процессе освоения скважин слой коагуляции легко разрушается, а проницаемость продуктивных пластов и приемистость нагнетательных скважин восстанавливаются.

Водогипановые растворы готовят перемешиванием с помощью гидросмесителя или непрерывным подливанием тонкой струйкой на храпок всасывающего шланга.

*Аэрированные растворы.* К ним относятся все типы глинистых, безглинистых и других буровых растворов, аэрированных воздухом или другим газообразным агентом. Аэрация – это процесс насыщения бурового раствора пузырьками воздуха или газом.

Аэрированные воздухом буровые растворы обладают пониженной плотностью (800 – 900 кг/м<sup>3</sup>), повышенной текучестью и подвижностью.

Аэрированные ПЖ способствуют уменьшению гидростатического давления на продуктивный пласт, улучшению условий очистки забоя скважины от шлама, повышению скорости бурения и проходки на ПРИ.

Применение аэрированных растворов обеспечивает высокие показатели вскрытия продуктивных пластов за счет сохранения естественного состояния призабойной зоны скважин, исключения проникновения в пласт воды и твердой фазы.

*Сжатый воздух.* Использование сжатого воздуха позволяет во многих случаях повысить скорость бурения и проходку на долото, а также снизить стоимость бурения. За счет низкого гидростатического давления сжатого воздуха на продуктивный пласт при его вскрытии обеспечивается сохранение естественной проницаемости пластов и снижение затрат на освоение скважин и поддержание их в работоспособном состоянии в период эксплуатации.

Однако применение сжатого воздуха для бурения скважин различного целевого назначения ограничено устойчивыми породами, в которых водопитоки отсутствуют или незначительны. Важным условием применения сжатого воздуха является герметизация устья скважин.

*Вскрытие продуктивных горизонтов с помощью обратной промывки.* Применение обратной промывки при сооружении технологических скважин для ПВ металлов является важным: фактором повышения эффективности вскрытия пластов и производительности скважин. При этом способе бурения в качестве ПЖ может быть использована вода, которая поступает на забой по зазору между стенками скважины и бурильными трубами, а образовавшаяся в процессе бурения пульпа поднимается на поверхность по БТ с помощью вакуумных насосов, эрлифтов и гидроэлеваторов. Наличие столба жидкости в скважине обеспечивает необходимую устойчивость стенок скважины.

В процессе вскрытия продуктивных пластов вследствие всасывания пульпы с забоя скважины сохраняются их естественные условия пористости и проницаемости.

Применение обратной промывки наиболее эффективно при сооружении скважин диаметром 500 мм и более, пробуренных в однородных по составу породах.

Однако при сооружении технологических скважин ПВ способ вскрытия продуктивных пластов с обратной промывкой пока не нашел широкого применения по следующим причинам:

- отсутствие серийно выпускаемых бурового оборудования и инструмента;
- небольшие диаметры технологических скважин;
- значительная глубина и наличие зон поглощения ПЖ;
- требуется значительное количество воды.

### **Выводы по главе III.**

1. Затруднение использования при цементировании глубоких скважин в связи с трудностью спуска заливочных трубок, необходимость увеличения диаметра скважин для размещения заливочного става в пространстве между стенкой скважины и обсадной колонной, который приводит к увеличению диаметра скважины не менее 190 – 214 мм. Не обеспечивается высокое качество цементирования в связи с неравномерным распределением цементного раствора за колонной и разбавлением его глинистым раствором.

2. Надежная изоляция зон движения растворов повышает технико-экономические показатели добычи и является важным мероприятием охраны природы и в частности подземных вод.

3. Гидроизоляция с помощью манжет выполняется с небольшими затратами средств и обеспечивает при качественной посадке манжеты достаточно высокую надежность перекрытия зон движения растворов.

Однако следует отметить и значительные недостатки гидроизоляции с использованием манжет, главным из которых является проникновение цементных растворов или других гидроизоляционных материалов под манжету, что приводит иногда к цементированию фильтров. В большинстве случаев это обуславливается отсутствием достаточного уступа при переходе на меньший диаметр скважины и его размывом при промывке скважин через фильтр.

4. Сооружения гравийного фильтра и изоляционной цементной перемычки над ним по эксплуатационной колонне, через специальный распределительный циркуляционный клапан.

5. Высокие технико-экономические показатели вскрытия продуктивных горизонтов, сложенных песками различной зернистости, могут быть получены при вращательном бурении с прямой промывкой скважин технической водой путем поддержания на пласт постоянного противодавления.

## **IV. ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН**

### **4.1. Технология сооружения геотехнологических скважин в прифильтровую зону.**

Существующая схема доставки гравия в прифильтровую зону предусматривает бурение ствола увеличенного диаметра (до 295,3 или 340 мм) большего, чем необходимо для установки обсадной колонны, обеспечивая необходимый зазор между стенкой скважины и обсадной колонной для спуска нагнетательной колонны в затрубное пространство. Такая схема не гарантировала получение качественного гравийного фильтра из-за неравномерности укладки гравия вокруг фильтра и вела к увеличению затрат времени на проходку и освоение скважины, включала в себя риск создания аварийности ситуации при проведении работ.

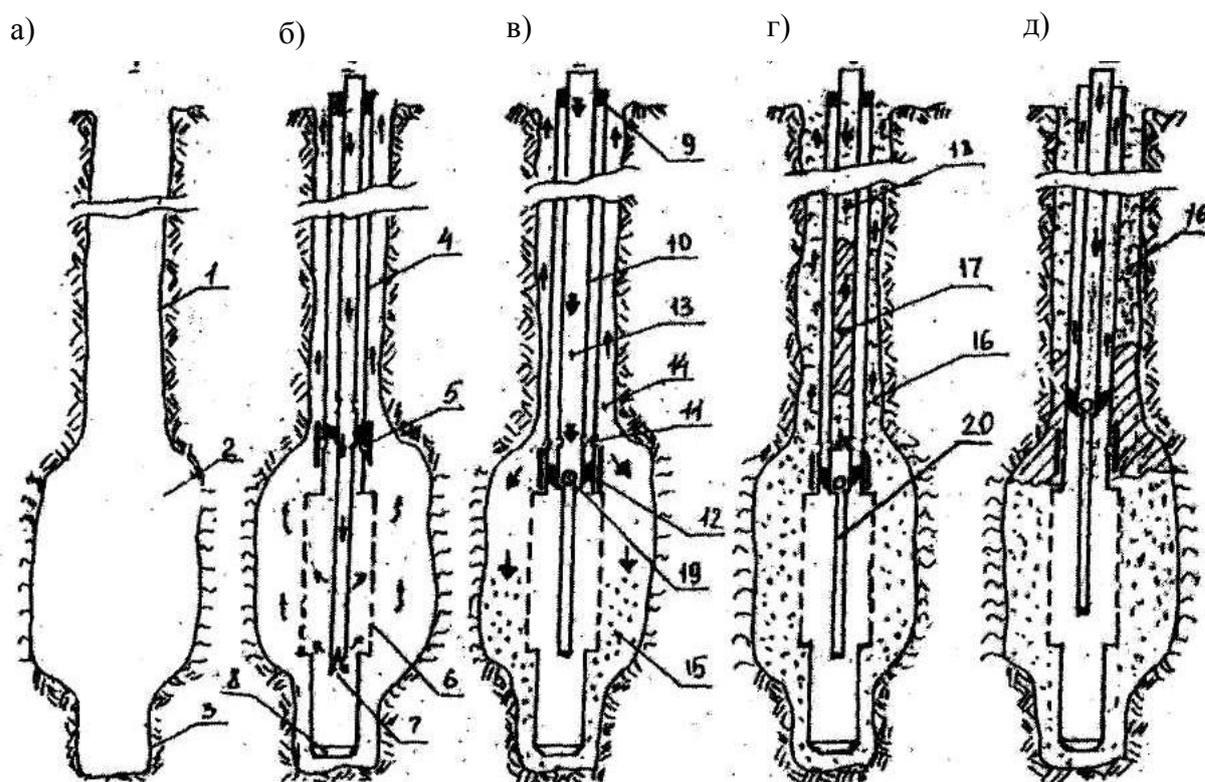
Анализ традиционной технологии сооружения скважин позволил разработать технологию строительства скважин с применением распределительного клапана. Предлагаемая технология достаточно универсальна и пригодна как для откачных, так и для закачных скважин.

Достоинства данной технологии заключаются в: гарантированной доставке гравия в зону формирования обсыпки и его равномерной укладки вокруг каркаса фильтра при любой глубине скважины без увеличения кольцевого зазора и усложнения традиционной конструкции.

На рис. 4.1 представлена последовательность технологических операций при намыве фильтра.

На рис 4.2 представлена принципиальная конструкция скважины готовой к эксплуатации. Для расширения участка ствола скважины с целью создания гравийного фильтра предложены различные конструктивные разновидности расширителей.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ПРИ СООРУЖЕНИИ СКВАЖИН

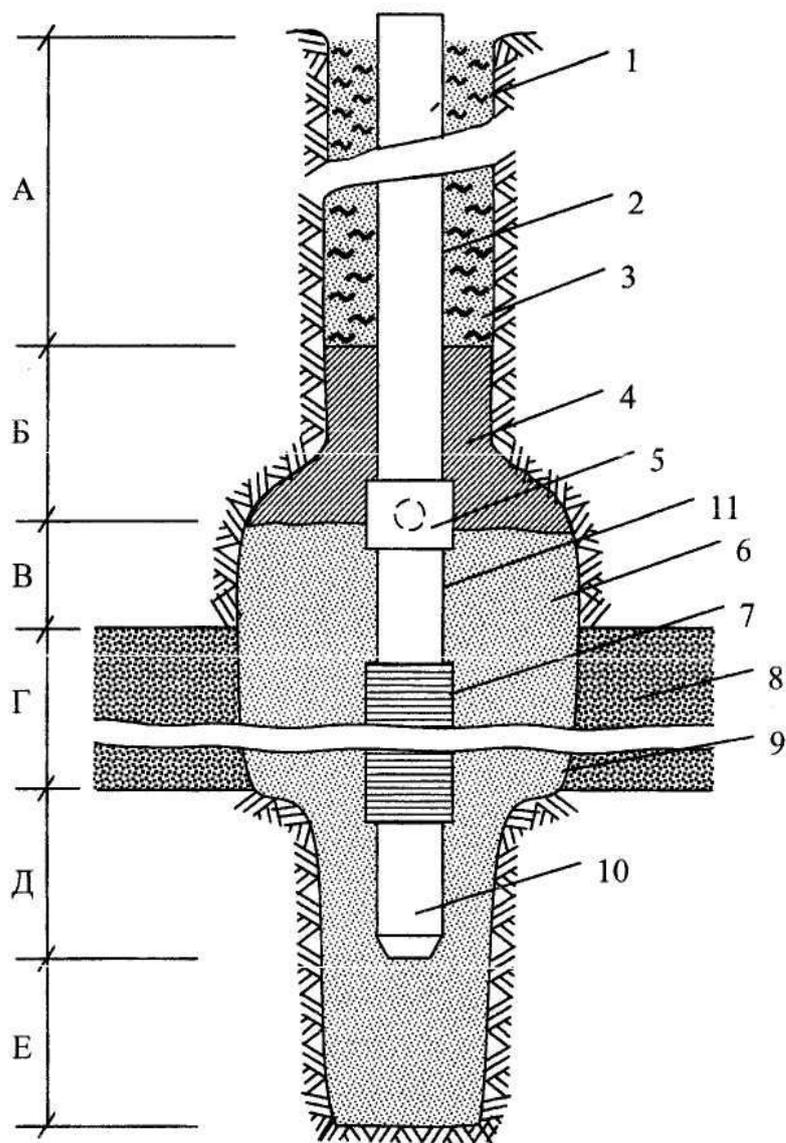


**Рис. 4.1.**

*а* - бурения скважины и расширения продуктивного интервала; *б* - спуск фитьровой и нагнетательной колонн, промывка фильтра; *в* - закрытие внутреннего канала нагнетательных труб шаром, открытие клапана и закачка гравийной смеси; *г* - последовательность закачки отработанного глинистого раствора, цементного раствора и продавочной жидкости; *д* - закрытие клапана и рпомывка колонны ПВХ и подъем колонны.

1 – стенки скважины; 2 – расширенный участок; 3 – карман; 4 – обсадная колонна; 5 – клапан КРЦ; 6 – фильтр; 7 – отстойник; 8 – направляющая пробка; 9 – устьевой клапан; 10 – нагнетательная колонна; 11 – циркуляционные отверстия; 12 – уплотнительный манжет; 13 – поток гравийной смеси; 14 – поток жидкости-носителя гравия; 15 – гравийный фильтр; 16 – отработанный глинистый раствор; 17 – цементный раствор; 18 – продавочная жидкость; 19 – шар; 20 – промывочные трубы.

## КОНСТРУКЦИЯ СКВАЖИНЫ В ИНТЕРВАЛЕ ПРОДУКТИВНОГО ГОРИЗОНТА С ГРАВИЙНОЙ ОБСЫПКОЙ ФИЛЬТРА



**Рис. 4.2.**

- А – интервал, заполненной отработанным глинистым раствором;  
 Б – интервал цементного кольца  
 В – интервал резервного объема гравия, компенсирующий уменьшение объема гравийного фильтра за счет уплотнения;  
 Г – интервал под объемом гравия по высоте соответствующий мощности продуктивного пласта;  
 В+Г – интервал для размещения полного объема гравийного фильтра;  
 Д – интервал под отстойник;  
 Е – интервал под объем выбуренной породы под расширением.
- 1 – стенки скважины; 2 – эксплуатационная колонна; 3 – глинистый раствор; 4 – гелцементное кольцо; 5 – клапан КРЦ; 6 – гравийная обсыпка; 7 – фильтр; 8 – продуктивный пласт; 9 – расширенный интервал скважины; 10 – отстойник; 11 – надфильтровая труба.

## 4.2. Расширение призабойной зоны геотехнологических скважин

Расширение призабойной зоны геотехнологических скважин является одним из путей повышения их производительности и снижения стоимости бурения и добычи ПИ.

При ПВ происходит увеличение дебита расширенных скважин, что связано с увеличением площади притока технологических растворов и с разрушением зон кольтматации продуктивных пластов.

При ПВ диаметр зоны расширения определяется толщиной слоя гравийной обсыпки, величина которого оказывает существенное влияние на производительность скважины и срок ее службы.

Наиболее широко применяются следующие три способа расширения призабойной зоны: механический, гидродинамический и комбинированный. Для скважин ПВ предпочтение следует отдать механическому и особенно комбинированному способу, основанному на механическом разрушении горных пород с использованием энергии струи ПЖ.

Разрушение пород стенок скважины в процессе образования камеры производится при подаче на забой скважины промывочной жидкости. Выходя с большой скоростью из насадки, струя жидкости разрушает стенки скважины и формирует камеру, при этом буровой инструмент поворачивается.

Расширение призабойной зоны технологических скважин способствует уменьшению диаметра основного ствола скважины, что дает возможность повысить скорости бурения, уменьшить материально-технические затраты и снизить стоимость сооружения скважин. Кроме того, при сооружении скважин для подземного выщелачивания легко создается уширенный контур гравийной обсыпки, что способствует повышению производительности скважин и увеличению их срока службы.

При определении величины расширения призабойной зоны технологических скважин ПВ необходимо учитывать следующие основные

факторы: а) размеры добычного оборудования, опускаемого в скважину (фильтры, эрлифты и др.); б) эффективное разрушение зон интенсивной кольматации продуктивных горизонтов; в) создание гравийных обсыпок необходимой толщины; г) устойчивость кровли над зоной расширения.

Эксцентриковый расширитель с тремя гидромониторными насадками для расширения участка ствола состоит из породоразрушающей лопасти и полого корпуса, который выполнен в виде концентрично соединённых патрубков различного диаметра.

Эксцентриковый расширитель с двумя лопастями целесообразно использовать на большой глубине или при использовании бурильной колонны малого диаметра. Одна его лопасть выполняет функцию эксцентриситета, а другая - разрушения породы.

Эксцентричный скважинный расширитель с изменённым рабочим органом и стабилизатором устойчивости конструкции «Интер-Аква 2000» представляет собой систему рабочих скоб, армированных восьмигранниками твёрдого сплава ВК-8.

Такая система крепления скоб различного размера обеспечивает более приемлемую конфигурацию зоны расширения для укладки гравия.

Расширитель комбинированного действия (рис. 4.3), работает под давлением бурового раствора и прижимается рабочими органами к стенкам скважины под действием центробежных сил.

Наличие одной массивной лопасти обеспечивает высокую надежность конструкции и простоту использования.

В предварительно пробуренную скважину опускают расширитель до кровли продуктивного пласта. При спуске в скважину рабочая лопасть 9 находится в закрытом (транспортном) положении. Буровой раствор по бурильным трубам поступает в корпус расширителя 1 и воздействует на поршень 7, который при перемещении вниз сжимает возвратную пружину 3, и посредством толкателя поршня 13, воздействуя на эксцентрик рабочей лопасти 10, выдвигает её в рабочее положение. При приведении лопасти

## РАСШИРИТЕЛЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСДВИЖНОЙ ОДНОСТУПЕНЧАТЫЙ

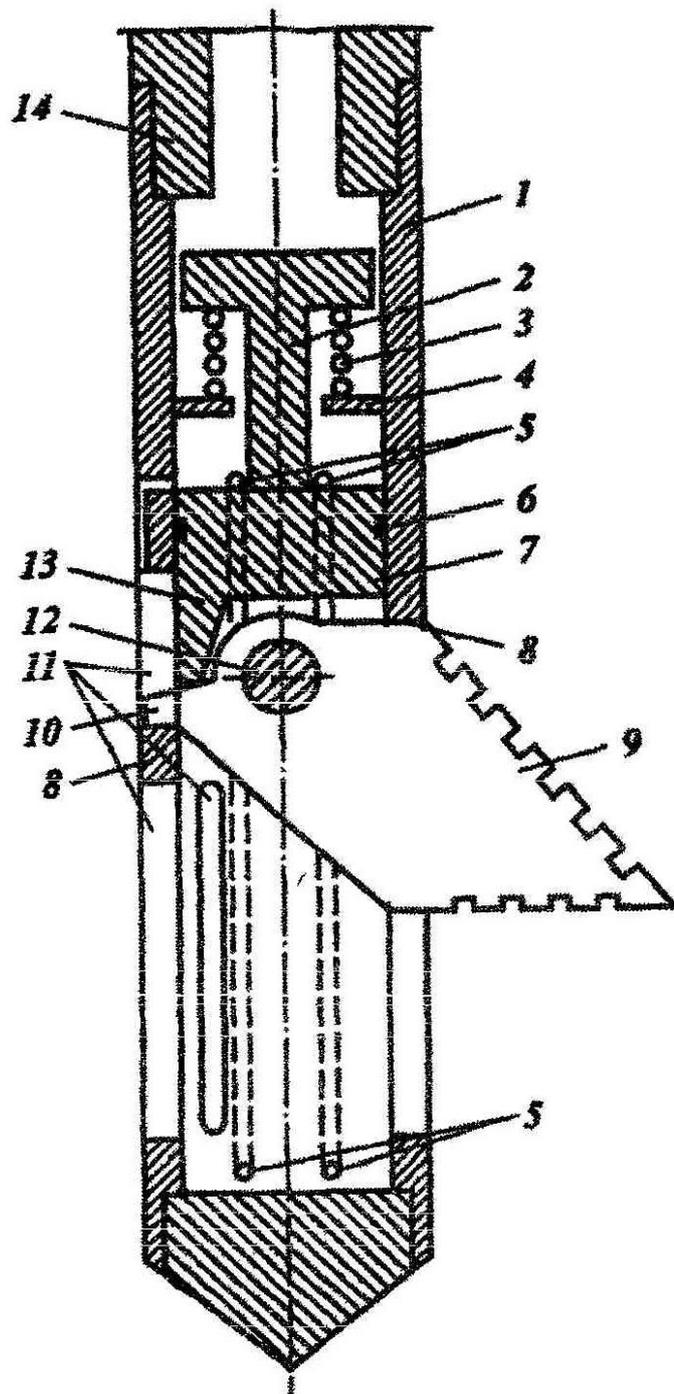


Рис. 4.3.

1 – корпус расширителя; 2 – шток поршня; 3 – возвратная пружина; 4 – упор возвратной пружины; 5 – промывочные каналы; 6 – уплотнительный сальник; 7 – поршень; 8 – упор рабочей лопасти; 9 – рабочая лопасть расширителя; 10 – эксцентрик рабочей лопасти; 11 – технологические окна; 12 – вал рабочей лопасти; 13 – толкатель поршня; 14 – УБТ.

расширителя в рабочее положение открываются промывочные каналы 5. Резко падает давление в нагнетательной магистрали. Инструменту передаётся вращение и осевая нагрузка.

Осуществляют подачу расширителя вдоль интервала расширения, увеличивая тем самым диаметр пилот-скважины до расчётного диаметра. При достижении расширителем границы интервала расширения включается промывка. Под действием возвратной пружины 3 и силы тяжести поршень 7 с толкателем поршня 13 приводится в исходное положение. Рабочая лопасть расширителя 9 приводится в транспортное положение, упираясь, нерасширенный интервал или башмак обсадной колонны при подъёме инструмента.

Поворот лопастей в радиальном направлении происходит под действием центробежных сил при вращении бурильной колонны с расширителем.

Промывка и охлаждение вооружения лопастей производится через боковые отверстия промывочного патрубка. При прекращении вращения лопасти под действием силы тяжести возвращаются в транспортное положение, либо это достигается в процессе подъема расширителя за счет реакции стенок скважины. По окончании расширения производится интенсивная промывка скважин в течение двух циклов, отключения насоса и подъема расширителя из скважины.

В условиях РУ-5 в скважинах, пробуренных долотом Ø 151 мм успешно апробирован гидромеханический раздвижной расширитель РРГ-146/300. Средний диаметр расширения по данным кавернометрии составил 350 мм.

Этот результат позволяет в интервале продуктивного пласта существенно увеличить контур фильтрации, создать мощную гравийную обсыпку, добиться большей продуктивности и снижения пескования.

## Выводы по главе IV

1. Расширение призабойной зоны геотехнологических скважин является одним из путей повышения их производительности и снижения стоимости бурения и добычи ПИ.

2. При ПВ происходит увеличение дебита расширенных скважин, что связано с увеличением площади притока технологических растворов и с разрушением зон кольтматации продуктивных пластов.

3. При ПВ диаметр зоны расширения определяется толщиной слоя гравийной обсыпки, величина которого оказывает существенное влияние на производительность скважины и срок ее службы.

4. Позволяет в интервале продуктивного пласта существенно увеличить контур фильтрации, создать мощную гравийную обсыпку, добиться большей продуктивности и снижения пескования.

5. Применение технологии расширения скважины в зоне продуктивного пласта позволит отказаться от бурения скважин долотами Ø 396 – 260 мм и применять долота Ø 151 мм, что повысит производительность бурения и снизит стоимость работ не менее чем на 15-20%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненная выпускная квалификационная научно-исследовательская работа позволяет сделать следующие выводы:

- совершенствование техники и технологии сооружения геотехнологических скважин в Навоийском ГМК возможно на базе разработанной концепции, заключающейся в комплексном решении проблемы начиная от методики планирования работ до получения готовой продукции путем внедрения современных прогрессивных технологии сооружения скважин подземного выщелачивания, в основе которых лежат технологии, обеспечивающие снижение себестоимости добычи урана и включающие в себя:

- снижение себестоимости буровых работ путём перехода на меньшие диаметры бурения при постоянных эксплуатационных параметрах скважины;

- расширение призабойной зоны геотехнологических скважин является одним из путей повышения их производительности и снижения стоимости бурения и добычи ПИ.

- при ПВ происходит увеличение дебита расширенных скважин, что связано с увеличением площади притока технологических растворов и с разрушением зон кольтматации продуктивных пластов.

- при ПВ диаметр зоны расширения определяется толщиной слоя гравийной обсыпки, величина которого оказывает существенное влияние на производительность скважины и срок ее службы.

- позволяет в интервале продуктивного пласта существенно увеличить контур фильтрации, создать мощную гравийную обсыпку, добиться большей продуктивности и снижения пескования.

- применение технологии расширения скважины в зоне продуктивного пласта позволит отказаться от бурения скважин долотами Ø 396 – 260 мм и применять долота Ø 151 мм, что повысит производительность бурения и

снизит стоимость работ не менее чем на 15-20%.

- при уменьшении диаметра скважин все технико-экономические показатели бурения повышаются – увеличиваются механическая и рейсовая скорости, уменьшаются энергетические затраты и трудоемкость выполнения спускоподъемных операций, снижается стоимость 1 м бурения и оборудования скважин.

Таким образом, применения технологии бурения скважин меньшими диаметрами осуществляется путем расширения прифилтрового интервала, спуском обсадной колонны с фильтром, сооружением гравийного фильтра и изоляционной цементной перемычки над ним по эксплуатационной колонне, через специальный распределительный циркуляционный клапан.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арене В.Ж. Физико-химические геотехнологии. М., МГГУ, 2001, 656 с.
2. Башкатов А.Д. Прогрессивные технологии сооружения скважин. М., ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003, 554 с.
3. Блинов Г.А., Яковлев Ю.П., Васильев В.И. Охрана окружающей природной среды при бурении скважин на твердые полезные ископаемые и воду. СПб., ВИТР. 2000, 149 с.
4. Буровое оборудование. Справочник, том 1. М., «Недра», 2000.
5. Ганджумян Р.А., Калинин А.Г., Никитин Б.А. Инженерные расчеты при глубоком бурении. М., «Недра», 2000.
6. Каримов И.А. Баркамол авлод орзуси. Т.: «Шарк», 1999.
7. Каримов И.А. Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана. Ташкент ИПТД «Узбекистан». 2009. 46 с.
8. Каримов И.А. Ўзбекистон XXI аср бусагасида. Т.: 1997.
9. Каримов И.А. Ўзбекистон келажаги буюк давлат. Т.:1997
10. Комплексы подземного выщелачивания./ И.Г. Абдульманов, М.И. Фазлулин, А.Ф. Мосев и др./ Под ред. О.Л. Кедровского. М., «Недра», 1992.
11. Лимитовский А.М., Гланц М.А. Электрооборудование и электроснабжение геологоразведочных работ. М., 2000,
12. Петросов Д.А. Основные положения новой технологии сооружения высокодебитных скважин на воду. М., МГГУ, 2004.
13. Справочник по бурению скважин на воду под ред. Д.Н. Башкатова. М., «Недра», 1979.

14. Справочник по геотехнологии урана. В.И. Белецкий, Л.К. Богатков, Н.И. Волков и др. Под ред. Д.И. Скороварова. М., «Энергоатомиздат», 1997.

15. Толстов Е.А. и др. Техника и технология сооружения геотехнологических скважин в Навоийском ГКМ. М., «НИИ-Природа», 2004, 122 с.

16. Толстов Е.А., Першин М.Е., Гаджумян Р.А., Филиппов С.А. Охрана окружающей среды при разработке гидрогенных месторождений урана подземным выщелачиванием. М., ООО «Геоинформцентр», 2003, 44с.

17. Толстов Е.А., Толстов Д.Е. Физико-химические геотехнологии освоения месторождений урана и золота в Кызылкумском регионе. М., «Геоинформцентр», М., 2002.

18. Сайты интернета: <http://www.msmu.ru/>, <http://www.mggu.ru/>,  
<http://www.rosugol.ru/>, <http://www.conveer.ru/>, <http://www.nkmz.com/>,  
<http://www.ormetiz.ru/>, <http://gornoedelo.narod.ru/>.