

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ, ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ГЕОМЕХАНИКА»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
по дисциплине
«Специальные способы строительства выработок»

для студентов уровня профессионального образования
«специалист» по специальности 21.05.04 «Горное дело»
специализации «Шахтное и подземное строительство»
всех форм обучения

УТВЕРЖДЕНО
на заседании кафедры строительства
зданий, подземных сооружений и
геомеханики
Протокол № 5 от 04.12.2017

Донецк
2018

УДК 622.27(076)

ББК 33.15я7

П73

Составитель:

Пшеничный Юрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики.

П73 Конспект лекций по дисциплине базовой части профессионального цикла учебного плана «Специальные способы строительства выработок» [Электронный ресурс] : для студентов уровня профессионального образования «специалист» специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Шахтное и подземное строительство» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики; сост. Ю. А. Пшеничный. – Электрон. дан. (1 файл: 12,4 Мб). – Донецк: ДОННТУ, 2018. – 209 с. – Систем. требования: Acrobat Reader.

Приведено содержание всех лекций по дисциплине «Специальные способы строительства выработок», перечень основной и дополнительной учебной литературы. Конспект лекций может быть полезен студентам всех форм обучения, изучающим предмет заочно или по индивидуальному графику со свободным посещением аудиторных занятий, а также преподавателям, занятым по данной дисциплине

УДК 622.27(076)

ББК 33.15я7

Введение

Дисциплина «Специальные способы строительства выработок» является профилирующей и входит в профессиональный цикл базовой части учебного плана для студентов уровня профессионального образования «специалист» специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Шахтное и подземное строительство» всех форм обучения.

Данный курс рассматривает основные вопросы проектирования и технологии производства работ при сооружении вертикальных, горизонтальных и наклонных горных выработок в сложных горно-геологических условиях с применением различных специальных способов строительства.

Целью дисциплины является: приобретение студентами знаний и умений, необходимых для самостоятельного творческого решения задач, связанных с разработкой проектной документации и практической реализацией технологических процессов строительства горных выработок в сложных горно- и гидрогеологических условиях, когда требуется применение специальных способов строительства, путём усвоения лекционного материала, изучения новой периодической научной литературы, выполнения практических работ.

В результате освоения дисциплины студент должен

знать: - историю развития специальных способов строительства;

- сущность каждого способа и возможность его применения;

- названия, свойства применяемых материалов и характеристики оборудования;

- технологию и последовательность выполнения работ тем или другим

специальным способом при сооружении вертикальных стволов, горизонтальных и наклонных горных выработок в различных горно-геологических условиях;

- нормативные документы и техническую документацию, которая применяется на производстве.

уметь: - самостоятельно подобрать специальный способ строительства для конкретных горно- и гидрогеологических условий;

- самостоятельно рассчитать основные параметры, подобрать необходимые материалы и оборудование для выполнения работ данным способом;

- руководить работами по осуществлению специального способа на практике;

- улучшать технологию выполнения этих работ;

- исполнять экологические требования при строительстве и улучшать условия безопасности труда работников.

Конспект лекций подготовлен в соответствии с рабочей программой по данному курсу, утверждённой 23.06.2017г.

Тема 1. ВВЕДЕНИЕ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ.

2 ЧАСА

ПЛАН

1. Место специальных способов строительства в развитии горнодобывающей отрасли промышленности. Их задачи.
2. Краткие сведения из инженерной геологии и гидрогеологии, необходимые при изучении курса.
3. Классификация специальных способов строительства горных выработок в сложных горно-геологических условиях.
4. История развития технологии и техники специальных способов строительства в нашей стране и за рубежом.

Л.1, с.3-4,
Л.5, с.3-11.

1. Место специальных способов строительства в развитии горнодобывающей отрасли промышленности. Их задачи.

Не подлежит сомнению тот факт, что развитие топливной и горнорудной отраслей промышленности - одно из главных условий дальнейшего повышения эффективности общественного производства. В стране давно назрела необходимость в проведении крупномасштабных мероприятий по ускорению темпов комплексного освоения природных ресурсов, рациональному и планомерному их использованию, улучшению экологической обстановки страны и охране труда рабочих на основе широкого внедрения в производство современных достижений научно-технического прогресса.

Неснижаемые потребности страны в минеральном сырье сопровождаются вовлечением в эксплуатацию месторождений со сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями, характеризующимися большой глубиной горных работ, наличием газоносных пластов, а также мощных слабоустойчивых пород с высокой водообильностью, нередко с напорными, термальными и минерализованными подземными водами. К таким месторождениям полезных ископаемых относятся многие угольные месторождения Донбасса, Восточной и Западной Сибири, калийные месторождения Соликамска и Солигорска, железорудные месторождения КМА и Запорожья и многие другие.

Успешное освоение таких месторождений прямо связано с качественным и быстрым сооружением горных выработок в этих сложных условиях, что является одной из самых трудоёмких и ответственных работ при строительстве новых и реконструкции действующих горных предприятий. Вышеизложенные задачи решаются путём применения одного или нескольких специальных способов строительства горных выработок, которые являются *предметом изучения настоящего курса*.

Правильное и успешное применение того или иного специального способа строительства горной выработки повышает эффективность капитальных вложений, сокращает сроки сооружения всего объекта, улучшает качество и снижает стоимость

строительства, что положительно сказывается на общем развитии горнодобывающей отрасли промышленности.

Сложные горно-геологические условия являются в большинстве случаев типичными и при сооружении подземных объектов в транспортном, гидротехническом и городском строительстве (около четверти всего объёма приходится на неблагоприятные условия).

Степень сложности условий при сооружении выработок в основном определяется двумя факторами: 1) устойчивостью горных пород при обнажении; 2) водообильностью горных пород.

Наиболее сложные условия наблюдаются при строительстве горных выработок в рыхлых, слабоустойчивых водоносных породах типа плывунов и мягких пластичных глинах, в которых невозможно осуществить обнажение массива даже на незначительной площади (породы оплывают в рабочее пространство выработки).

Водопритоки при строительстве и эксплуатации горных выработок в значительной степени **отрицательно влияют** на сроки и стоимость выполнения работ в силу следующих причин:

- 1) затраты времени и средств на отвод (откачку) подземных вод из забоя выработки;
- 2) создание неблагоприятных санитарно-гигиенических условий, способствующих возникновению среди работающих простудных заболеваний;
- 3) трудности при эксплуатации обводнённых горных выработок.

Например: Эксплуатация обводнённых стволов затруднена из-за обмерзания в зимнее время и сильного увлажнения подаваемого в шахту воздуха; необходимы значительные затраты на откачку воды, поступающей в шахту во всё время её эксплуатации, а также дополнительные средства на обработку полезного ископаемого в связи с его увлажнением при подъёме по обводённому стволу и т.п.

Сооружение вертикальных стволов, как правило, всегда сопровождается водопритоками вследствие пересечения обводнённых горных пород (редкие стволы проходятся без притока воды). При притоках воды в забой ствола порядка 80...100 м³/час средняя скорость проходки не превышает 7...8 м/мес., а стоимость сооружения ствола возрастает в 4...5 раз. Даже при сравнительно небольших притоках воды около 20 м³/час стоимость сооружения 1м ствола возрастает на 30%, существенно сокращается производительность труда проходчиков. В ряде случаев в устойчивых скальных породах, но сильно трещиноватых или пористых с большой водообильностью приток воды в выработку может достигать 1,5...2 тыс. м³/час. В таких условиях зачастую становится невозможным использование обычных средств водоотлива. Таким образом, успешное решение проблемы подавления водопритоков при сооружении подземных горных выработок имеет весьма актуальное значение и является одним из путей повышения эффективности шахтного строительства.

Подытоживая всё вышесказанное, можно сформулировать ГЛАВНУЮ ЗАДАЧУ специальных способов строительства следующим образом:

Специальные способы сооружения подземных горных выработок направлены на решение инженерных вопросов, обеспечивающих:

- 1) **повышение устойчивости слабых, рыхлых пород;** и (или)
- 2) **непроницаемости скальных трещиноватых, но сильно водоносных или газоносных пород.**

СНиП-3-03.02.-84 регламентирует область применения специальных способов строительства следующим образом: "Вертикальные стволы и сопряжения стволов с основными горизонтами в слабых, рыхлых, неустойчивых породах и скальных трещиноватых, но сильно водоносных и газоносных породах с притоками воды более $8\text{ м}^3/\text{час}$ должны сооружаться с применением специальных способов строительства".

Тот же СНиП устанавливает, что остаточный водопиток в сооруженный с применением специальных способов строительства вертикальный ствол не должен превышать $5\text{ м}^3/\text{час}$ при глубине ствола до 800 м, а при большей глубине ствола на каждые последующие 100 м глубины допускается увеличение притока на $0,5\text{ м}^3/\text{час}$.

Изучаемая дисциплина является третьей частью курса "Технология шахтного и подземного строительства", и предусматривает ознакомление с теорией, техникой и технологией производства специальных работ, а также с некоторыми особенностями горнопроходческих работ при сооружении горных выработок, которые возникают в связи с применением того или иного специального способа. Следует отметить, что все специальные способы будут рассмотрены на примере строительства вертикальных горных выработок, как наиболее сложных со всех точек зрения работ. Наряду с этим, не будут обойдены вниманием и специфические особенности способов, имеющие место при сооружении горизонтальных и наклонных горных выработок.

2. Краткие сведения из инженерной геологии и гидрогеологии, необходимые при изучении курса.

В инженерной геологии горные породы по своей структуре подразделяются на:

- 1) скальные;
- 2) связные (глинистые);
- 3) несвязные (сыпучие);
- 4) пльвунуны (несвязные породы, обильно насыщенные водой).

В практике проходки вертикальных стволов все пересекаемые горные породы условно делят на две категории: 1) наносы и 2) коренные породы.

НАНОСАМИ называют толщу неустойчивых осадочных пород, покрывающих коренные (обычно крепкие) горные породы. Наносы залегают несогласно с коренными породами и наиболее часто - горизонтально. Наносы в одних случаях совсем не содержат воды, в других - они обильно насыщены водой. Мощность наносов - 3...40 м (иногда до 150...200 м). Наносы обычно представлены глинами, суглинками, песками и гравийно-галечниковыми отложениями (речниками). Последние обычно залегают непосредственно на коренных породах и почти всегда содержат большое количество воды. Наносы из-за своей обводнённости вызывают большие трудности при проходке шахтных стволов.

ПЛЬВУН - это тонкозернистая несвязная порода, обильно насыщенная водой. По своей структуре представляет собой двухфазную систему.

Обычно пльвун представлен обводнённым очень мелким песком или илом.



Каждая взвешенная частица породы покрыта оболочкой плёночной (связанной) воды. Кроме того, плотность жидкой фазы пльвуна в 1,5 раза выше, чем плотность чистой воды. Вследствие этого взвешивающее воздействие жидкой фазы больше, чем взвешивающее воздействие воды. Эти два фактора уменьшают силы трения между частицами породы, а устойчивость всей двухфазной системы пльвуна значительно ниже по сравнению с системой, представленной твёрдыми частицами и чистой водой. А при появлении напора (выемке породы) двухфазная система теряет устойчивость и приходит в движение.

Необходимо отметить, что из всех неустойчивых пород наибольшие трудности при проведении горных выработок представляет именно пльвун. Он способен проникать через малейшие щели и зазоры в крепи и заполнять пройденную часть выработки. Замечено, что чем больше содержат пльвуны воды, тем меньше будет их устойчивость. При этом неустойчивость пльвучих пород является более серьёзным препятствием для проведения и крепления горных выработок, чем борьба с водой, содержащейся в них. В пльвунах притоки воды обычно не превышают $3\text{ м}^3/\text{час}$. Отличительное свойство пльвуна от других неустойчивых водоносных пород - плохая отдача воды. Вода, заключённая в пльвуне, действует как смазка, преобразующая породу в движущийся материал, свойства которого приближаются к свойствам жидкости.

Откачивать воду из пльвуна не следует, так как при этом обязательно будут выноситься на поверхность частицы горной породы. Это повлечёт за собой образование пустот за крепью выработки с последующим обрушением их сводов, что может привести к деформациям и разрушению крепи, аварии в выработке. Кроме того, обрушения горных пород являются иногда причиной осадок земной поверхности, образования на ней провальных воронок (это необходимо учитывать при расположении оборудования и сооружений вокруг ствола).

Кроме пльвуна в практике проведения горных выработок по наносным породам встречаются и другие сложные горно-геологические условия, такие как:

1) СЫПУН - это тонкозернистый материал (песок), совершенно лишённый воды и способный просыпаться через тончайшие отверстия. Представляет трудности вследствие своей неустойчивости.

2) ВКЛЮЧЕНИЯ крепких пород (валунов) в пльвунах или других мягких породах.

3) ПУСТОТЫ карстовые и другие.

Остановимся подробнее на рассмотрении подземных вод.

Как и любая вода, подземная может находиться в одном из трёх агрегатных состояний: ЖИДКОМ, ТВЁРДОМ и ГАЗООБРАЗНОМ. В зависимости от характера связи

воды с окружающими породами и от агрегатного состояния все подземные воды делятся на три класса:



Гравитационная вода подчиняется законам гравитации.

Сложные гидро- и горно-геологические условия создают свободная и плёночная вода.

Свободная вода характеризуется притоком, скоростью, напором, химическим составом, кислотностью, агрессивностью, температурой и прочими характеристиками.

Плёночная вода не подчиняется законам гравитации, а подчиняется физико-химическим законам. Удерживается на поверхности породных частиц силами молекулярного притяжения. Имеет отличные от обычной воды свойства: например, температура замерзания -78 градусов С.

В зависимости от ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ все горные породы разделяются на две большие группы: 1) водоупоры (водонепроницаемые) и 2) водоносные.

К ВОДОУПОРАМ относятся глины, твёрдые суглинки, плотные мергели, мел, а также плотные нетрещиноватые породы изверженного, метаморфического и осадочного происхождения. К водоупорам можно отнести и такое искусственное образование как замороженные породы.

К ВОДОНОСНЫМ породам относятся изверженные (гранит, диабаз, доломит, диорит, порфир и др.), метаморфические (кварцит, гипс, сланец и др.), осадочные (известняк, песчаник, трещиноватые мергель, мел) и несвязанные породы.

ВОДОНОСНОСТЬ крепких горных пород характеризуется их пористостью и трещиноватостью. Часто встречающиеся водоносные породы, расположенные в порядке убывания степени их водоносности: *галечник, песок, песчаник, известняк, гранит, базальт*.

3. Классификация специальных способов строительства горных выработок в сложных горно-геологических условиях.

При любом специальном способе строительства горных выработок предполагается выполнение дополнительных специальных мероприятий, которые осуществляются заблаговременно, до начала горнопроходческих работ. В зависимости от характера воздействия на водоносные неустойчивые породы, времени действия мероприятий, а также типа оборудования, применяемого для выполнения работ, все специальные способы могут быть разделены на три большие группы:

1. ПАССИВНЫЕ характеризуются тем, что они не влияют на физико-химическое состояние породного массива. Общая сущность этих способов заключается в том, что до начала горнопроходческих работ по неустойчивым водоносным породам будущая горная выработка отделяется (ограждается) временной или постоянной крепью от окружающего массива, а под защитой этого ограждения выполняется выемка породы, т.е. крепление предшествует выемке породы. Иногда пассивные способы называют применением ограждающих крепей. Сюда относятся:

- 1) шпунтовое ограждение (деревянное и металлическое);
- 2) "стена в грунте" (ж/б ограждение);
- 3) опускная крепь.

2. АКТИВНЫЕ характеризуются тем, что они временно или постоянно воздействуют на физико-химическое состояние породного массива. Общая сущность этих способов заключается в том, что до начала горнопроходческих работ по слабым, рыхлым либо скальным, но сильно водоносным породам в породном массиве сооружается изоляционная завеса, под защитой которой ведутся выемка породы и возведение постоянной крепи. Сюда относятся:

- 1) кессонный способ (под сжатым воздухом);
 - 2) способ водопонижения;
 - 3) замораживание горных пород;
 - 4) тампонирование горных пород – постоянное воздействие.
- } временное
} воздействие
} на массив

3. БУРЕНИЕ стволов и скважин большого диаметра. Сущность способа - все работы по выемке породы и креплению стен выработки ведутся с поверхности земли.

Необходимо отметить, что стоимость применения специальных способов строительства в 2...3 раза выше, а скорость сооружения выработок в 2..3 раза ниже, чем при обычном способе проходки. Например, нормативная скорость проходки вертикальных стволов в обычных условиях - 55м/мес., а по замороженным породам - 25 м/мес.

Высокая стоимость специальных способов объясняется большими затратами труда, электроэнергии, применением дорогостоящих оборудования и материалов, привлечением более квалифицированных кадров и другими факторами (самый дорогой способ - искусственное замораживание водоносных горных пород).

Следует учитывать, что горнопроходческие работы в сложных условиях могут осуществляться с применением различных специальных способов строительства, которые существенно различаются по стоимости, трудоёмкости, продолжительности, производительности, технологии и организации работ.

Выбор специального способа сооружения горной выработки зависит, в первую очередь, от характеристики пересекаемых пород, гидрогеологических условий, а также должен обосновываться техническими возможностями и технико-экономическим обоснованием.

Сравнительные усреднённые стоимости проходки 1 м вертикального ствола для разных способов (в ценах 2002 г.):

- в обычных условиях - 5...10 тыс. \$;
- с применением тампонирования - 10...15 тыс. \$;
- с применением замораживания - 30...50 тыс. \$ и больше.

В настоящее время самое широкое распространение получили следующие специальные способы:

- 1) замораживание как наиболее универсальный;
 - 2) тампонирование как наиболее эффективный в трещиноватых породах;
 - 3) бурение с поверхности как наиболее механизированный и безопасный.
4. История развития технологии и техники специальных способов строительства в нашей стране и за рубежом.

Техника проходки стволов шахт в НЕУСТОЙЧИВЫХ водоносных горных породах развивалась в ЧЕТЫРЁХ основных НАПРАВЛЕНИЯХ.

ПЕРВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ состояло в том, что до начала горнопроходческих работ в водоносных слабых горных породах ствол шахты отделялся от окружающих его пород временным или постоянным ограждением. Другими словами, выемке горных пород предшествовало крепление ствола шахты. Старейшим из таких способов (сотни лет применения) является способ *деревянной забивной крепи*, а с 1901 года - *металлической забивной крепи*, или иными словами - ограждение ствола шахты *металлическими шпунтами*.

Вторым способом первого направления (предварительного ограждения) является *опускная крепь*. Этот способ впоследствии был усовершенствован французским учёным и инженером Кулоном в 1777 году, когда впервые в практике сооружения выработок был применён сжатый воздух. С его помощью вода из пор или трещин пород отжималась в стороны от ствола шахты, благодаря чему водоносные породы в его зоне осушались. Отжимание воды из пород производилось одновременно с их выемкой из ствола и опусканием крепи. Способ опускной крепи с применением сжатого воздуха для отжима воды получил название *кессонного*. Слово "кессон" в переводе обозначает "ящик". Такое название возникло потому, что первоначально Кулон применил данный способ для деревянной опускной крепи прямоугольной формы. В последующие годы получил распространение способ применения сжатого воздуха без одновременного опускания крепи, когда по мере выемки породы стенки ствола шахты закрепляли железобетонными или чугунными тубингами.

ВТОРОЕ НАПРАВЛЕНИЕ - создание в породном массиве изоляционной завесы путём *замораживания или тампонирования*.

Свыше 100 лет назад в Сибири для проходки стволов шахт в неустойчивых водоносных горных породах применили естественный холод. А в 1883 году шведский инженер Ф.Пётч успешно соорудил ствол шахты "Арчибальд" способом искусственного замораживания горных пород. Сущность способа: скважины вокруг будущего ствола, хладоноситель, водонепроницаемое лёдогрунтовое ограждение, проходка под его защитой ствола с герметичной крепью, оттаивание.

В 1920-1922годах немецким инженером Г.Иостеном был предложен и впервые применён в горнопроходческой практике способ *химического закрепления или силикатизация* водоносных пород. Сущность способа: нагнетание в породы через скважины химических реагентов (растворов жидкого стекла и хлористого кальция), которые там образуют гель кремниевой кислоты, тем самым придавая породе прочность и водонепроницаемость.

ТРЕТЬЕ НАПРАВЛЕНИЕ. В 1894 г. немецкий инженер И.Хонигман применил способ *бурения стволов* шахт полным диаметром на большую глубину. В 1940г. в СССР был разработан и применён роторный способ бурения стволов в неустойчивых водоносных горных породах.

ЧЕТВЁРТОЕ НАПРАВЛЕНИЕ. В 1924г. впервые был применён способ *искусственного понижения уровня подземных вод*. Сущность способа: ряд скважин вокруг ствола с фильтрами; из них постоянно откачивается вода, уровень грунтовых вод понижается, породы осушаются, выработка проходится по временно осушенным породам.

Техника проходки стволов шахт в **КРЕПКИХ** водоносных горных породах развивалась в **ИНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ**.

В 1849 г. применили ударный способ бурения. Стволы шахт диаметром до 4 м бурили без откачки воды до горизонта, расположенного несколько ниже водоносных горных пород, крепили металлическими кольцами на болтовых соединениях, которые опускали на буровых трубах.

1934 г. - США - впервые бурение скважин большого диаметра в крепких породах с применением вращательного дробового способа.

1938 г. - СССР - вращательный роторный способ бурения.

С 1882 г. в специальных способах получило распространение новое направление - ограждение зоны проходимого ствола шахты от подземной воды путём *тампонажа трещин* (в трещины водоносных горных пород через скважины нагнетают под давлением материал, который вытесняет воду, затвердевает и в дальнейшем препятствует проникновению воды в ствол).

Развивались следующие виды тампонажа: цементация, глинизация, битумизация (с 1947 г.), смолизация.

Тема 2. СТРОИТЕЛЬСТВО ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПОМОЩИ ШПУНТОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ.

2 ЧАСА

ПЛАН

1. Сущность способа и область применения.
2. Конструкции шпунтовых ограждений.
3. Оборудование для погружения шпунтов.
4. Технология производства работ при сооружении вертикальных горных выработок с помощью шпунтовых ограждений.

Л.1, с.5-13,
Л.5, с.12-19.

1. Сущность способа и область применения.

Строительство горных выработок с применением ШПУНТОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ (ЗАБИВНОЙ КРЕПИ) заключается в том, что до начала горнопроходческих работ по контуру горной выработки вчерне на всю мощность неустойчивых пород сооружается временное шпунтовое ограждение, состоящее из отдельных элементов - шпунтов, забиваемых вплотную друг к другу. Под защитой этого ограждения производится выемка породы и возведение постоянной крепи выработки. Шпунтовое ограждение при этом выполняет роль временной крепи, предотвращая оплывание стенок выработки.

Причём, как правило, вначале производится выемка пород на всю глубину обводнённых пород с заглублением на 1...1,5 м в подстилающий слой, а затем в направлении снизу вверх возводится постоянная крепь.

Материалом постоянной крепи ствола могут быть: монолитный бетон, монолитный железобетон, чугунные тубинги, специальные крепи, комбинированные крепи. Шпунтовое ограждение, как правило, не извлекается, а остаётся за постоянной крепью.

При залегании неустойчивых пород близко к поверхности (до 2 м) шпунтовое ограждение собирают и погружают с земной поверхности. В случае более глубокого залегания неустойчивых пород (10...20 м) горную выработку до водоносных пород сооружают обычным способом с увеличенным поперечным сечением, а затем на забое выработки собирают шпунтовое ограждение и погружают его на заданную глубину.

ТРЕБОВАНИЯ к шпунтовому ограждению:

- 1) быть водонепроницаемым (противостоять гидростатическому напору подземных вод);
- 2) быть достаточно прочным (противостоять горному давлению);
- 3) не деформироваться при погружении;
- 4) быть заглублённым в водоупор на 1...1,5 м;
- 5) выступать выше водоносного горизонта на 1...2 м.

Целесообразная ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ шпунтовых ограждений:

	металл.	дерев.
- мощность неустойчивых водоносных пород	5...12 м	3...4 м
- глубина залегания их от поверхности земли	до 30 м	до 20 м
- наличие ниже устойчивых пород водоупора мощностью не менее	3 м	1 м
- отсутствие в геологическом разрезе валунов и твердых включений размером в поперечнике более	60 мм	отсутствие
- гидростатический напор воды в породах	не более 12 м	не более 4 м

Шпунтовые ограждения ПРИМЕНЯЮТ при проходке устьев вертикальных стволов в неустойчивых породах, а также в городском и промышленном строительстве при возведении различного рода объектов в неустойчивых породах, вблизи зданий и сооружений. Это могут быть транспортные тоннели, насосные станции, камеры для подземных коммуникаций и др.

Применение способа шпунтового ограждения не рекомендуется при проходке стволов в грунтах, плохо отдающих воду. Проходка пльвунов тем труднее, чем больше их мощность и чем больше размеры ствола.

Ограждение стволов металлическими шпунтами применялось в Донецком бассейне (4 устья стволов в пльвунах мощностью до 12 м: вибропогружатели, гидрородмыв). Всего в СССР с применением металлических шпунтов было сооружено 10 устьев стволов общей глубиной 70 м.

Можно рекомендовать при небольших мощностях водоносных неустойчивых пород и их неглубоком залегании.

СКОРОСТИ сооружения стволов с применением шпунтового ограждения невелики и в среднем составляют:

- для деревянного ограждения - до 3 м/мес.;
- для металлического ограждения - до 6 м/мес.

СТОИМОСТЬ сооружения 1 м ствола этим способом колеблется от 3500 до 6500 рублей в ценах до 1985 года.

2. Конструкции шпунтовых ограждений.

Шпунтовые ограждения выполняют из деревянных или металлических шпунтов.

Деревянные шпунты представляют собой брусья шириной 100...200мм, толщиной 50...100 мм и длиной 2...6 м. Изготавливаются из любых сортов дерева за исключением ели, склонной к раскалыванию от ударов. Для уменьшения возможного раскалывания верхнюю часть шпунтов обивают листовой сталью (делается "оголовок"), а для лучшего проникновения в грунт нижняя часть шпунта выполняется кося и также обивается листовой сталью (делается "башмак") (рис.2.1).

В зависимости от длины размеры шпунтов бывают разные. Так например: при длине шпунта до 4 м его сечение 0,05*0,1*4 м, а при длине шпунта свыше 4 м его сечение 0,1*0,2*6 м.

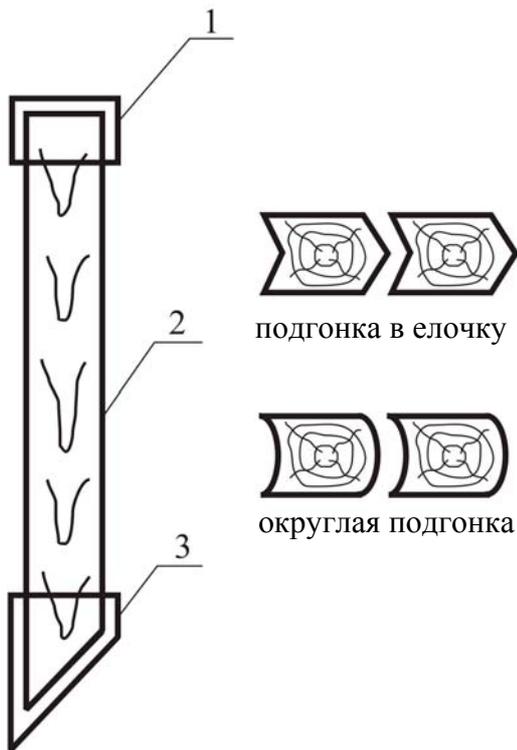


Рис.2.1. Конструкция деревянного шпунта.

- 1 - брус;
- 2 - оголовок;
- 3 - башмак.

быть пльвуноводонепроницаемыми, но позволять вращение для создания ограждения нужной формы).

В качестве **металлических шпунтов** может применяться обычная прокатная сталь двутаврового, швеллерного и уголкового профилей номеров 45, 55, 60, или же сталь специального профиля (рис.2.2). Наибольшее распространение получили конструкции металлических шпунтов специального проката, показанные на рисунке 2.2.

Для изготовления металлических шпунтов используется специальная бессемеровская сталь. Длина шпунтов колеблется в пределах 12...22 м (основная - 12 м, сваривать по длине шпунты нельзя), масса 1 м - 50...100 кг, толщина стенки - 10...12мм, в замках шпунты один относительно другого могут проворачиваться на угол 10...22°.

Тип металлических шпунтов выбирают с учётом:

- момента сопротивления W (определяет прочность);
- момента инерции I (определяет жёсткость);
- массы 1 м шпунта (чем меньше, тем экономичнее);
- толщины шпунта (определяет размеры выработки вчерне);
- плотности и герметичности замков (должны

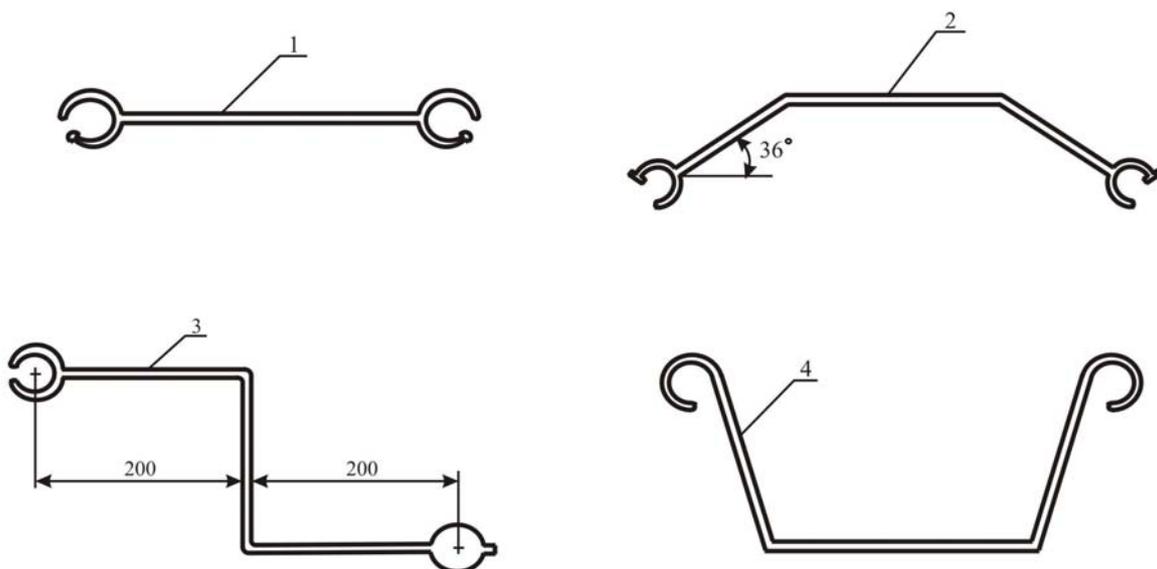


Рис.2.2. Специальные профили металлических шпунтов.

- 1 - плоские ШП-1 (наибольшее распространение);
- 2 - корытные ШК-1 (больше сопротивление изгибу);
- 3 - Z-образные ШД-3;
- 4 - шпунты типа "Ларсен".

Показателем экономичности шпунта является отношение момента сопротивления к массе 1 м, т.е. $K = W/g$. Наиболее экономичными являются зетобразные и типа "Ларсен".

НИИОМШСом разработаны трубчатые шпунты (трубы - в замках), которые позволяют облегчить внедрение путём подачи по трубам напорной воды и подмыва грунта.

Металлические шпунтовые ограждения получили большее распространение, чем деревянные, из-за следующих своих преимуществ:

- более высокая механическая прочность, обеспечивающая лучшее сопротивление боковому давлению;
- возможность использования мощных технических средств забивки;
- возможность пересечения водоносных слабых грунтов большей мощности и на большей глубине;
- надёжность замковых соединений, повышающих водонепроницаемость ограждения.

НЕДОСТАТОК металлических шпунтов - возможность изгиба при забивке.

3. Оборудование для погружения шпунтов.

Для погружения шпунтов в породный массив применяют КОПРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ и различные СРЕДСТВА ЗАБИВКИ.

КОПРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ предназначено для подъёма и удержания шпунта в вертикальном положении, а также для подъёма и перемещения средств забивки. Вместо копров могут быть применены стреловые (автомобильные) краны или краны-экскаваторы, оснащённые специальным сменным оборудованием, а также тельферы.

СРЕДСТВА ЗАБИВКИ ШПУНТОВ разнообразны по конструкции и принципу работы. Их можно разделить на следующие основные типы:

- 1) механические молоты, приводимые в действие с помощью подъёмной лебёдки и каната;
- 2) паровоздушные молоты, приводимые в действие сжатым воздухом или паром, которые непосредственно воздействуют на ударную часть молота;
- 3) дизель-молоты, работа которых основана на передаче энергии сгорающих газов непосредственно рабочему органу - ударной части молота;
- 4) вибропогружатели, принцип работы которых основан на использовании эффекта вибрации (передачи колебательных движений рабочего органа на шпунт). В результате вибрации ослабляются силы трения и сцепления между смежными частицами несвязанных водоносных пород, и шпунт погружается;
- 5) вибромолоты, принцип работы которых основан на совместном использовании эффекта вибрации в сочетании с периодическими ударами по шпунту.

Наибольшее распространение получили ВИБРОПОГРУЖАТЕЛИ. Их разделяют на *высокочастотные* (частота колебаний вибратора 700...1500 в минуту) - используют для погружения шпунтов с относительно малыми лобовым сопротивлением и массой; и *низкочастотные* (300...500 колебаний в минуту) - для погружения ж/б свай и шпунтов с большими массой и лобовым сопротивлением.

Наиболее широко для погружения стальных шпунтов используются вибропогружатели ВПП-2 и В-401. Последний имеет мощность электродвигателя 55 кВт и предназначен для погружения и извлечения шпунтов массой до 1,5 т в песчаных водоносных грунтах.

Перспективным средством забивки шпунтов являются ВИБРОМОЛОТЫ, основные достоинства которых - простота конструкции, более высокая погружающая способность, малые энергоёмкость и металлоёмкость. Для погружения шпунтов могут быть использованы вибромолоты С-467М, ВМ-7У, С-836.

4. Технология производства работ при сооружении вертикальных горных выработок с помощью шпунтовых ограждений.

ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДЕРЕВЯННЫХ ШПУНТОВ работы осуществляют в следующей последовательности. Не доходя до водоносного горизонта 0,5...0,7 м в забое выработки укладывают 2 направляющих кольца. Между наружным кольцом и стенами выработки устанавливают направляющие брусья. В промежутке между двумя кольцами монтируют посад деревянных шпунтов.

Забивают шпунты отдельными заходками на глубину 0,7...1,0 м, после чего приступают к выемке породы, по мере которой внутри ограждения устанавливают раскрепляющие кольца из швеллерного профиля. Погружение шпунтов и выемка породы чередуются до тех пор, пока шпунты не внедрятся в плотные породы на 0,7...1,0 м. После этого в водоупорных породах сооружается опорный венец из монолитного бетона или железобетона, устанавливается инвентарная опалубка и в направлении снизу вверх возводится постоянная крепь. Далее ствол проходится обычным способом.

ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ШПУНТОВ порядок производства работ следующий (рис.2.3).

1. *Вначале проходят устье ствола на глубину на 0,5...0,7 м меньше глубины залегания водоносного горизонта. Диаметр устья в свету при этом больше проектного и определяется по формуле:*

$$D_{св}' = D_{ш} + 2e + 2c, \text{ м}, \quad (2.1)$$

$$D_{ш} = D_{св} + 2d + 2a + 2b/2, \text{ м}, \quad (2.2)$$

где

e - размер выступающей части средства забивки (600...700 мм);

c - зазор между средством забивки и стенкой устья ствола (700 мм);

D_{св} - проектный диаметр ствола в свету, м;

d - толщина крепи ствола, м;

a - возможное отклонение шпунтов от вертикального положения внутрь сечения выработки (допускается до 1 процента от глубины погружения);

b - толщина шпунта в замке.

По всей высоте стенок устья укрепляют деревянные направляющие брусья на расстоянии 0,7...1,0 м один от другого.

Затем эталонные шпунты по одному заменяются на основные. Собранные шпунтовое ограждение по всей высоте через каждые 1,5...3 м для жёсткости фиксируется парами колец, аналогичными направляющим.

Перед установкой шпунты должны быть проверены на прямолинейность и отсутствие дефектов в замках путём протаскивания через них отрезка шпунта длиной 1,5...2 м, замки следует тщательно очистить и смазать тавотом, сами шпунты обмазать смоляным или битумным составом.

3. Погружение шпунтов.

Шпунты при забивке в грунт испытывают следующие сопротивления:

- трение в замках между соседними шпунтами;
- трение боковой поверхности шпунта о грунт;
- сопротивление грунта проникновению шпунта.

Для уменьшения трения между шпунтами в замки заливают горячий асфальт, а для уменьшения трения шпунтов о грунт применяют их подмыв (до глубины погружения 7...8 м подмыв, как правило, не требуется). Подмыв может осуществляться с помощью нагнетания воды по металлическим трубкам диаметром 1", приваренным с внешней или внутренней стороны вдоль шпунта, или по замкам трубчатых шпунтов.

Погружение шпунтов на проектную глубину может осуществляться двумя способами:

Способ А (замкнутый контур). Забивка шпунтов производится поочередно на небольшую глубину (до 1 м) вначале в одном, а затем в обратном направлениях.

При этом способе в замках шпунтов возникают большие напряжения, из-за больших сил трения шпунты могут сильно деформироваться, иногда происходит разрыв замков.

Этот способ применяют, в основном, в шахтном строительстве, где имеют место повышенные требования к герметичности и вертикальности шпунтового ограждения.

Способ Б (разомкнутый контур). Забивка каждого шпунта осуществляется последовательно сразу на полную проектную глубину.

Погружение шпунтов этим способом происходит значительно легче, чем первым. Однако забивка одиночных шпунтов нередко приводит к отклонению их от заданного направления и не даёт возможности замкнуть контур ограждения одним и тем же типом шпунта. Применяется в гидротехническом и промышленном строительстве.

В последние годы в практике подземного строительства всё чаще применяют погружение шпунтов пакетами (2...3 шпунта, объединённых общим наголовником). Это позволяет значительно ускорить работы по устройству шпунтового ограждения.

Скорость погружения шпунтов с глубиной снижается (значительно - при замкнутом контуре, и незначительно - при разомкнутом). Средняя техническая скорость погружения шпунтов при помощи вибропогружателей при этом меняется от 50 до 35 м/сут. (замкнутый контур) и от 140 до 100 м/сут. (разомкнутый).

4. Выемка породы.

К выемке породы в пределах шпунтового ограждения приступают после забивки всех шпунтов на 1,0...1,5 м в плотный грунт, залегающий под водоносными пластами. При несоблюдении этого условия возможны прорывы водоносных пород из-под основания шпунтового ограждения. Грунт в пределах ограждения вынимают участками высотой 1,5...6,0 м.

В зависимости от размеров сооружаемого объекта породу вынимают и грузят или в автосамосвалы экскаваторами (тоннели, насосные станции, станции метрополитена и т.п.), или грейферами в бадьи (устья стволов, камеры небольшого поперечного сечения). При плотных грунтах их разрабатывают отбойными молотками.

По мере выемки породы для восприятия горного и гидростатического давления шпунтовое ограждение обязательно раскрепляют путём установки:

- расстрелов (в котлованах, траншеях);
- распорных колец через каждые 1...1,5 м из швеллера 20...24 (при проходке стволов).

Для обеспечения большей устойчивости шпунтового ограждения кольца тщательно расклинивают в каждый шпунт или приваривают в 8...10 точках по контуру.

5. Возведение постоянной крепи.

После выемки неустойчивых пород под защитой шпунтового ограждения забой ствола углубляют в водоупор, в котором устраивают опорный венец и в направлении снизу вверх при помощи инвентарной опалубки возводят постоянную крепь, обычно из монолитного бетона или железобетона. При этом распорные кольца и шпунты не извлекаются, остаются за постоянной крепью. Выработка (или её участок) сооружена.

Тема 3. СТРОИТЕЛЬСТВО ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК СПОСОБОМ "СТЕНА В ГРУНТЕ".

2 ЧАСА

ПЛАН.

1. Сущность способа и область применения.
2. Конструкции железобетонных ограждений.
3. Применяемое оборудование и материалы.
4. Технология производства работ при строительстве подземных сооружений способом "стена в грунте".

Л.1, с.27-45,
Л.5, с.20-27.

1. Сущность способа и область применения.

Строительство подземных сооружений способом "стена в грунте" осуществляется с помощью устройства стены из монолитного бетона или железобетона методом подводного бетонирования в заранее отрытой и заполненной глинистым раствором траншее. Под защитой возведённой стены, выполняющей роль не только грузонесущей конструкции, но и противодиффузионной завесы, разрабатывается грунт внутри ограждённого пространства.

Область применения способа ограничена возможностями траншекопательного оборудования, которое в настоящее время позволяет разрабатывать траншеи глубиной до 35...40 м (за рубежом - до 130 м). При глубине траншеи менее 5...8 м применение способа "стена в грунте" обычно не даёт технико-экономических преимуществ и в практике строительства не встречается.

При определении глубины "стены в грунте" следует учитывать необходимость её заглубления в водоупор. Величина заглубления принимается равной:

- в плотных скальных породах - 0,5...1,0 м;
- в мергеле и плотной глине - 0,75...1,5 м;
- в пластических суглинках и глинах - 1,5...2,0 м.

Применение способа "стена в грунте" ограничивается следующими горно-геологическими условиями:

1. В крупнообломочных грунтах с незаполненными пустотами между отдельными камнями невозможно создать глинистый экран на стенках траншеи.
2. Наличие твёрдых включений размером более 1/3 ширины ковша машины.
3. Наличие текучих илов или плывунов.
4. Большие скорости движения подземных вод и большие коэффициенты фильтрации пород. В этом случае имеют место большие утечки глинистого раствора = невозможно образовать глинистый экран на стенках траншеи.
5. Наличие напорных вод с напором, превышающем гидростатическое давление в траншее.

Как показал опыт, применение способа "стена в грунте" *наиболее эффективно* в следующих случаях:

- в сложных гидрогеологических условиях и при наличии высокого уровня грунтовых вод при условии, что водоупор находится на практически достижимой глубине;
- при устройстве подземных сооружений и ограждений котлованов в городских условиях вблизи существующих зданий.

Этим способом могут быть сооружены устья вертикальных стволов, дренажные стволы на гидроэлектростанциях, а также широкий перечень промышленных и гражданских объектов, а именно:

- промышленные подземные помещения различного назначения;
- водозаборные сооружения (насосные станции, очистные сооружения, тоннели мелкого заложения, набережные и др.);
- гражданские подземные помещения нежилого назначения (гаражи, торговые центры, склады, кинотеатры и др.).

Достоинства: - надёжность;
 - малая трудоёмкость;
 - высокое качество работ;
 - возможность работы в стеснённых условиях.

Недостатки: - сезонность работ;
 - необходимость вывозки разжиженного глинистого раствора.

Данный способ можно применять при строительстве выработок в сложных горно-геологических условиях вместо дорогостоящих - искусственного понижения уровня подземных вод, замораживания, химического закрепления грунтов. Внедрение способа "стена в грунте" на ряде объектов вместо опускных крепей позволило получить снижение стоимости в 1,7...2,2 раза, трудозатрат - в 2,8...3,2 раза, сроков строительства - в 1,5...2 раза.

2. Конструкции железобетонных ограждений.

Конструкция стены в грунте зависит от материала и способа её возведения. Может быть использован монолитный и сборный железобетон. Наибольшее распространение как в нашей стране, так и за рубежом получил способ "стена в грунте" из монолитного железобетона толщиной 0,6 м.

Конструктивно стена в грунте может быть возведена одним из следующих способов:

- *из секущихся буронабивных свай или соприкасающихся скважин;*
- *из монолитного железобетона отдельными заходками (траншейная схема);*
- *из сборного железобетона.*

Стену из секущихся буронабивных свай изготавливают в два этапа (рис.3.1). На первом этапе выбуривают скважины нечётных номеров 1, 3, 5 и т. д., которые заполняют монолитным бетоном. Расстояние между скважинами-сваями принимают меньше их диаметра. После затвердевания бетона в скважинах на втором этапе изготавливают сваи чётных номеров таким образом, чтобы бетон соседних свай был подрезан. Сваи, изготовленные на втором этапе, армируются. Для бетонирования используют медленносхватывающийся цемент (шлакопортландцемент или специальные добавки). Диаметр свай от 500 до 1300 мм определяется расчётом.

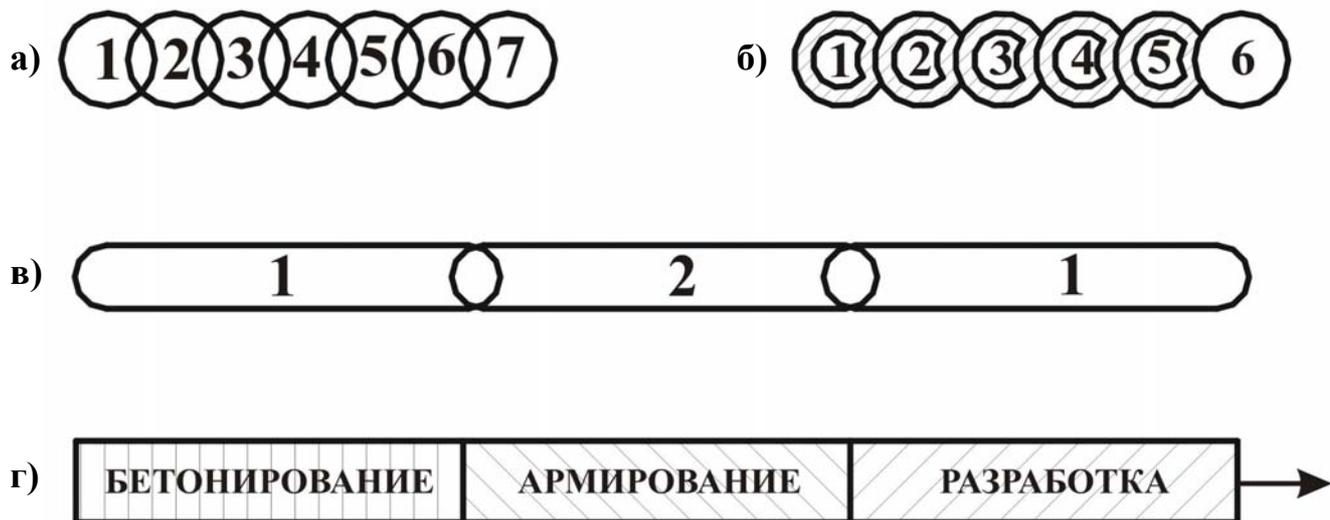


Рис.3.1. Последовательность образования стены в грунте при помощи:
 а) секущихся свай; б) бурения соприкасающихся скважин; в) пересекающихся отрезков стен траншей; г) поточных разработки и возведения стены.

Образование траншеи путём последовательного бурения соприкасающихся скважин возможно с применением лидернонаправляющих труб (рис.3.2). После бурения очередной скважины на проектную глубину её обсаживают такой трубой. Во-

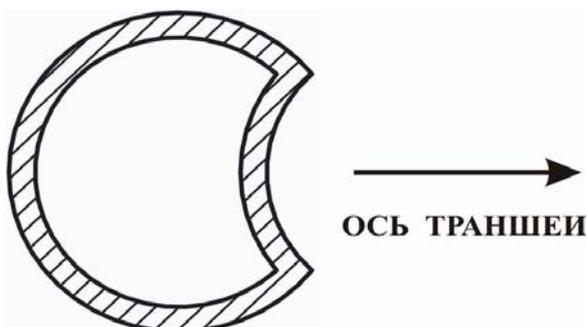


Рис.3.2. Лидернонаправляющая труба.

гнутость трубы должна быть обращена в сторону продолжения выбуривания траншеи по её оси. Бурение последующих скважин производится аналогично. Данный способ образования траншеи, а также при помощи секущихся буронабивных свай технологичны при проходе устьев вертикальных стволов, поскольку именно буровыми методами удобно обеспечить криволинейный контур стены в грунте.

При траншейной схеме возведения стены в грунте работы ведутся отдельными секциями (заходками) длиной 3-6 м в последовательном или шахматном порядке, что зависит от условий производства работ и принятого оборудования (рис.3.1).

Основные конструктивные элементы монолитной стены в грунте - металлический арматурный каркас и стыки. Армокаркас (рис.3.3) должен соответствовать ширине, длине и глубине секций бетонирования.

Ширину арматурного каркаса принимают на 200-250 мм меньше ширины траншеи, его длина зависит от принятой конструкции стыка между заходками, а высота каркаса равна глубине траншеи.

В арматурных каркасах предусмотрены вертикальные проёмы для спуска и подъёма бетонолитных труб, ограждённые вертикальными стержнями гладкой арматуры.

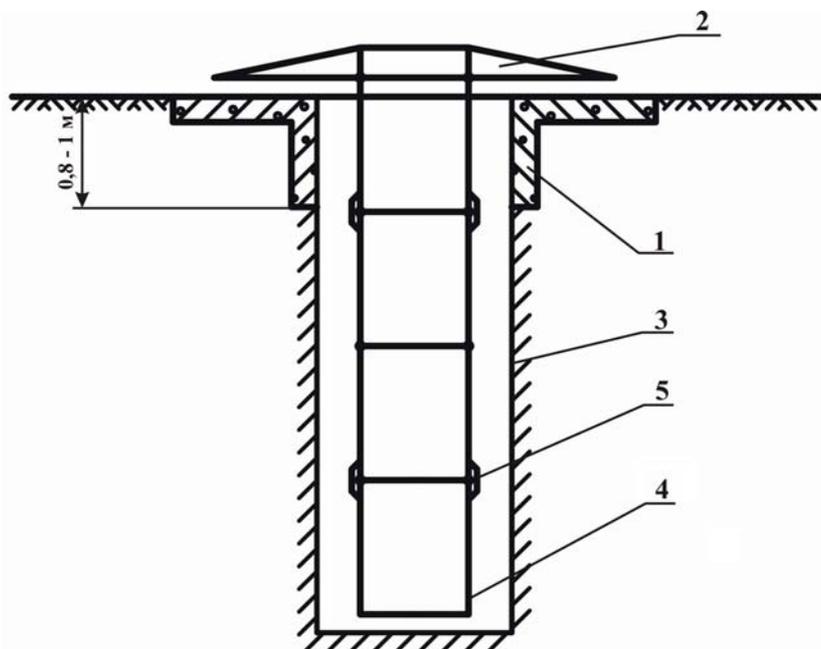


Рис.3.3. Конструкция арматурного каркаса.

1 - формашта; 2 - подвеска; 3 - траншея;
4 - армокаркас; 5 - направляющие

Стыки между секциями бывают *рабочие и нерабочие*. Нерабочие стыки (рис.3.4) выполняют в случае отсутствия в секциях растягивающих усилий путём использования инвентарных или стационарных ограничителей без перепуска через них арматуры.

В качестве инвентарных ограничителей используют стальные трубы диаметром, равным ширине траншеи. Трубы извлекают из траншеи спустя 3-5 часов после бетонирования. При этом торец секции имеет углубление в виде полуцилиндра (рис.3.4).

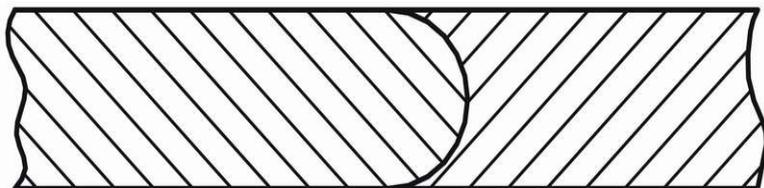


Рис.3.4. Конструкция нерабочего стыка.

В качестве стационарных ограничителей применяют железобетонные сваи, металлические трубы, шпунты или прокат металла из швеллера и двутавра. Их не извлекают

после бетонирования.

Рабочие стыки выполняют с перепуском арматуры из одной секции в другую длиной 30 диаметров через железобетонные плиты или металлические листы, остающиеся в теле стены. Такие стыки должны обеспечивать равнопрочность стыкового соединения с прочностью основной конструкции стены.

"Стену в грунте" из сборного железобетона применяют, если плотная порода залегает на практически достижимой глубине. По конструкции они могут быть выполнены либо из стоек и панелей, либо только лишь из панелей. Эти конструкции не обеспечивают плотного примыкания панелей одна к другой, поэтому водонепроницаемость достигается заполнением стыков раствором. Размеры панелей: длина 10...12 м, ширина 1,5...3 м, толщина 0,2...0,3 м. Высокая индустриальность, но малая глубина.

3. Применяемые оборудование и материалы.

Машины, применяемые для разработки грунта под глинистым раствором, подразделяются на ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЕ и СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ.

ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЕ машины : экскаваторы с прямой и обратной лопатой, драглайны, буровые станки ударного и вращательного действия (типа УКС, БС, УРБ и др.)

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ машины, предназначенные только для отрывки траншей, подразделяются на:

1. Буровые машины.
2. Бурофрезерные (роторные и фрезерные) машины.
3. Ковшовые машины.
4. Грейферные машины.

К буровым машинам относится самоходная буровая установка СО-2 (для бурения скважин под буронабивные сваи диаметром 0,5...0,6 м глубиной до 30м в породах 1-4 категорий с применением глинистого раствора).

Из машин бурофрезерного действия наибольшее распространение получили агрегаты типа СВД (осуществляют последовательное фрезерование вертикальных полос с помощью перьевых или шарошечных долот шириной 0,5..0,6 м и глубиной до 30 м).

Ковшовые машины в отличие от буровых и фрезерных меньше загрязняют разрабатываемой породой глинистый раствор. Сюда относится гидравлический экскаватор фирмы "Поклен" (Франция).

Наибольшее распространение в практике получили *плоские грейферные траншекопатели*. Грейфер подвешен на штанге или на канате (сюда относятся: двухчелюстной грейфер конструкции "Фундаментпроекта", широкозахватный грейфер конструкции НИИСП Госстроя Украины - обеспечивают траншеи шириной 0,6...1 м и глубиной до 30 м). Иногда в помощь грейферным траншекопателям бурят лидерные скважины на ширину его захвата (легче выемка породы и есть направление).

Землеройные машины выбираются по техническим характеристикам с учётом габаритов траншей, формы и размеров подземного сооружения в плане, а также геологических и гидрогеологических условий. Затем выбор оборудования обосновывается технико-экономическими расчётами.

Глинистый раствор и оборудование для его приготовления.

Траншею в процессе разработки землеройным снарядом обязательно заполняют тиксотропным глинистым раствором (суспензией), уровень которого должен быть выше уровня грунтовых вод (обычно от верха траншеи 0,1...0,15 м).

ГЛИНИСТЫЙ РАСТВОР служит для :

- 1) удержания стенок траншей и скважин от обрушения на период их проходки и возведения в них строительных конструкций. Для этого необходимо в каждой точке на стенке траншеи создать гидростатическое давление раствора, превышающее активное давление грунта и грунтовых вод;
- 2) укрепления поверхностного слоя грунта на стенках траншей и скважин путём создания на них водонепроницаемого экрана, состоящего из заглинизированного грунта и глинистой корки;

- 3) использования его в качестве рабочей жидкости, взвешивающей и транспортирующей частицы грунта на поверхность (при методах проходки с применением гидротранспорта разрабатываемого грунта).

Для выполнения этих функций глинистый раствор должен обладать следующими свойствами:

- 1) быть тиксотропным. *Тиксотропность* - это свойство глинистого раствора загустевать (т.е. переходить в гель) с течением времени в спокойном состоянии и при постоянной температуре, удерживая при этом во взвешенном состоянии частицы мелкой породы, а при механическом воздействии (перемешивании, встряхивании) снова переходить в жидкое состояние (золь), свободно перекачиваться насосами и отделять породу от раствора;
- 2) иметь соответствующую плотность по отношению к грунтовой воде для создания повышенного гидростатического давления на стенки траншеи;
- 3) сохранять относительную стабильность основных параметров на весь период его использования;
- 4) допускать возможность нормальной работы механизмов, занятых на проходке траншеи и на её заполнении.

В связи с этим приготовленный глинистый раствор должен иметь следующую характеристику:

- вязкость (характеризует подвижность раствора) - 18...30 с;
- содержание песка (характеризует степень загрязнённости раствора) - до 4%;
- водоотдача (характеризует способность отдавать воду влагоёмким породам) - не более 30 см³ за 30 мин.;
- статическое напряжение сдвига (характеризует прочность структуры и тиксотропность раствора) - 1...5 Па через 10 мин. после его перемешивания;
- плотность раствора - 1,05...1,15 г/см³ для бентонитовых глин и 1,15...1,30 г/см³ для других глин.

Иногда для получения данных параметров растворы обрабатывают химическими реагентами (кальцинированная сода, фтористый натрий и др.).

ГЛИНИСТЫЙ РАСТВОР готовят из бентонитовых или обычных местных комовых глин и полученных из них на заводах глинопорошков. При этом пользуются быстродействующими растворомешалками турбинного типа РМ-500, РМ-750, а в случае комовых глин - фрезерно-струйными мельницами ФСМ-3 и ФСМ-7.

Количество глинистого раствора, которое можно приготовить из 1 т глины, называют **ВЫХОДОМ РАСТВОРА** и определяют по формуле:

$$P = \frac{(\rho_{\Gamma} - \rho_{\text{В}}) \cdot (1 - \omega)}{\rho_{\Gamma} \cdot (\rho_{\text{р}} - \rho_{\text{В}})}, \text{ м}^3 \quad (3.1)$$

где

ρ_{Γ} ; $\rho_{\text{В}}$; $\rho_{\text{р}}$ - плотность соответственно глины, воды, глинистого раствора, т/м³;
 ω - естественная влажность глины ($\omega = 5...6\%$).

В среднем на 1 м³ раствора необходимо 150...170 кг бентонитовой глины. При расчёте количества раствора, необходимого при разработке траншей, нужно учитывать 15...20% (по массе) потерь, связанных с поглощением раствора грунтом.

Глинистый раствор, смешанный с частицами грунта, (пульпу) необходимо очищать, чтобы восстановить его плотность и тиксотропность. Для этого из траншеи эрлифтом глинистый раствор подаётся в установки для очистки, где подвергается грубой очистке через вибросито и тонкой - через гидроциклоны.

4. Технология производства работ при строительстве подземных сооружений способом "стена в грунте".

Технология производства работ способом "стена в грунте" из монолитного бетона или железобетона включает следующие основные этапы:

1. *Подготовительные работы* - это, во-первых, планировка площадки с расчётом, чтобы по обеим сторонам траншеи было достаточно места для оборудования и движения транспорта. Кроме того, это комплектация участка специальным оборудованием, его установка, строительство отстойников и ёмкостей для глинопопашка и готового раствора.
2. *Сооружение форшахты*, стенки которой являются направляющими для будущей траншеи, позволяет заранее задать правильное направление разработке грунта. Кроме того, форшахта выполняет функции, связанные с креплением поверхностного слоя грунта и служит дополнительной ёмкостью для глинистого раствора. Может также служить опорой для ходовой части экскаватора (если он применяется). Крепёж форшахты изготавливается из сборного, монолитного или сборно-монолитного бетона, железобетона. Высота - 0,8...1,0 м, ширина = ширине траншеи, толщина стен - 0,3...0,4 м.
3. *Разработка грунта в траншее* осуществляется отдельными заходками, длина которых принимается 3...6 м в зависимости от формы и размеров подземного сооружения, глубины траншеи, типа землеройной машины, свойств грунта и других факторов. Разработка грунта осуществляется последовательно или в шахматном порядке (см. вопросы 2,3).
4. *Монтаж арматурных каркасов и устройство ограничителей.*

После выемки грунта на всю глубину в пределах одной заходки дно траншеи очищают от осадка эрлифтом или грязевым насосом, глинистый раствор меняют на свежий. Арматурные каркасы монтируются в том случае, если стена является также грузонесущей конструкцией. Монтаж производят автокраном.

Для правильной установки в траншее армокаркас (рис.3.3) снабжается приваренными с боков направляющими салазками из полосовой или гладкой арматурной стали диам. 16...20 мм. В верхней части к каркасу приваривают поперечные стержни, которые опираются на форшахту. Каркас устанавливают в траншею непосредственно перед бетонированием.

Инвентарные или стационарные ограничители (см. вопрос 2), устраиваемые на границах смежных заходок, для жёсткости должны быть заглублены ниже дна траншеи на 0,5...1,0 м. Для этого иногда необходимы дополнительные пригрузки.

5. *Укладка бетонной смеси в траншею* методом ВПТ (вертикально-перемещающейся трубы). В качестве бетона используют вязкопластичный бетон марки 200 (реже 300) с максимальным временем схватывания.

Бетонную смесь в траншею подают по вертикальным трубам на дно траншеи, заполненной глинистым раствором. Бетон, будучи тяжелее раствора, заполняет траншею снизу вверх и вытесняет раствор на поверхность, который самотёком переливается в разрабатываемую траншею или откачивается насосом в очистные устройства. Основным условием применения ВПТ является **НЕПРЕРЫВНОСТЬ БЕТОНИРОВАНИЯ**. Для спуска бетона применяют металлические трубы диаметром 200...300 мм, которые монтируют из отдельных отрезков длиной 1,0...1,5 м, соединённых быстроразъёмными водонепроницаемыми фланцами.

6. *Выемка грунта внутри сооружения.*

Производство работ по выемке грунта во многом зависит от размеров подземного сооружения (как в плане, так и по глубине). Могут использоваться следующие механизмы: бульдозер, экскаватор (обратная лопата и драглайн), грейферный кран.

По мере выемки грунта в зависимости от высоты сооружения принимаются дополнительные меры по повышению устойчивости стен:

- а) при H до 5...6 м достаточно заглубления стены в грунт ниже днища;
- б) при $H = 7...8$ м - (а) + анкерование верха стены;
- в) при $H > 8$ м - (а) + устройство распорных поясов жёсткости или анкерование стены в окружающий грунт через определённые промежутки по высоте.

Тема 4. СТРОИТЕЛЬСТВО ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ СПОСОБОМ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ (*JET GROUTING*).

2 ЧАСА

ПЛАН.

1. Сущность способа и область применения.
2. Виды струйной цементации.
3. Оборудование для осуществления способа.
4. Технология производства работ.

Л.4, с.3-33.

1. Сущность способа и область применения.

Строительство новых или реконструкция существующих зданий и сооружений часто требует улучшения грунта с приданием ему дополнительной несущей способности. Улучшение грунта заключается в оптимизации его механических характеристик, увеличения прочности на сжатие и уменьшение его проницаемости. Здесь на помощь может прийти струйная цементация.

Строительство подземных сооружений способом струйной цементации осуществляется с помощью предварительного устройства грунтоцементного ограждения по контуру будущей выработки посредством размыва и активного смешивания частиц грунта с цементным раствором, подаваемым под большим давлением по скважине, пробуренной с поверхности. После отверждения возведённое грунтоцементное ограждение выполняет роли грузонесущей конструкции и противофильтрационной завесы. Под его защитой разрабатывается грунт внутри ограждённого пространства и возводится постоянная крепь сооружения (рис.4.1).

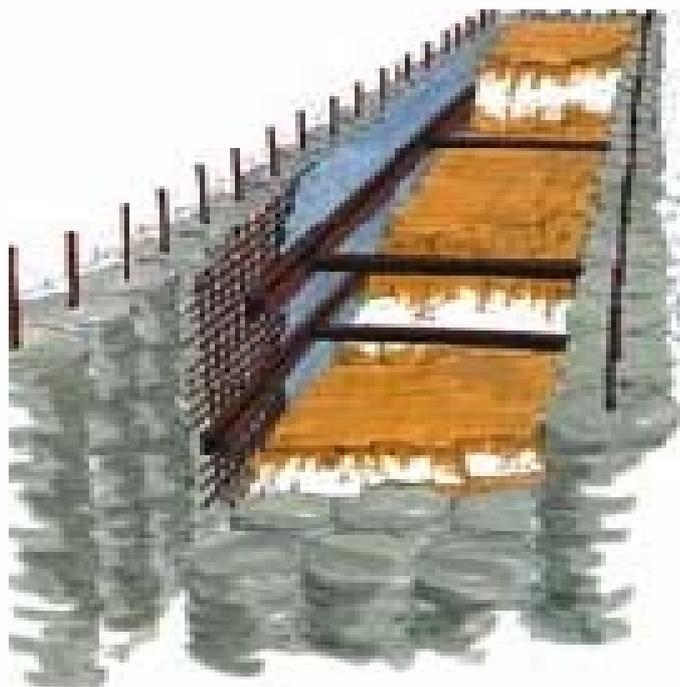


Рис.4.1. Строительство подземного сооружения при помощи струйной цементации.

Технология струйной цементации – одна из наиболее успешных технологий, применяемых для достижения устойчивости неустойчивых грунтов. Этот метод предполагает соединение грунта в его естественном состоянии с инъецируемым компонентом (как правило, это цементный раствор), который вводится под высоким давлением (порядка 300 бар) со скоростью 200-300 м/с.

Суть технологии заключается в использовании энергии высоконапорной струи цементного раствора для разрушения и одновременного перемешивания грунта с цементным раствором в режиме «mix-in-place» (перемешивание на месте). Естественная структура грунта при этом разрушается, в массиве создается смесь грунта и цемента. После твердения этой смеси образуется новый материал в виде однородного объёмного структурного элемента — **грунтоцемента**, обладающего заранее заданными высокими прочностными и деформационными характеристиками (рис.4.2 и 4.3).

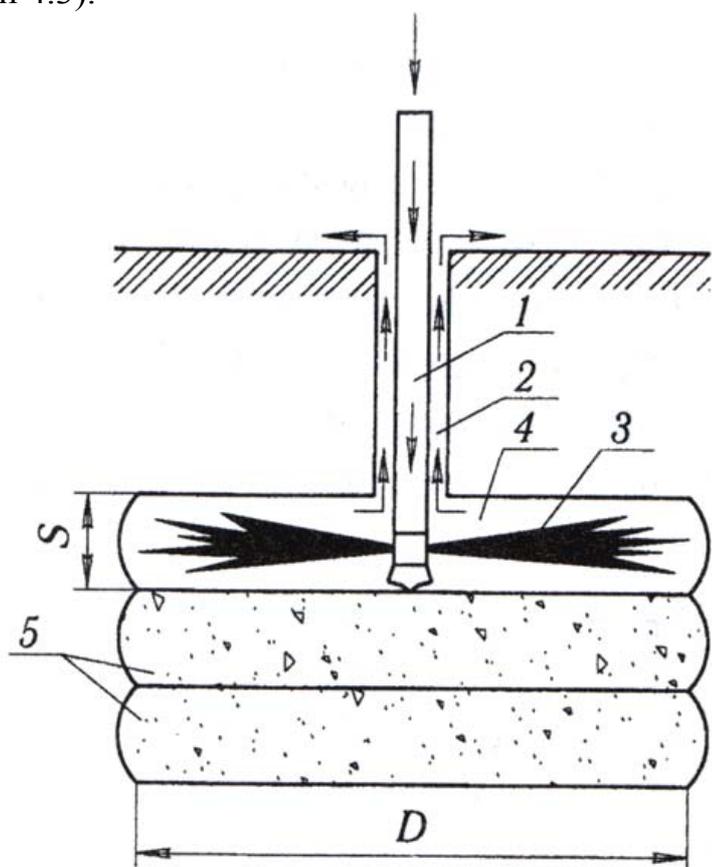


Рис.4.2. Схема формирования грунтоцементной колонны: 1 – нагнетаемый цементный раствор; 2 – изливающаяся пульпа; 3 – водоцементная струя; 4 – обрабатываемый объем грунта; 5 – грунт, обработанный в предыдущих циклах.



Рис.4.3. Вид отвердевшей смеси цемента и грунта.

Технология струйной цементации грунтов (название за рубежом «Jet Grouting») в ее современном исполнении появилась практически одновременно в трех странах — Японии, Италии, Англии ещё в 70-х годах XX века. Инженерная идея оказалась настолько плодотворной, что в течение последних десятилетий данная технология распространилась по всему миру, позволяя эффективно решать многочисленные задачи в области подземного строительства.

По сравнению с традиционными технологиями инъекционного закрепления грунтов струйная цементация позволяет укреплять практически весь диапазон грунтов — от гравийных отложений до мелкодисперсных глин и илов. Другим важным

преимуществом технологии является чрезвычайно высокая предсказуемость результатов укрепления грунтов. Это дает возможность на этапе проектирования достаточно точно рассчитать геометрические и прочностные характеристики будущей подземной конструкции (свая, участок подпорной стенки и т. д.), а соответственно — трудозатраты, материалы и стоимость работ.

Область применения способа – строительство подземных сооружений любого размера и формы в неустойчивых рыхлых, песчаных или связанных грунтах (торф, глина, супесь, песок, гравий) на глубину до 50м. Это ограничение накладывает технические возможности бурового оборудования для Jet Grouting.

В настоящее время технология струйной цементации нашла широкое применение и часто замещает традиционные технологии, используемые в строительстве. Наиболее распространены следующие случаи её применения:

- укрепление грунтов при строительстве подземных сооружений (автотранспортные и коммунальные тоннели, устья стволов, другие подземные выработки и сооружения);
- устройство грунтоцементных колонн в качестве элементов ограждающих конструкций — подпорных стен для повышения устойчивости откосов, ограждений бортов котлованов и т. п.
- фундаменты зданий и сооружений глубокого заложения, опоры под ответственные сооружения при строительстве и ремонте;
- вертикальные и горизонтальные противодиффузионные экраны, завесы.

Механические характеристики грунта после применения струйной цементации улучшаются в 2-х аспектах:

а) прямой эффект, состоящий в увеличении прочности грунтоцементного материала на сдвиг после соединения грунта с цементным раствором и отверждения;

б) косвенный эффект, состоящий в увеличении плотности и прочности прилегающего к грунтоцементным колоннам грунта.

Средние значения прочности на сжатие, достигаемые при использовании технологии Jet Grouting в разных типах грунтов при водоцементном отношении 1 и расходе 450 кг цемента на 1 м³ грунта составляют (рис.3а.4):

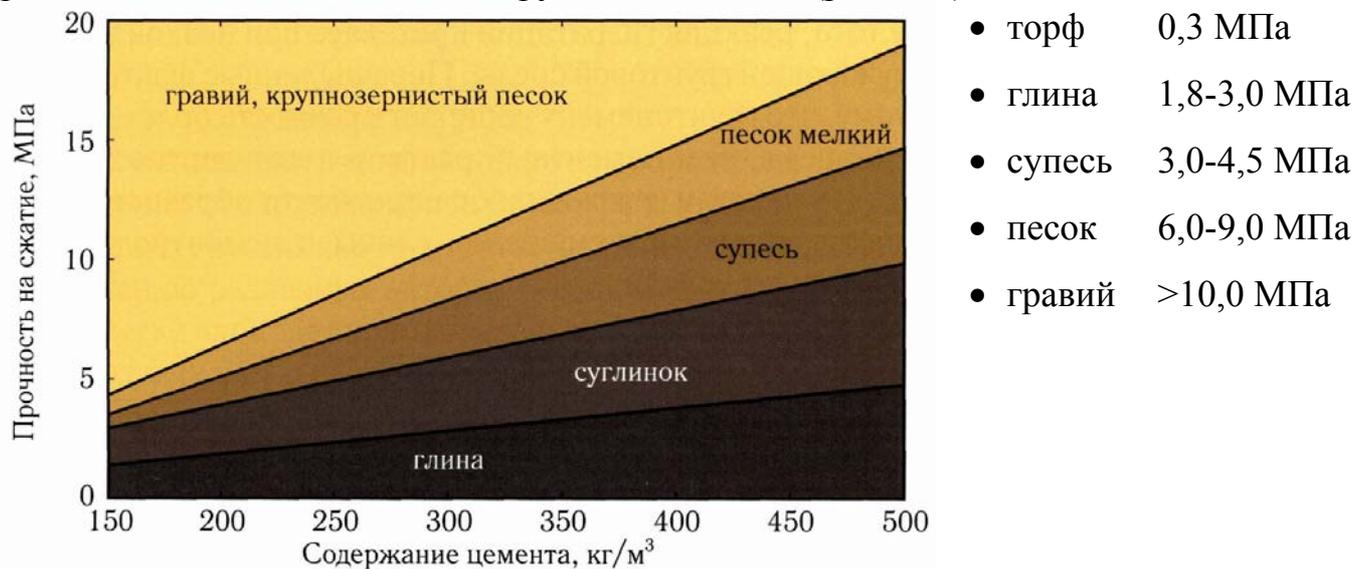


Рис.3а.4. Прочность грунтобетона при различных типах грунта.

В процессе устройства грунтоцементных колонн отсутствуют ударные нагрузки. Данное преимущество делает технологию незаменимой в условиях плотной городской застройки, когда необходимо выполнять работы без негативного ударного воздействия на фундаменты близко расположенных зданий и сооружений.

Технология позволяет выполнять работы в стесненных условиях — в подвальных помещениях, вблизи существующих зданий, на откосах и т. д. В этом случае на объекте устанавливается только малогабаритная буровая установка, а весь инъекционный комплекс располагается на более удобной удаленной площадке.

Немного из истории способа. Следует отметить, что данная технология имеет различные варианты, которые развивались самостоятельно, и только в наши дни они пересеклись под общим термином «струйная цементация».

Если считать, что основой технологии является факт размыва грунта водной струей, то в этом случае авторство вообще трудно установить, т. к. данный вид работ давно применяется в горном деле. Идея заместить размывый и удаленный в виде пульпы грунт цементным раствором или сразу размывать грунт не водой, а струей цементного раствора, что называется, «висела в воздухе» и во многих странах почти одновременно была реализована в различных вариантах технологии.

Известно, что энергия струи, затрачиваемая на разрушения грунта, пропорциональна произведению давления нагнетания на расход рабочей жидкости. При равной мощности силового привода инъекционного насоса можно получить примерно одни и те же результаты, максимально увеличивая давление при минимальном расходе жидкости или, наоборот, значительно увеличивая расход при низком давлении насоса. Это объясняет развитие технологии в двух направлениях.

Первое направление, основанное на применении специализированных цементировочных насосов, обеспечивающих давление 400...1000 бар, интенсивно развивалось за рубежом. Так как для реализации высокого уровня давления применяют сопла малого диаметра, в литературных источниках такое направление иногда связывают с термином «тонкая струя».

В СССР и на постсоветском пространстве предпочтение было отдано второму направлению, позволяющему использовать выпускаемые отечественной промышленностью насосы низкого давления с высоким расходом рабочей жидкости.

Первые результаты применения жидкостных струй в строительстве были получены в Японии в 70-х годах XX века. Впоследствии технология получила широкое распространение в Англии и Италии. Причем в последней интенсивное развитие произошло благодаря благоприятной геологической ситуации — распространению песчаных и гравелистых грунтов на территории Италии.

В СССР первые технологические схемы струйной цементации были разработаны Гидроспецпроектотом и применены ВО «Гидроспецстрой» Минэнерго СССР в конце 70-х годов при устройстве вертикальных противодиффузионных завес вокруг ряда гидротехнических сооружений. Необходимо отметить, что рекомендации, разработанные в 80-е годы, являются на сегодняшний день единственным нормативным документом, регламентирующим применение данной технологии в строительстве.

В 90-х годах интерес к технологии струйной цементации практически исчез в связи со значительным уменьшением объемов строительства и недостаточным финансированием новых технологических разработок.

Ситуация резко изменилась в 2000...2010гг. Экономическая стабилизация, открытость границ, поступление инвестиций в строительство, установившиеся горизонтальные связи между отечественными строительными организациями и зарубежными поставщиками материалов и оборудования — все это способствовало возрастанию интереса к прогрессивным строительным технологиям, в том числе и к технологии струйной цементации грунтов. Отечественные предприятия, ориентирующиеся на современный уровень строительного производства, начали применять технологию на различных строительных объектах. Область применения способа резко расширилась.

К сожалению, в связи с отсутствием отечественного оборудования строительные предприятия вынуждены приобретать оборудование у зарубежных фирм-производителей в странах, где технология давно и успешно применяется (Италия, Англия, Япония).

2. Виды струйной цементации.

Существует три основные разновидности технологии (рис.4.5):

- а) – однокомпонентная (Jet 1);
- б) – двухкомпонентная (Jet 2);
- в) – трёхкомпонентная (Jet 3).

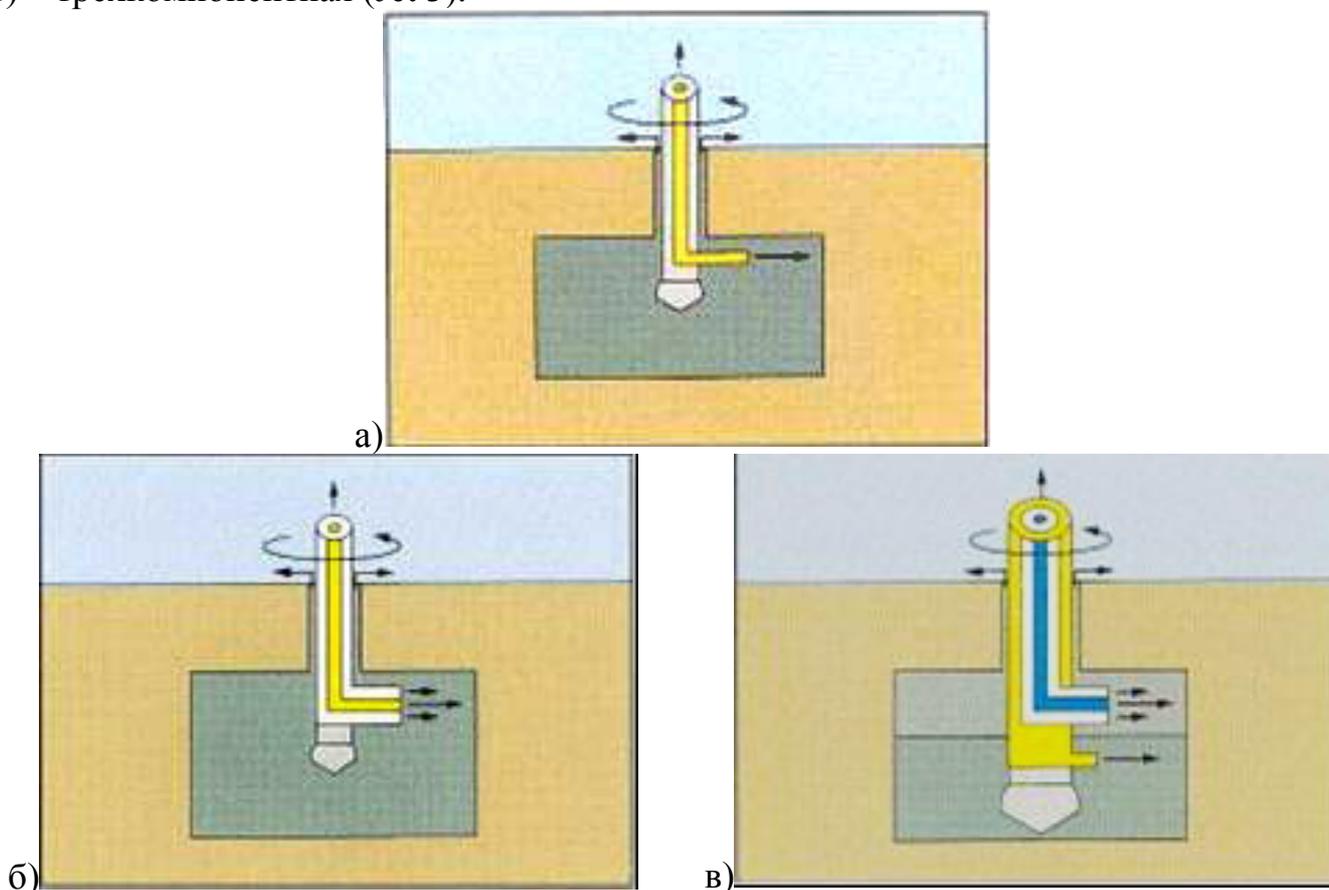


Рис.4.5. Разновидности струйной цементации.

Однокомпонентная технология (Jet 1) (рис.4.5а). В этом случае разрушение грунта производят струей цементного раствора. Давление нагнетания раствора составляет 400...600 атм.

В процессе размыва грунта происходит его перемешивание с цементным раствором. После твердения образуется новый материал — грунтоцемент, обладающий по сравнению с первоначальным грунтом повышенными прочностными, деформационными и противифльтрационными характеристиками.

Технология Jet 1 наиболее проста в исполнении, требует минимального комплекта оборудования — миксера и цементировочного насоса, однако диаметр получаемых колонн также является наименьшим по сравнению с другими вариантами технологии. Так, например, в глинах диаметр колонн не превышает 0,6 м, в суглинках и супесях составляет 0,7...0,8 м, в песках достигает 1,0 м.

Для увеличения диаметра колонн, особенно в плотных глинах, применяется операция предварительного размыва грунта (prewashing). Для этого в процессе подъема буровой колонны производят размыв грунта водяной струей под давлением 200...300 атм. После этого буровую колонну повторно опускают до проектной отметки, и начинают собственно струйную цементацию Jet 1.

Двухкомпонентная технология (Jet 2) (рис.4.5б). В этом варианте для увеличения длины водоцементной струи используют энергию сжатого воздуха. Для отдельной подачи в монитор цементного раствора и сжатого воздуха применяют двойные концентрические полые штанги. По внутренним штангам подают цементный раствор, а по внешним — сжатый воздух. Монитор также имеет более сложную конструкцию, включающую сопло для водоцементного раствора и дополнительное кольцевое сопло для формирования воздушной рубашки, окружающей основную струю.

Воздушная рубашка, защищающая водоцементную струю, резко снижает сопротивление окружающей среды по боковой поверхности струи и тем самым увеличивает ее разрушающее действие. Давление нагнетания цементного раствора соответствует технологии Jet 1. Давление воздуха должно быть не менее 5 бар, подача воздуха 7...10 м³/мин.

Диаметр колонн, получаемых по этой технологии, в глинах достигает 1,2 м, в суглинках и супесях — 1,5 м, в песчаном грунте — 2,0 м.

Трехкомпонентная технология (Jet 3) (рис.4.5в). Этот вариант отличается от предыдущих тем, что водовоздушная струя используется исключительно для размыва грунта и образования в нем полостей, которые впоследствии заполняются цементным раствором. Преимуществом данного варианта является получение колонн из чистого цементного раствора. К недостаткам следует отнести сложность технологической схемы, требующей применения тройных штанг для отдельной подачи воды, сжатого воздуха и цементного раствора, а также дополнительного технологического оборудования — компрессора и второго насоса.

При правильном подборе расхода воды, цементного раствора, скорости подъема монитора можно получить колонны с диаметром, достигающим 2,5 м.

В табл. 4.1 приведены основные технологические характеристики рассмотренных вариантов.

Основные параметры технологии струйной цементации грунтов.

Параметры технологии			Вариант		
			Jet 1	Jet 2	Jet 3
Давление	Вода	бар	ПРГ	ПРГ	300-500
	Цементный раствор	бар	400-600	400-600	40-60
	Сжатый воздух	бар	не ИСП.	8-12	8-12
Расход	Вода	л/мин	ПРГ	ПРГ	70-100
	Цементный раствор	л/мин	60-150	100-150	150-250
	Сжатый воздух	м ³ /ч	не исп.	6-18	6-18
Количество сопел	Вода	шт.	ПРГ(1)	ПРГ (1)	1-2
	Цементный раствор	шт.	2-6	1-2	1
Диаметр сопел	Вода Цементный раствор	мм	ПРГ (1,6-2,4)	ПРГ (1,6-2,4)	1,8-2,5
		мм	1,6-3,0	2,0-4,0	3,5-6,0
Скорость вращения монитора		об/мин	10-30	10-30	10-30
Время подъема монитора на 4 см		с	8-15	10-20	15-25
Диаметр колонн	Песчаный грунт	м	0,6-1,0	1,0-2,0	1,5-2,5
	Глинистый грунт	м	0,5-1,0	1,0-1,5	1,0-2,0
Водоцементное отношение			от 1,2 до 0,5		
Расход цемента		кг/м ³	400...800	400...800	400...800

Примечание: ПРГ – предварительный размыв грунта

3. Оборудование для осуществления способа.

Комплект технологического оборудования, необходимый для производства струйной цементации грунтов с использованием технологического варианта Jet 1, включает в себя (рис.4.6):

- цементирувочный насос высокого давления;
- миксерную станцию;
- буровую установку;
- силос для хранения цемента.

Для технологического варианта Jet 2 дополнительно необходим компрессор, а для технологического варианта Jet 3 — компрессор и второй насос для нагнетания цемента под давлением до 50-60 бар.

Цементирувочный насос является «сердцем» технологии. Именно с его помощью производят нагнетание цементного раствора в высоконапорную магистраль под давлением до 600 бар или предварительный размыв грунта под давлением 200 бар.

- 1) Смеситель МАТ тип SCW10/14-K
- 2) Шнековый питатель МАТ
- 3) Инъекционная установка IMP18/25/50 ME МАТ
- 4) Ёмкость для перемешивания RB-4000
- 5) Насос высокого давления HALLIBURTON
- 6) Рукав высокого давления
- 7) Бурильная установка KLEMM KR 806-4
- 8) Нагнетательная линия низкого давления
- 9) Цементный силос (в комплект поставки не входит)

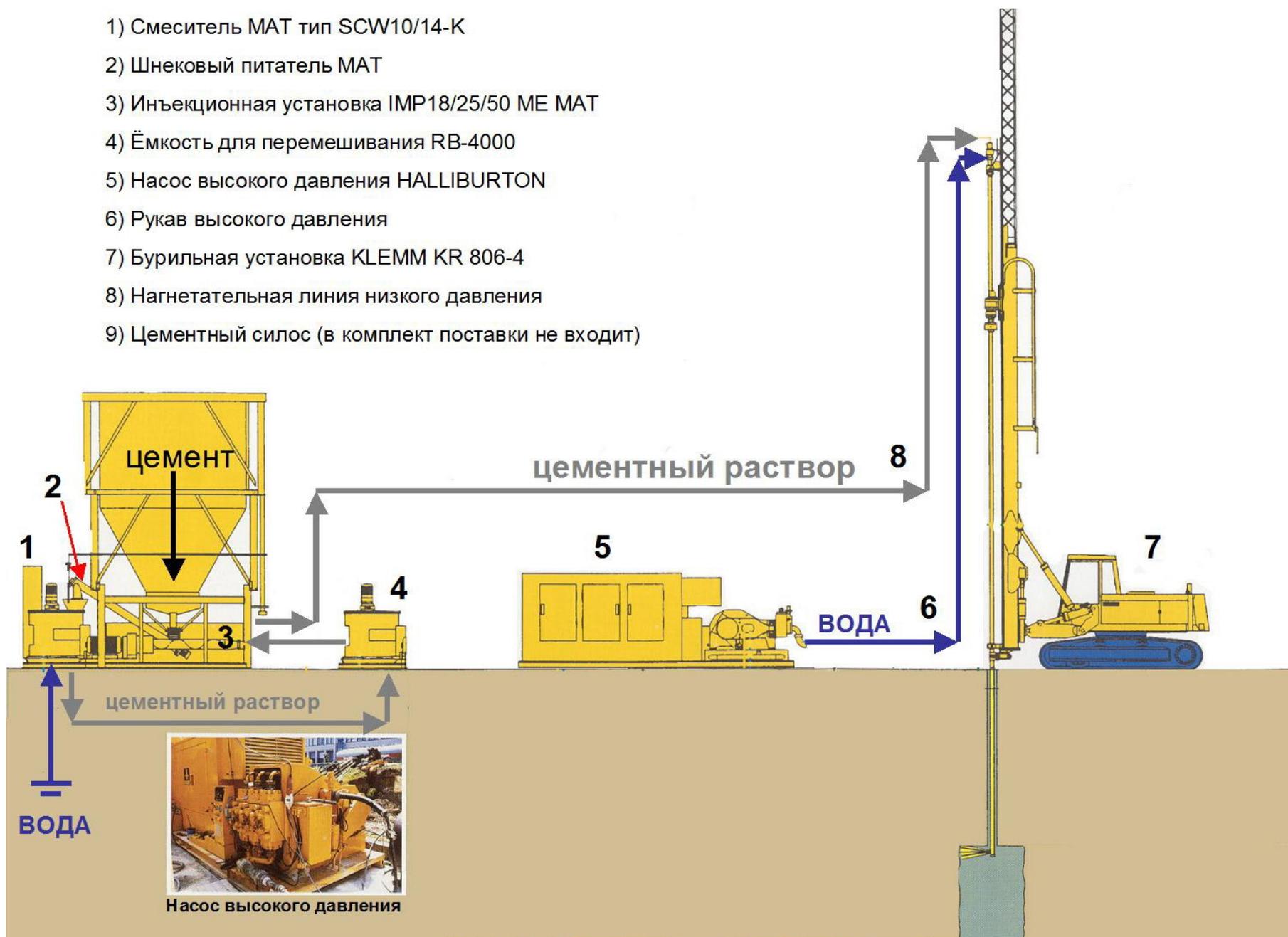


Рис.4.6. Комплект технологического оборудования для струйной цементации грунтов.

В настоящее время за рубежом выпускается разнообразное количество моделей специализированных цементировочных насосов для промышленного применения технологии. Наиболее известны на нашем рынке насосы Halliburton, Tecniwell, Soilmec, Casagrande.

Максимальное давление реализуется при минимальном диаметре плунжера и соответственно расходе нагнетаемой жидкости, а максимальный расход достигается при наибольшем диаметре плунжера и минимальном давлении. Необходимое сочетание давления и расхода устанавливается с помощью подбора соответствующего диаметра плунжера.

Указанное оборудование отвечает всем требованиям технологии и, главное, обладает высокой износостойкостью всех деталей, соприкасающихся с цементным раствором. Это достигается применением системы принудительной смазки плунжеров. Масло под давлением нагнетается в зазор между плунжером и обоймой. Специальная система манжет очищает плунжеры от цементного состава и предотвращает его проникновение в систему смазки.

Сам насос, двигатель и пульт управления размещены в контейнере специальной конструкции, имеющего стандартные размеры, что позволяет легко осуществлять перевозку оборудования автомобильным, железнодорожным или водным транспортом.

Миксерная станция применяется для приготовления цементного состава.

Минимальная производительность миксерной станции с учетом потерь цементного раствора должна составлять 7-8 м³/ч. Приготовление цементного раствора впрок тоже ухудшает качество работ, т. к. цементный раствор теряет свою активность в связи с протекающей реакцией гидратации.

При технологии Jet 2 производительность станции должна быть приблизительно в 2 раза больше, чем при Jet 1, т.е. 15-20 м³/ч. Как и цементировочный насос, миксерная станция размещена в контейнере стандартных габаритов.

Буровая установка предназначена для бурения передовой скважины и работы с исполнительным органом при создании грунтоцементных колонн. Она должна быть оснащена дополнительным устройством автоматизированного подъема буровой колонны с заданной скоростью. Это является основным требованием для гарантированного качества работ — устройства колонн без разрывов, с постоянным диаметром и необходимым содержанием цемента в единице объема грунта.

Буровой инструмент должен отвечать требованиям применяемого варианта технологии. Наиболее простой состав бурового инструмента соответствует однокомпонентной технологии Jet 1 — цементировочный вертлюг, одинарные штанги, монитор, буровое долото. При применении варианта Jet 2 устанавливается дополнительный вертлюг для подачи воздуха, а также используются двойные штанги. При технологии Jet 3 применяются дополнительный вертлюг и тройные штанги.

Применяемая дополнительно при Jet 2 и Jet 3 *компрессорная станция* должна иметь производительность подачи сжатого воздуха 8...10 м³/ч при давлении не ниже 6 бар.

4. Технология производства работ.

Строительство подземного сооружения способом струйной цементации включает в себя выполнение следующих основных этапов:

1. Подготовительные работы.
2. Создание грузонесущего ограждения в неустойчивых грунтах.
3. Выемка грунта внутри ограждённого пространства.
4. Возведение постоянной крепи сооружения.

Подготовительные работы: проектирование, оформление разрешения на работу на конкретной стройплощадке, приобретение и завоз на площадку необходимого оборудования и материалов согласно проектной документации, организация работы транспорта, персонала.

Создание грузонесущего ограждения производится в результате выполнения следующих основных последовательных процессов для группы скважин (рис.4.7):

- 1 – бурение передовой скважины в направлении сверху вниз – 1-й этап;
- 2 – устройство грунтоцементной колонны в направлении снизу вверх – 2-й этап;
- 3 – армирование грунтоцементной колонны (при необходимости).

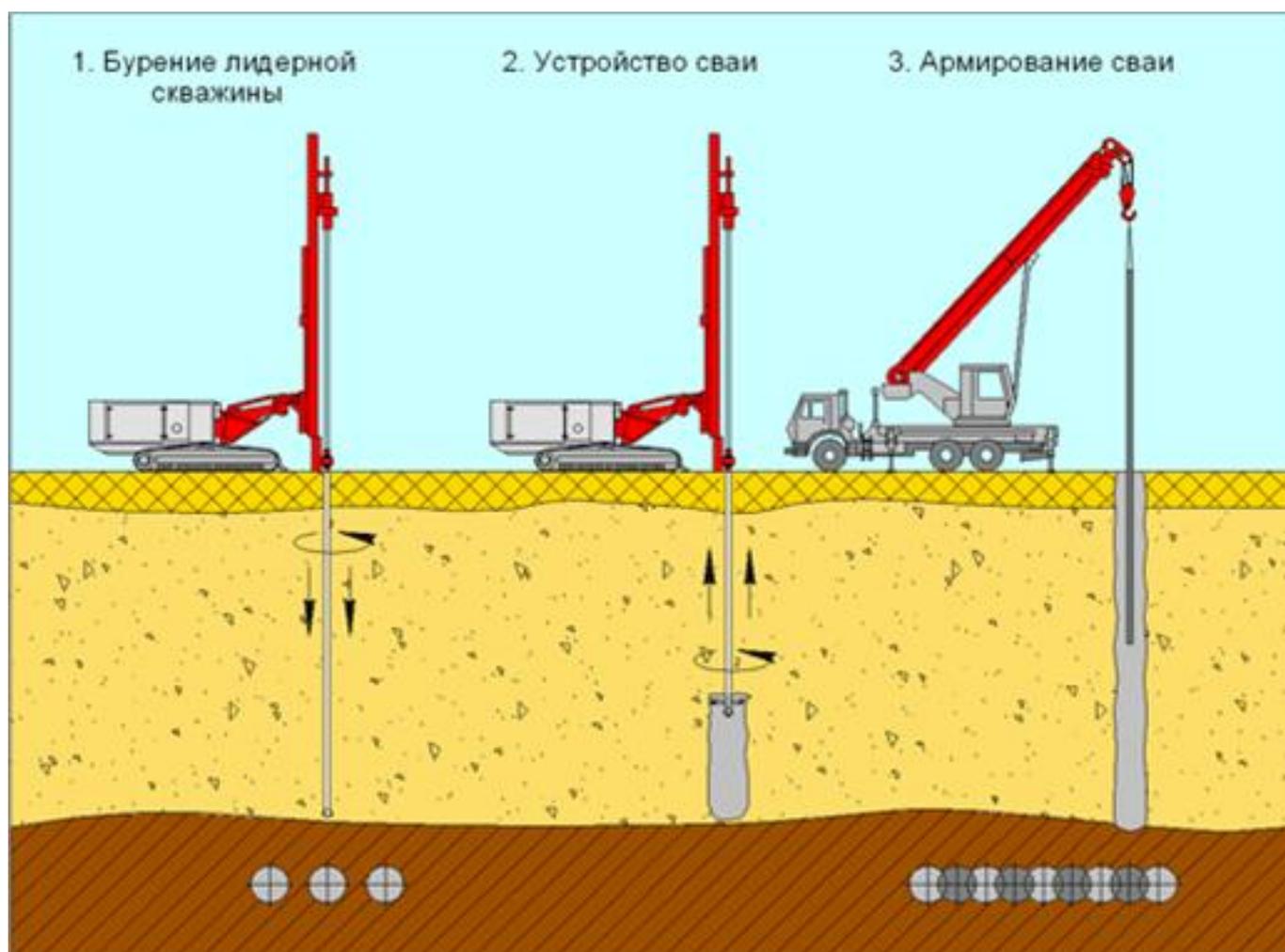


Рис.4.7. Последовательность работ при создании грунтоцементных колонн.

Бурение передовой (лидерной) скважины (**1-й этап**) ведется традиционными методами в зависимости от характеристик грунта на строительной площадке. Могут быть использованы вращательный и ударно-вращательный методы бурения.

Бурение обычно производится с использованием трехлопастных (перьевых) или трехшарошечных буровых снарядов в рыхлых, песчаных и связанных грунтах. В тех случаях, когда возникает необходимость бурения плотных пород или строительного мусора, а также при бурении скважин через фундаменты зданий, в качестве породоразрушающего инструмента используют шарошечные долота с твердосплавными элементами. Применение ударно-вращательного метода предполагает использование внешних молотов (верхний молот); применение нижних молотов не рекомендуется.

Для очистки от буровой мелочи при бурении могут употребляться различные компоненты: вода, воздух, бентонит. Обязательно ведётся контроль направления (вертикальность или параллельность скважины заданному направлению). Этот вид контроля необходим для соблюдения сплошности ограждения: в грунтоцементном материале не должно остаться «окон» из необработанного грунта.

После того как запланированная глубина достигнута, буровой снаряд закрывается автоматическим клапаном, и приступают ко **2-му этапу**: размыву грунта, его перемешиванию с цементным раствором и созданию грунтоцементной колонны. Для этого в буровую колонну под высоким давлением подают рабочую жидкость (цементный раствор) и начинают подъем колонны.

Струя раствора истекает из сопел специального устройства — монитора, расположенного в нижней части буровой колонны сразу за буровым наконечником (рис.4.8). Фотография (рис.4.8) носит иллюстративный характер, на самом деле



струя всегда находится в грунте в утопленном положении. В соплах монитора происходит преобразование потенциальной энергии рабочей жидкости, нагнетаемой под высоким давлением насосом в монитор, в кинетическую энергию струи. Высокая кинетическая энергия передается окружающему грунту, который смешивается с инъекционным компонентом (цементом) и формирует затвердевающую колонну.

В связи с высокими абразивными свойствами цементного раствора сопла изготавливаются из специального металлокерамического состава. Диаметр сопел составляет 1,6...4,0 мм, а для Jet 3 до 6 мм.

Рис. 4.8. Внешний вид струй монитора.

Для получения высокой однородности результатов цементации количество сопел цементного раствора в мониторе составляет 2...6 шт.

Если во время подъема одновременно производить вращение снаряда на 360°, то в результате в грунтовом массиве формируются элементы в виде колонн близкой к цилиндрической формы. Если подъем производить без вращения, то элементы будут иметь вид тонких панелей. Различные структуры затвердевшего грунта могут быть получены путем изменения скорости и угла вращения, а также времени подъема снаряда.

Во время процесса следует убедиться, что излишний материал выходит на поверхность. Вынос шлама показывает, что в обрабатываемом грунте не возникает слишком высокое давление, так как шлам выходит на поверхность через зазор, образующийся при бурении между буровым снарядом и грунтом.

Слишком высокое давление может стать причиной трещин в массиве породы и вызванного им пучением грунта. В результате возникает риск нарушения целостности колонн. Вследствие этого рекомендуется принять меры для предотвращения подобной ситуации, например:

- уменьшение интенсивности подачи материала,
- увеличение давления инъекции,
- предварительная обработка глинистых грунтов водой.

Выход шлама зависит от пористости и насыщенности грунта и, конечно, от его типа: больше в глинистых грунтах, меньше в гравийных; в общем случае он составляет порядка 10% от инъецируемого объема.

При необходимости увеличить итоговую прочность грунтоцементной колонны сразу после возведения её армируют стержнем из стандартного металлопроката (двутавр, швеллер, уголок и др.). Стержень погружают в ещё не схватившуюся колонну при помощи имеющейся строительной техники и специальных захватов. При большой глубине колонн стержни по длине сваривают электросваркой (*ссылка на видеофильм в конце лекции*).

По прошествии фиксированного времени, которое определяется лабораторно и оговаривается в проектной документации (5...7 суток), происходит схватывание грунтоцементной смеси с набором ею до 50% прочности, в результате чего улучшаются механические свойства естественного грунта. Можно приступать к разработке грунта под защитой ограждения. Прочность колонн со временем будет возрастать, а своей максимальной величины достигнет ориентировочно на 30-е сутки (песчаные грунты) или 60-е сутки (глинистые грунты).

Выемка грунта внутри ограждённого пространства производится при помощи обычной строительной-дорожной техники (экскаватор, бульдозер, погрузчик, самосвалы) или при небольших площадях сооружения (устье ствола, колодец и др.) – механическим или пневматическим грейфером.

Возведение постоянной крепи сооружения производится по обычным строительным технологиям в зависимости от вида конструкции сооружения и материала крепи в строгом соответствии с технологической документацией.

Просмотр видеофильма «СП «Регион».

Тема 5. СТРОИТЕЛЬСТВО ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПУСКНЫХ КРЕПЕЙ.

4 ЧАСА

ПЛАН.

1. Сущность способа и область применения.
2. Конструктивные элементы опускных сооружений.
3. Технология производства работ в различных горных условиях.
4. Опускная крепь с уменьшенным действием сил трения.
5. Расчёт опускной крепи.

Л.1, с.13-27,
Л.5, с.28-42.

1. Сущность способа и область применения.

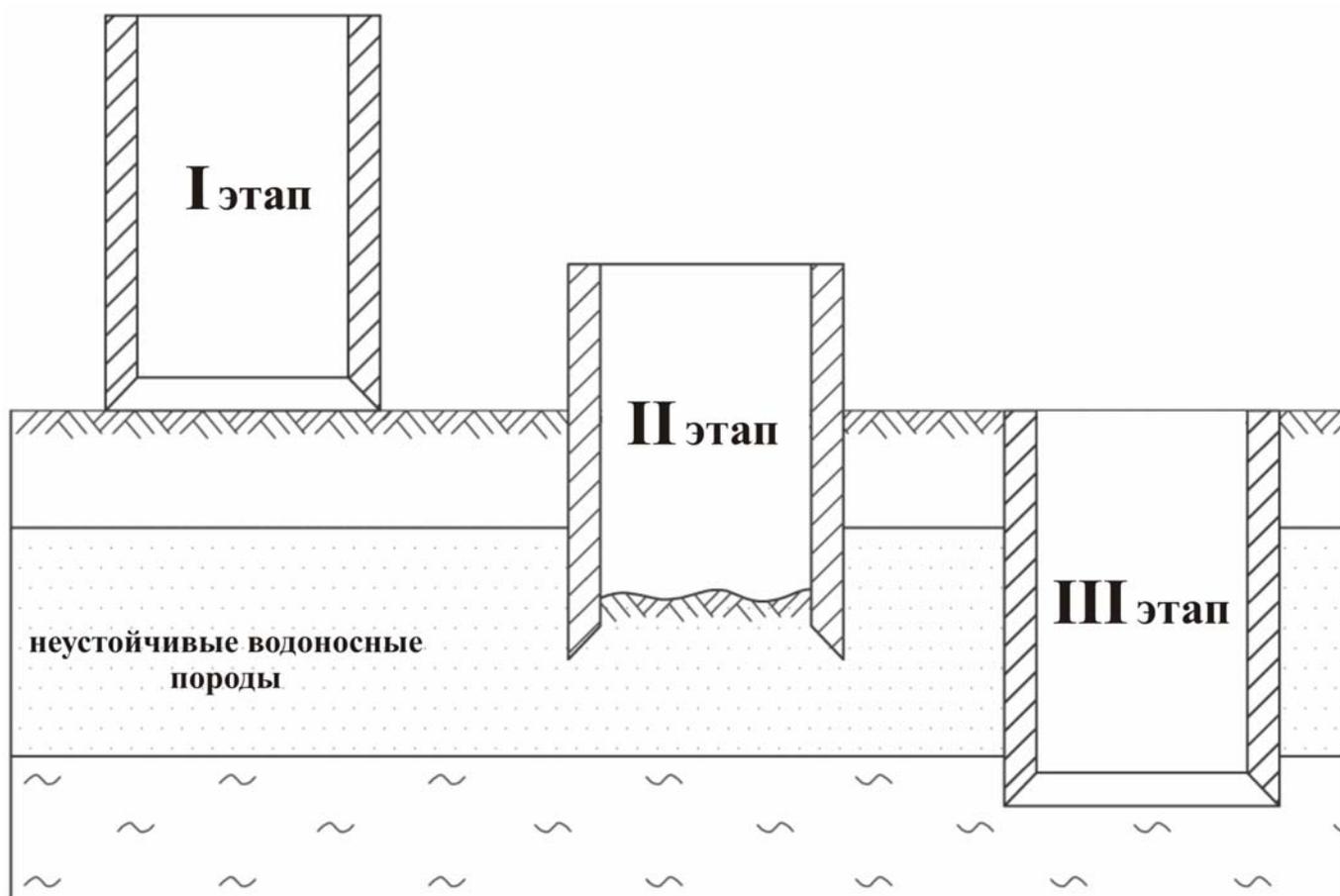


Рис.5.1 Последовательность строительства участка вертикального ствола с применением опускной крепи.

Сущность строительства вертикальных горных выработок с применением опускных крепей заключается в том, что слабые, рыхлые водоносные породы проходят с предварительным погружением в них замкнутой жёсткой конструкции (крепей), снабжённой в нижней части режущим башмаком (рис.5.1).

Опускание крепи происходит по мере выемки породы под воздействием собственного веса, либо собственного веса и дополнительных нагрузок, либо принудительного задавливания. Одновременно с погружением крепь наращивают и выни-

мают горную массу внутри неё. При небольших размерах по высоте опускная крепь может быть изготовлена полностью перед опусканием.

Скорость погружения в начальный период составляет 0,6 - 1 м/сутки, а с увеличением глубины уменьшается до 0,2 - 0,3 м/сутки. Крепь погружают до тех пор, пока режущий башмак не углубится в подстилающие водоупорные породы на 1,5 - 2 м, после чего в них возводят постоянный бетонный или железобетонный опорный венец. Опускная крепь в своём конечном положении одновременно является и **постоянной крепью** горной выработки.

По форме в плане опускные крепи могут быть круглые, прямоугольные, овальные или эллиптические в зависимости от типа и назначения подземного сооружения.

В качестве материала для опускной крепи используются:

- монолитный бетон или железобетон;
- чугунные или железобетонные тубинги;
- железобетонные панели;
- металлобетонные блоки.

Применение панелей и тубингов имеет ряд преимуществ перед монолитными крепями: высокая индустриальность изготовления элементов крепи, сокращение сроков строительства, снижение стоимости и трудовых затрат.

Целесообразная **область применения** опускных крепей в шахтном строительстве:

- мощность водоносных пород не более 20 м (экономически целесообразно - более 8 м);
- глубина залегания кровли водоносных пород от поверхности земли - не более 30 м;
- отсутствие включений твёрдых пород размером в поперечнике более 100 мм;
- мощность подстилающего водоупорного слоя породы - более 2 - 3 м;
- напор подземных вод водоносного пласта - не более 15 м вод. ст.

Глубина погружения опускных крепей не превышает 50 - 60 м.

В шахтном строительстве данный способ используется для сооружения вертикальных стволов небольшой глубины или их верхних частей (устьев).

В гражданском и промышленном строительстве способ используется для сооружения фундаментов ответственных зданий и сооружений, водозаборных и канализационных насосных станций, камер дробления горно-обогачительных, металлургических и калийных комбинатов, скиповых ям доменных печей, складов и хранилищ различного назначения, др. объектов.

Недостатки способа:

- 1) образование пустот за стенками опускного цилиндра может привести к оседанию поверхности земли, разрушению цилиндра крепи;
- 2) возможное отклонение цилиндра от вертикали;
- 3) возможное заклинивание опускной крепи, её разрушение;
- 4) значительная трудоёмкость работ;

Несмотря на перечисленные недостатки, данная технология прошла проверку и хорошо себя зарекомендовала при проходке стволов на строительстве метрополитенов в Москве, Киеве, Донецке, при проходке шахтных стволов в Донецком, Криворожском и других бассейнах, при сооружении прочих объектов в военных целях.

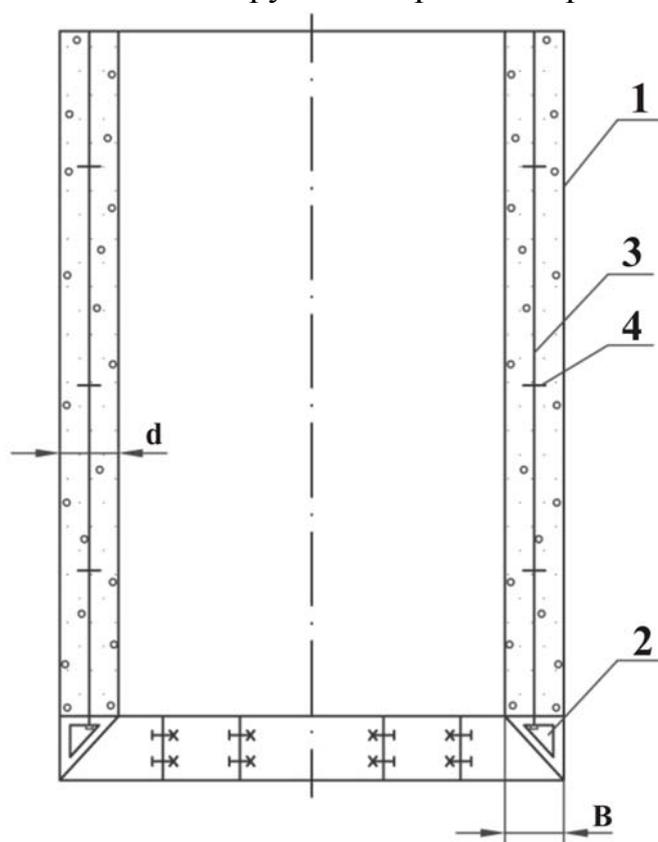
ПРИМЕРЫ по Донецкой области: 1992г. - устье ВПС №1 шахты "Краснолиманская" (чугунные тубинги; рассказать об аварии), 2006 г. – устье скипового ствола №2 шахты «Красноармейская-Западная №1» (ж/б тубинги, «рубашка»); 2011...2014 гг. – 2 устья вертикальных стволов и вентиляционный шурф глубиной 24, 26 и 40м на площадке блока №11 ПАО «ШУ «Покровское» (монолитный ж/б).

Скорость проходки шахтных стволов способом опускной крепи составляет от 1 до 15 м/месяц (при рейферной выемке породы - 12 м/мес.).

2. Конструктивные элементы опускных сооружений.

Основными конструктивными элементами опускной крепи являются (рис.5.2):

- 1) режущий башмак;
- 2) стены;
- 3) днище (может быть или не быть в зависимости от назначения подземного сооружения). Если днище необходимо, то его возводят по окончании погружения крепи на проектную глубину.



Обозначения:

- 1 – стены опускной крепи;
- 2 – режущий башмак;
- 3 – анкерные болты (штанги);
- 4 – горизонтальные связи анкерных болтов;
- В – ширина режущего башмака;
- d – толщина стен опускной крепи.

Режущий башмак предназначен для облегчения внедрения опускной крепи в горную породу. Он воспринимает и распределяет нагрузки от стен крепи, способствует её погружению, т.е. острые кромки башмака врезаются в грунт.

Конструкция режущего башмака зависит от материала опускной крепи. Их могут изготавливать из монолитного железобетона, ж/б или чугунных тубингов, из специальных стальных сегментов клинообразной формы, количество которых в зависимости от диаметра ствола может быть от 8 до 18. Сегменты между собой скрепляют при помощи болтовых соединений или электросварки. При изготовлении режущего башмака из тубингов поступают следующим образом: нижний горизонтальный фланец тубинга срезают, из наклонного, горизонтального и вертикального листов сваривают корпус, надевают его на тубинг и фиксируют болтами (рис 5.3).

Рис.5.2. Конструктивные элементы опускной крепи.

Высота сегмента принимается 0,6 - 1,2 м. Ширина В принимается равной толщине стен опускной крепи d (в общем случае В = 0,5 – 1 м). Толщина стенок режу-

щего башмака (рис.5.4) $E = 30 - 50$ мм. Длина одного сегмента по хорде - 1,5 - 2,0 м. Масса всего режущего башмака достигает 20 - 50 т.

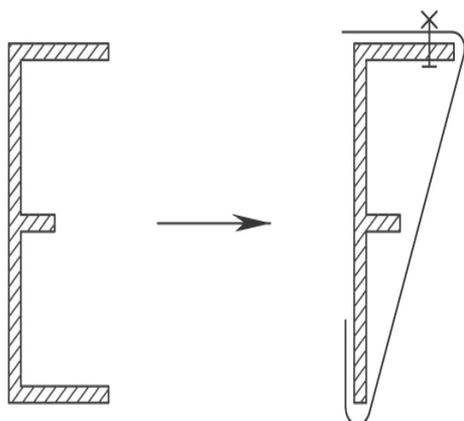


Рис.5.3. Изготовление сегмента режущего башмака из тьюбинга.

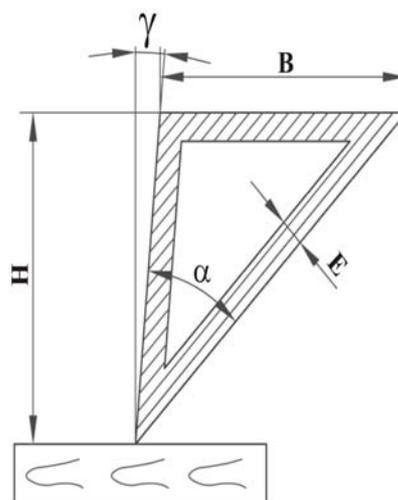


Рис. 5.4. Сечение металлического режущего башмака.

Угол α , образуемый режущими гранями башмака, определяют исходя из характеристик прорезаемых пород и выбранного способа производства работ. При погружении опускных крепей в плотные грунты угол α принимают равным $5 - 15^\circ$, а при проходке по слабым и илистым грунтам (большинство случаев) угол α принимают равным $35 - 45^\circ$.

Если имеется опасение слишком быстрого погружения опускной крепи в слабый грунт, то применяют многогранную форму ножевой части с плоским основанием.

Для уменьшения сил трения при опускании крепи о горные породы целесообразно наружную поверхность цилиндра опускной крепи, а также наружную поверхность режущего башмака выполнять коническими - с большим основанием внизу. Угол наклона конуса принимают равным $\gamma = 10' - 2^\circ 30'$.

Стены опускного цилиндра, возводимые на режущем башмаке, могут быть монолитными или сборными.

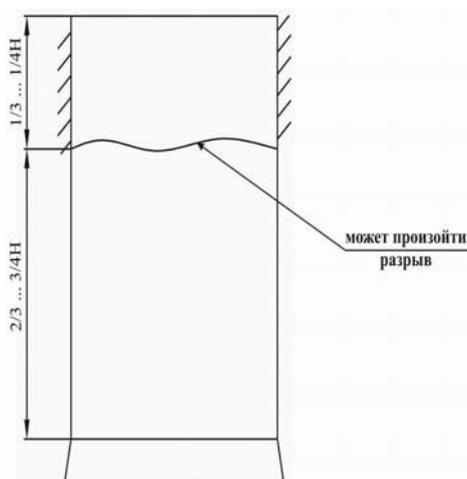


Рис.5.5. Защемление опускной крепи.

МОНОЛИТНЫЕ изготавливают из бетона, железобетона (марки не ниже 200). В случае бетонных стен в крепи устраивают анкерные болты, которые обеспечивают связь крепи с режущим башмаком в случае её заклинивания. Болты рассчитываются на восприятие растягивающих усилий на тот случай, когда верхняя часть крепи ($0,3H$) заклинит, а нижняя, большая часть ($0,7H$), зависнет и будет стремиться оторваться (рис.5.5).

СБОРНЫЕ опускные крепи выполняются чаще всего из чугунных или

ж/б тубингов, металлобетонных блоков, вертикально устанавливаемых плоских панелей, крупных пустотелых блоков.

Металлическая опускная крепь по многим показателям лучше бетонной или ж/бетонной (тоньше, жёстче, водонепроницаема, не повреждается при принудительном задавливании).

3. Технология производства работ в различных горных условиях.

Работы по сооружению подземного объекта способом опускной крепи выполняются в следующей технологической последовательности.

1. *Подготовительные работы.*

Вначале на поверхности земли оборудуют строительную площадку, в пределах которой размещают оборудование, необходимое для монтажа, спуска крепи, разработки породы, водоотлива и т.д.

2. *Монтаж опускной крепи.*

В зависимости от глубины залегания от поверхности водоносных и пльвунных пород различают следующие схемы монтажа и погружения крепи:

- 1) при h до 1,5 - 2 м все работы выполняют с поверхности земли;
- 2) при $h = 3 - 4$ м работы ведут со дна котлована глубиной 2-3 м;
- 3) при h более 4 м работы производят из забоя выработки, находящегося на расстоянии 1 - 1,5 м выше кровли водоносного горизонта.

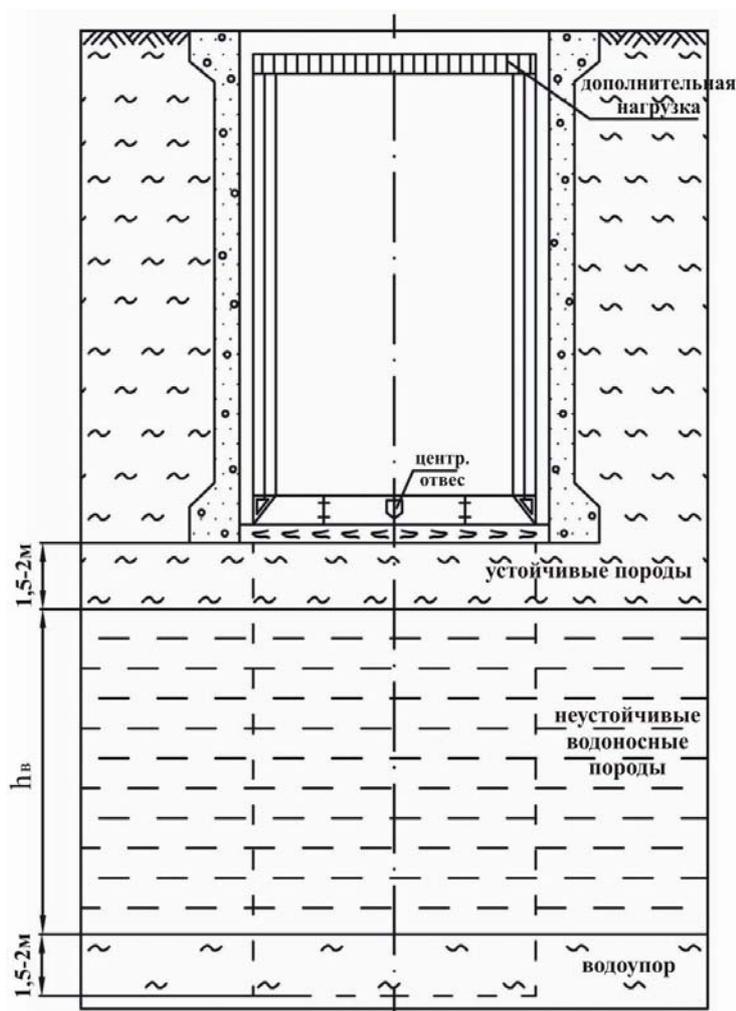


Рис.5.6. Монтаж и погружение опускной крепи из забоя вертикального ствола

Рассмотрим наиболее сложную - 3-ю схему (рис.5.6).

Вначале сооружается устье вертикального ствола в устойчивых породах обычным способом. Забой устья останавливается от кровли водоносного горизонта на расстоянии 1 - 1,5 м. Порода в забое тщательно разравнивается, и на неё радиально укладывают деревянные брусья (шпалы) через 0,5 - 1 м для опирания режущего башмака (рис.5.7). На этих брусьях из отдельных сегментов на болтах монтируется режущий башмак, тщательно центрируется от центрального отвеса и уровнями (допуски: 2 мм по высоте и 5 мм в плане).

После этого на режущем башмаке возводятся стены опускной крепи. В случае ж/б или бетонных стен крепи вначале выставляется арматура (анкерные болты), а затем при помощи

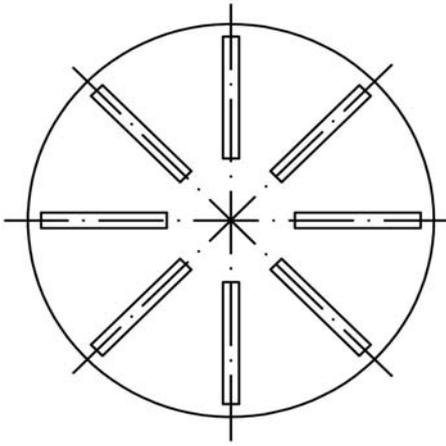


Рис. 5.7. Расположение деревянных опор под режущим башмаком

инвентарной скользящей опалубки в направлении снизу вверх возводятся стены цилиндра. Работы выполняются с временного одноэтажного полка. Бетон подаётся за опалубку кранами в бадьях или специальных контейнерах. Обычно при высоте стен опускной крепи до 10 м их бетонируют за один приём, а при большей высоте - в несколько приёмов. При этом стены разбивают по высоте на отдельные заходки по 3 - 5 м.

Стены опускной крепи сборной конструкции монтируют краном из отдельных элементов.

Для контроля за вертикальностью погружения опускной крепи по осям крепи устья ствола и по осям опускного цилиндра наносятся краской по 4 вертикальные полосы.

3. Погружение опускной крепи и выемка породы.

Этот этап начинают с удаления подкладок, расположенных под режущим башмаком. Эта весьма ответственная операция должна выполняться очень тщательно, чтобы исключить перекосы крепи в начальный момент опускания. Подкладки удаляют через одну, а затем поочередно с разных сторон путём их подкапывания, извлечением из-под ножа и плотным заполнением образовавшейся полости грунтом (для передачи нагрузки на породы и избежания возможных перекосов).

До начала заглубления опускной крепи в породу выполняют все подготовительные работы, связанные с выемкой породы. Способ разработки выбирают в зависимости от особенностей напластования и свойств породы, интенсивности фильтрации воды, размеров, формы опускной крепи и глубины её погружения. Для разрушения породы может быть достаточно только лишь воздействия грейфера, а могут понадобиться отбойные молотки и пневмомолоты с последующей погрузкой горной массы грейфером в бадью и разгрузкой на поверхности, либо с непосредственной разгрузкой грейфера на поверхности при малых глубинах разработки.

Породу разрабатывают послойно в радиальном направлении от центра к стенам отдельными полосами, оставляя у режущего башмака защитные бермы, которые затем раздавливаются весом опускной крепи. В случае слабых неустойчивых плавунных пород во избежание выноса породы внутрь крепи уровень разработки грунта должен быть на 0,5 - 1 м выше кромки ножа.

Породу внутри опускной крепи разрабатывают сухим или подводным способом.

Сухой способ (с откачкой воды) применяют при благоприятных гидрогеологических условиях, когда тем или иным способом удаётся понизить уровень грунтовых вод или успешно применить открытый водоотлив.

Подводный способ (без откачки воды) применяют в случаях, когда уровень грунтовых вод понизить невозможно (нет энергии, большие коэффициенты фильтрации), а породы, слагающие разрез, рыхлые, легко поддающиеся разработке грейфером. Опережение забоем режущего башмака в этом случае строго не допускается. Для разработки и выдачи породы используются грейферы как пневматические, так и механические, например, 4-х лопастные "Темп-1" и "Темп-2" ёмкостью 0,6 - 0,9 м³.

Для разработки грунта внутри опускных сооружений гражданского строительства могут использоваться бульдозеры, экскаваторы, гидромеханизация, БВР.

При опускании крепи обязателен контроль за её вертикальностью. Он осуществляется грубо при помощи вертикальных полос на стенах крепи, и точно - путём маркшейдерских измерений. Допуск на отклонение крепи от вертикали (до 0,5м) учитывается увеличением её диаметра. Особенно строго контроль должен осуществляться при опускании первых 10 м, а затем уже крепь скользит как в направляющей трубе. При обнаружении перекосов крепи принимают меры по её выравниванию, а именно:

- 1) форсированная уборка породы или увеличение нагрузки с отстающей стороны;
- 2) подбивка клиньев, брусьев с опережающей стороны.

4. Заключительные работы.

После того, как цилиндр опускной крепи углубился в подстилающий слой (водоупор) на 1,5 - 2 м, его останавливают (убирают пригруз или подбивают под режущий башмак клинья) и приступают к разделке опорного венца отдельными,

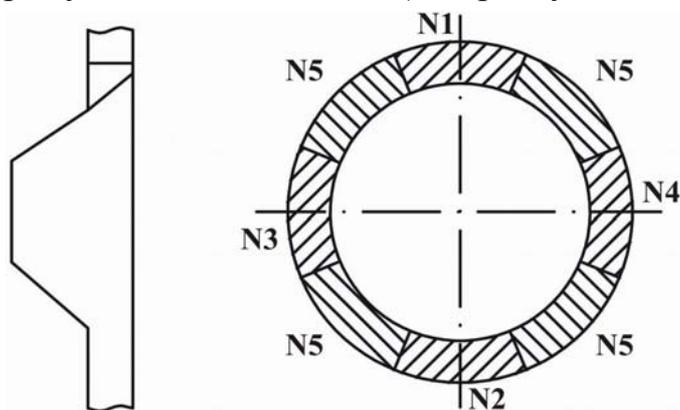


Рис.5.8. Устройство опорного венца.

диаметрально противоположными, секторами (рис.5.8).

В случае спуска крепи из забоя ствола оставшийся кольцевой зазор между двумя цилиндрами заполняют цементным раствором, а также тампонируют пустоты, которые могли образоваться за крепью в случае выноса пород. После выполнения всех этих работ возобновляют проходку ствола, а опускной цилиндр остаётся в качестве постоянной крепи участка ствола.

Если опускное сооружение выполнено на конечную глубину, то после погружения выполняют определённое проектом железобетонное днище.

Опускная крепь с принудительным задавливанием.

В тех случаях, когда под действием собственной массы и массы башмака крепь погружаться не будет, прибегают к дополнительной нагрузке (укладывают сверху мешки с песком, металлические грузы и т.д.). Если и это не даёт эффекта, то необходимо применить принудительное погружение при помощи винтовых или гидравлических домкратов, способных развивать давление 100 - 200 т каждый. Такая практика наиболее распространена в Метрострое при применении тубингов для опускных крепей, когда их вес недостаточен, а плотность пород повышенная.

В качестве опоры для домкратов используют либо специальную конструкцию опорного воротника, либо опорные балки, заделанные в крепь ствола (рис.5.9.).

Для задавливания ставят 4 - 8 гидродомкратов. Их число определяется расчётом. Тубинговые кольца наращивают послойно под домкратами. Уборка породы начинается только после полного погружения очередного кольца при выключенных

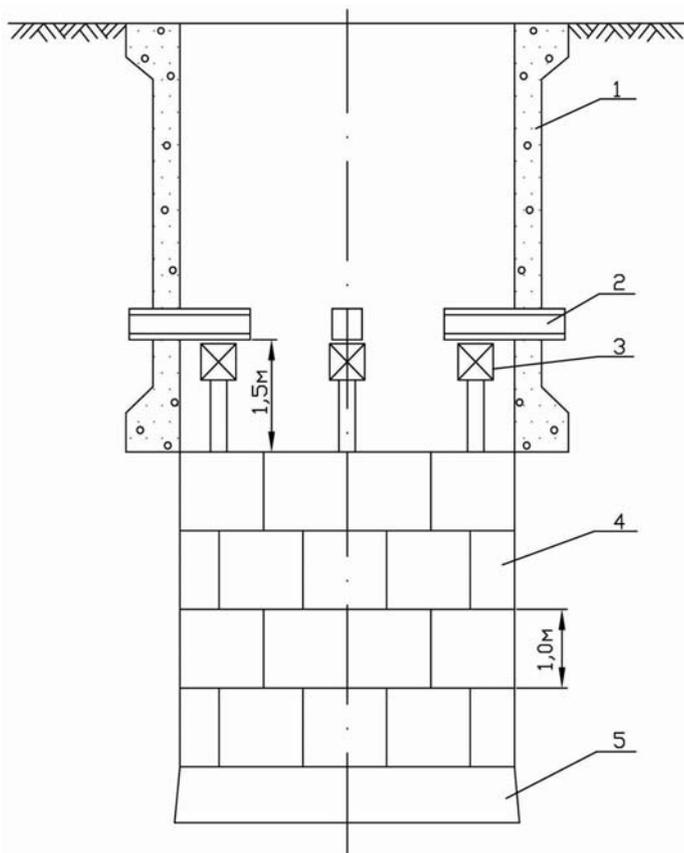


Рис.5.9. Погружение крепи с принудительным задавливанием.

- 1 - крепь устья ствола;
- 2 - консольные балки;
- 3 - гидродомкраты;
- 4 - опускной цилиндр из тубингов;
- 5 - режущий башмак.

домкратах. Все остальные технологические процессы аналогичны предыдущему способу.

Достоинства принудительного задавливания тубинговой крепи:

- 1) возможность управления процессом погружения;
- 2) тубинговая крепь - надёжный водонепроницаемый экран;
- 3) не разрушается во время погружения;
- 4) имеет меньшую толщину и вес.

Недостаток принудительного задавливания тубинговой крепи:

- 1) при больших сопротивлениях опускной цилиндр может деформироваться.

На основе вышерассмотренного способа в практике проходки шахтных стволов теоретически известен способ задавливания только ножевой части опускной крепи (*вертикальный щит*). Однако область применения щитовой технологии ограничена наличием только слабых прорезаемых пород по глубине ствола.

4. Опускная крепь с уменьшенным действием сил трения.

Во время погружения опускной крепи между стенками цилиндра и породой возникают силы трения ($0,5 - 3 \text{ т/м}^2$), которые препятствуют погружению и затрудняют выполнение всех работ. Первый путь решения этой проблемы - увеличение нагрузки до величины, превышающей силы трения, рассмотрен чуть ранее. Второй путь - уменьшение сил трения до величины, которая меньше веса опускной крепи и режущего башмака. Этот путь предпочтительнее, поскольку позволяет значительно снизить массу сооружения и увеличить глубину погружения.

В связи с этим разработаны опускные крепи с уменьшенным действием сил трения следующих модификаций.

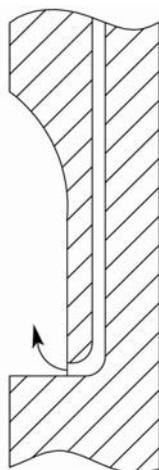
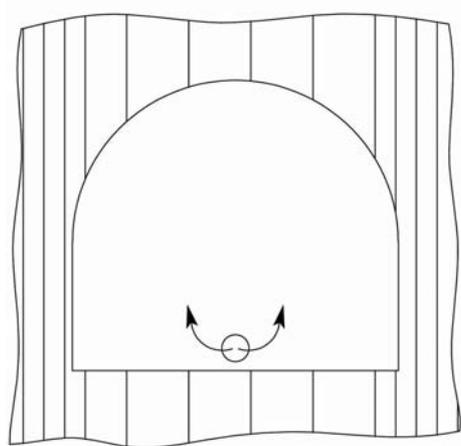
1. ПОДМЫВ РЕЖУЩЕГО БАШМАКА.

В этом случае в бетонные стены крепи заделывают трубы, нижние концы которых выходят под режущим башмаком. Выходы трубок снабжают соплами. По трубам нагнетают воду под напором, на $2 - 3 \text{ кг/см}^2$ превышающем гидростатическое давление. На выходе из сопла вода подмывает грунт, а затем попадает в про-

странство между стенами опускной крепи и грунтом, тем самым уменьшая силы трения между ними. Вместе с водой по трубам можно подавать пар или сжатый воздух.

2. ОБОЛОЧКА СЖАТОГО ВОЗДУХА.

Этот способ основан на уменьшении поверхности трения стенок опускного



цилиндра о грунт за счёт того, что внешняя поверхность его окружается оболочкой сжатого воздуха. Оболочка, в свою очередь, создаётся при помощи воздушных карманов, устроенных с наружной стороны железобетонного опускного цилиндра (рис.5.10).

Воздушные карманы - это выемки в наружной поверхности крепи, в которые выходят трубы сжатого воздуха, заделанные в стенах опускного цилиндра.

Рис.5.10. Строение воздушного кармана.

Сжатый воздух, подаваемый по трубам, в воздушных карманах не даёт соприкоснуться стенам цилиндра крепи с

грунтом по площади карманов. Кроме того, поднимаясь в кольцевом пространстве между опускным цилиндром и грунтом, сжатый воздух дополнительно уменьшает поверхность трения, а тем самым и силы трения.

Этот способ разработан в Японии и позволяет осуществлять проходку стволов шахт глубиной до 150 м одним опускным цилиндром.

3. ТИКСОТРОПНАЯ РУБАШКА.

С целью уменьшения сил трения между породой и опускной крепью профессором Н.В.Озеровым в 60-х годах (Государственная премия) был предложен способ заполнения зазора между трущимися поверхностями глинистым раствором, обладающим тиксотропными свойствами (так называемое "погружение опускной крепи в тиксотропной рубашке"). Впервые в нашей стране этот способ был применён в 1969 году при строительстве ствола N832 Московского метрополитена. К настоящему времени его область применения значительно расширилась.

Сущность способа заключается в заполнении тиксотропным раствором полости шириной 100 - 150 мм между наружной поверхностью сооружения и грунтом, что значительно снижает силы бокового трения, обеспечивает устойчивость грунтовых стен, уменьшает их водопроницаемость за счёт проникновения раствора в трещины. Пустота создаётся благодаря превышению диаметра режущего башмака над диаметром цилиндра (выступа). Для удержания глинистого раствора на поверхности по периметру опускного цилиндра устраивается кольцо форшахта (рис.5.11). Внизу на уступе режущего башмака из вязкого материала (глинистой пасты, прорезиненной ленты) выполняют специальный замок, препятствующий прорыву раствора внутрь сооружения.

Для приготовления тиксотропного раствора используют бентонитовые (реже - местные комовые) глины. Плотность глинистого раствора подбирается с таким рас-

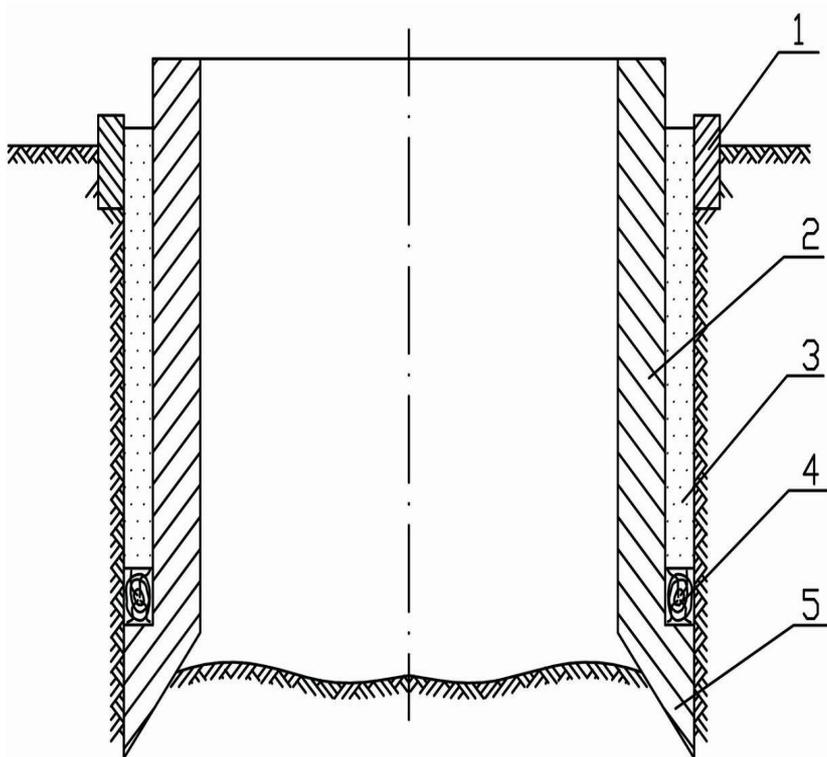


Рис.5.11. Опускная крепь в тиксотропной рубашке.

1 - форшахта; 2 - стены опускной крепи; 3 - тиксотропный раствор; 4 - замок; 5 - режущий башмак.

Этот способ может применяться практически в любых несвязных грунтах при отсутствии в них крупных пустот, куда может уходить глинистый раствор.

5. Расчёт опускной крепи.

Вначале изобразим расчётную схему опускной крепи (рис.5.12). Согласно эпюре распределения горного давления на крепь максимальные нагрузки будут сосредоточены в почве рыхлых слабых водоносных пород.

И именно в этой точке следует вначале найти величину горного давления, которая будет определять толщину стен крепи (ссылка на практические занятия).

Этап А. РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПУСКНОЙ КРЕПИ.

1. Высота опускного цилиндра определяется мощностью водоносных пород:

$$H = h_b + 3, \text{ м} \quad (5.1)$$

где

h_b - мощность водоносного горизонта, а 3 м - это 1,5 м выше и 1,5 м ниже водоносного горизонта (нерабочие участки крепи).

2. Внутренний диаметр опускной крепи (диаметр в свету) определяется по формуле:

$$D_B = D_{св} + 0,5, \text{ м} \quad (5.2)$$

чём, чтобы гидростатическое давление раствора на любой глубине было бы больше бокового давления грунта и грунтовых вод (практически плотность раствора находится в пределах от 1,05 до 1,2 г/см³). Наличие тиксотропной рубашки практически снимает трение боковой поверхности цилиндра о породу (снижает на порядок до 0,07 - 0,25 т/м²).

Как один из вариантов способа применяется обеспечение постоянной циркуляции тиксотропного раствора в рубашке. Более сложно осуществить, но лучше работает.

Использование тиксотропной рубашки гарантирует надёжность и способствует повышению безопасности работ и сокращению сроков строительства. Этот способ может приме-

где

$D_{св}$ - диаметр ствола в свету, м;

0,5 м - запас по диаметру на возможные отклонения опускной крепи от вертикали.

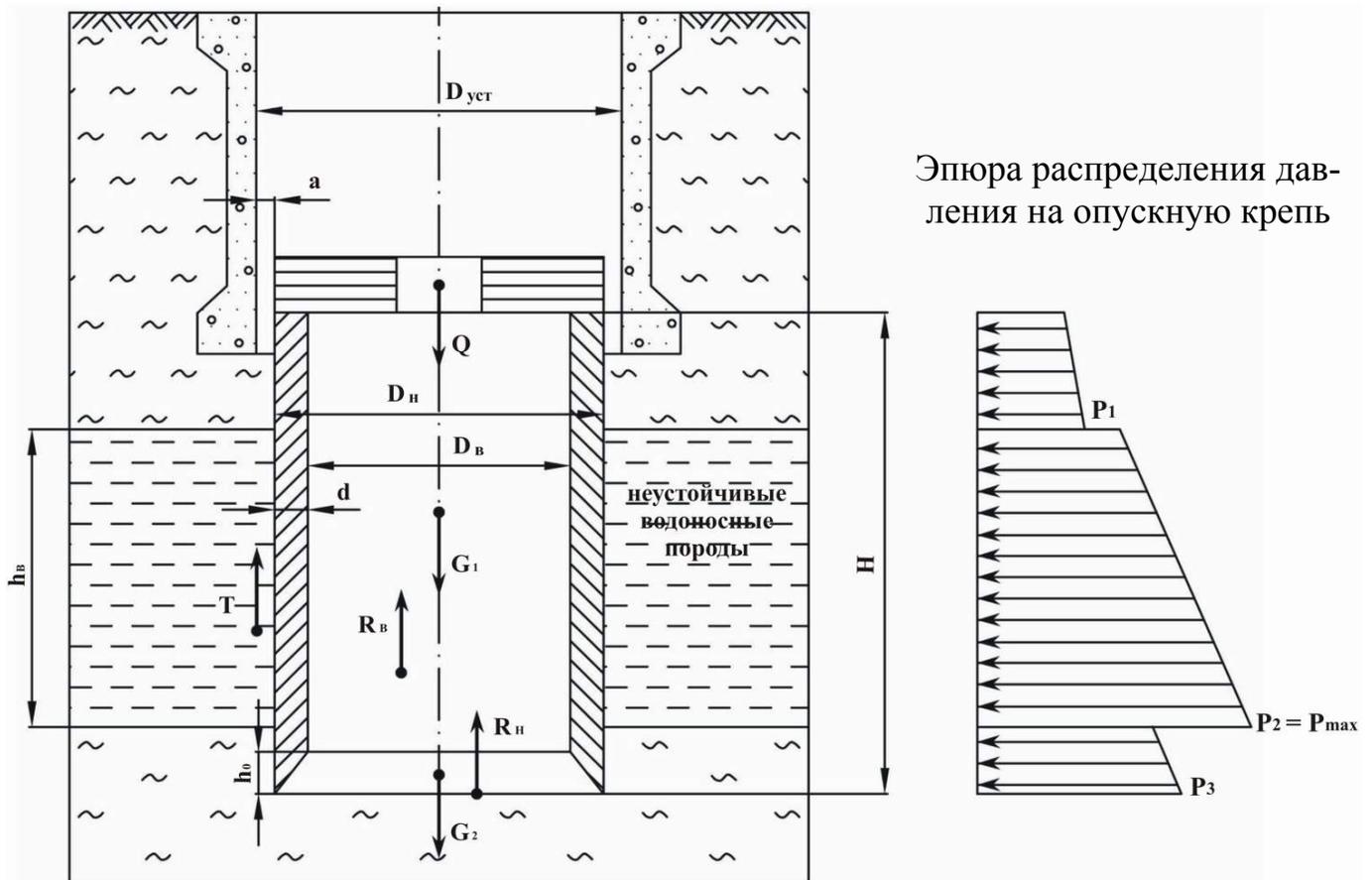


Рис.5.12. Расчётная схема опускной крепи.

3. Толщина стен опускной крепи определяется по формуле Ляме с добавочным коэффициентом института ВНИМИ для расчёта опускных крепей:

$$d = (1,2 - 1,3) \cdot m_k \cdot r_{вн} \left(\sqrt{\frac{m_\sigma \cdot R_\sigma}{m_\sigma \cdot R_\sigma - 2P_{max}}} - 1 \right), \text{ м} \quad (5.3)$$

где

(1,2 - 1,3) - коэффициент ВНИМИ. Принимается в зависимости от материала крепи и воспринимаемой нагрузки;

$m_k = 1,25 - 1,5$ - коэффициент условий работы крепи;

$r_{вн}$ - внутренний радиус опускной крепи;

$m_\sigma = 0,7 - 0,9$ - коэффициент условий работы бетона;

R_σ - расчётное сопротивление бетона осевому сжатию;

P_{max} - максимальное значение внешнего давления на крепь.

4. Внешний диаметр опускной крепи определяется по формуле:

$$D_n = D_{вн} + 2d, \text{ м} \quad (5.4)$$

5. Диаметр устья ствола определяется так:

$$D_y = D_n + 2a, \quad (5.5)$$

где

$a = 0,2 \text{ м}$ - технологический зазор между стенкой крепи устья и опускной крепью.

6. Расчёт необходимого количества анкерных болтов, способных воспринимать растягивающую нагрузку.

Растягивающие напряжения могут возникнуть в цилиндре опускной крепи в случае защемления (заклинивания) его верхней части (1/4 - 1/3 высоты) в породе, и зависания нижней (рис.5.5).

Установленные заранее внутри стен опускного цилиндра анкерные болты должны воспринять на себя растягивающую нагрузку и предотвратить разрыв.

6-1. Вначале определяется вес зависшей части цилиндра опускной крепи по формуле:

$$Q = (0,7 - 0,75) \cdot G_1 + G_2, \text{ Т} \quad (5.6)$$

где

G_1 и G_2 - вес цилиндра опускной крепи и режущего башмака соответственно;

$$G_1 = \pi \cdot (r_n^2 - r_в^2) \cdot (H - h_0) \cdot \gamma_m, \text{ Т} \quad (5.7)$$

$$G_2 = d_2 \cdot h_0 \cdot \Pi \cdot \gamma'_m, \text{ Т} \quad (5.8)$$

где

γ_m и γ'_m - объёмный вес материала цилиндра опускной крепи и режущего башмака соответственно, т/м³;

h_0 - высота режущего башмака, м;

r_n и $r_в$ - радиусы цилиндра опускной крепи наружный и внутренний, м;

d_2 - приведенная (усреднённая) толщина режущего башмака, м;

Π - периметр режущего башмака по оси, м.

Для усреднённых расчётов вес режущего башмака можно принимать в пределах 20 - 40 т (в зависимости от диаметра).

6-2. Определяется разрывное усилие, которое может воспринять материал цилиндра опускной крепи (бетон):

$$P = [\sigma_p] \cdot \pi \cdot (r_n^2 - r_в^2), \text{ Т} \quad (5.9)$$

где

$[\sigma]$ - допустимое сопротивление бетона на разрыв, т/м².

6-3. Определяется неуравновешенная растягивающая нагрузка:

$$R = Q_1 - P, \text{ Т} \quad (5.10)$$

6-4. Определяется площадь поперечного сечения всех анкерных болтов:

$$F = \frac{R}{[\sigma_p^I]}, \text{ м}^2 \quad (5.11)$$

$[\sigma_p^I]$ - допустимое сопротивление материала анкерных болтов (металла) на разрыв.

6-5. Необходимое количество анкерных болтов определяется исходя из известной площади поперечного сечения одного из них (f):

$$N = \frac{F}{f}, \text{ шт.} \quad (5.12)$$

Этап Б. ПРОВЕРКА УСЛОВИЯ ПОГРУЖЕНИЯ ОПУСКНОЙ КРЕПИ.

Погружение опускной крепи через водоносные породы будет обеспечено, если сумма сил, способствующих погружению, будет больше или равна сумме сил, препятствующих этому, то есть должно выполняться условие:

$$G_1 + G_2 + Q \geq T + R_B + R_H \quad (5.13)$$

где

Q - дополнительная нагрузка, т. Может быть создана либо за счёт пригруза, либо гидравлическими или механическими домкратами.

T - силы трения между наружной поверхностью опускной крепи и породой.

$$T = F_y \cdot t, \text{ т} \quad (5.14)$$

где

t - удельная сила трения материала опускной крепи о породу, т/м²;

F_y - площадь поверхности цилиндра опускной крепи, соприкасающаяся с породой.

$$F_y = \pi \cdot D_n \cdot (H - 0,5), \text{ м}^2, \quad (5.15)$$

где

$0,5 \text{ м}$ - высота непогружаемой части опускной крепи;

R_e - выталкивающая сила в случае погружения опускной крепи без откачки воды в обводнённых породах:

$$R_e = \pi \cdot (r_n^2 - r_e^2) \cdot H_e \cdot \gamma_e, \text{ т} \quad (5.16)$$

где

H_e - глубина затопленной части опускной крепи, м;

γ_e - объёмный вес подземных вод, т/м³.

R_H - усилие отпора грунта внедрению режущего башмака:

$$R_H = F_n \cdot r, \text{ т} \quad (5.17)$$

где

F_n - площадь подошвы режущего башмака. При ширине горизонтальной плоскости режущего башмака равной или меньшей 0,1 м (острый башмак) F_n принимается равной нулю.

r - удельное давление на основание под подошвой режущего башмака, величина которого в зависимости от типа пород изменяется от 20 до 30 т на м².

Подставляя значения G_1 , G_2 , T , R_e , R_H в выражение (5.13), определяют величину принудительной нагрузки Q .

В последнюю очередь, следует проверить выполнение условия устойчивости крепи устья ствола воздействию принудительной нагрузки:

$$Q < G_{ycm} + F_{ycm} \cdot t, \quad (5.18)$$

где

G_{ycm} и F_{ycm} - вес и площадь наружной поверхности крепи устья ствола, т и м².

Тема 6. СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПОД СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ (КЕССОННЫЙ СПОСОБ).

2 ЧАСА

ПЛАН.

1. Сущность способа и область применения.
2. Применяемое оборудование.
3. Технологические схемы и порядок производства работ при сооружении вертикальных выработок.
4. Особенности при строительстве горизонтальных горных выработок под сжатым воздухом.
5. Нормы промышленной санитарии при работе в зоне повышенного давления.
6. Расчёт количества сжатого воздуха, подаваемого в рабочую камеру.

Л.1, с.77-87,
Л.5, с.43-52.

1. Сущность способа и область применения.

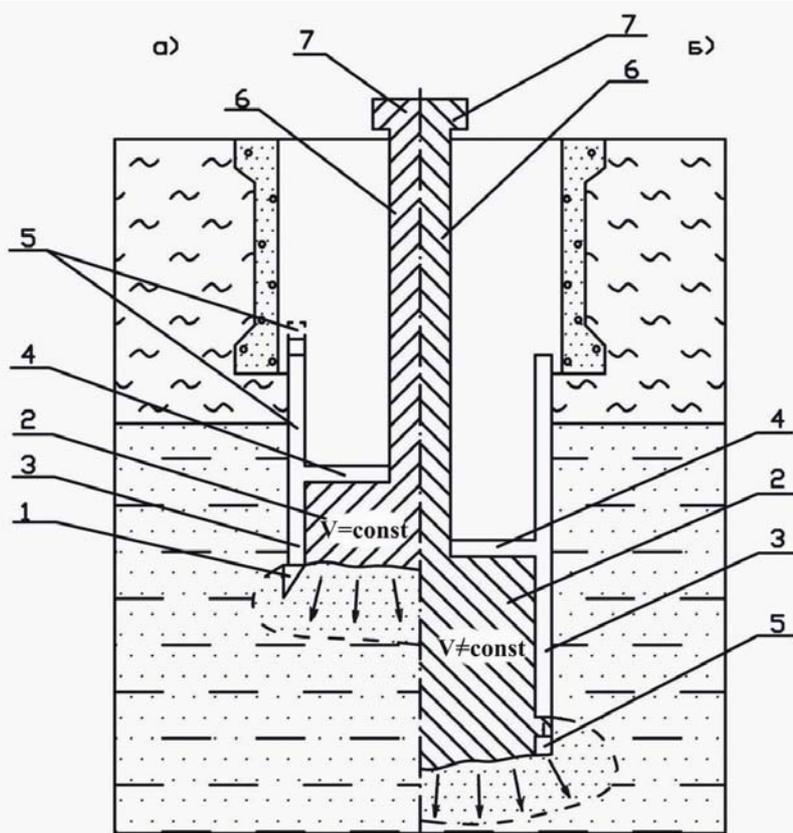
Сооружение вертикальных стволов с применением опускной крепи получило дальнейшее развитие после применения сжатого воздуха для отжатия воды из грунтов. Был создан так называемый **кессонный способ проходки**.

Сущность способа заключается в том, что горнопроходческие работы по слабым рыхлым водоносным породам ведутся при повышенном давлении воздуха в специальной рабочей камере, оборудованной в забойной части выработки и отделённой от остальной выработки воздухонепроницаемой перегородкой (потолком). Под действием давления в камере, превышающего гидростатический напор подземных вод, происходит проникновение воздуха в поры водоносных пород и местный отжим воды на 0,1 - 0,4 м вглубь массива. В результате этого неустойчивые водоносные породы частично осушаются, массив пород становится более устойчивым, что создаёт благоприятные условия для ведения горнопроходческих работ (рис.6.1).

Область применения кессонного способа: при проходке горных выработок по пльвунам, неустойчивым гравелистым, галечниковым и илистым породам при условии, что гидростатический напор подземных вод не превышает 0,2 МПа (2 атм). Последнее условие накладывается нормами санитарно-гигиенического режима, когда пребывание людей в рабочей камере допускается при избыточном давлении сжатого воздуха до 0,2 МПа. Таким образом, кессонный способ сооружения горных выработок можно применять при пересечении водоносных пластов с напором подземных вод не более 20 м водяного столба (если речь идёт о полого залегающих пластах без гидравлической связи с вышерасположенными горизонтами, то их мощность должна быть не более 20 м).

В настоящее время кессонный способ имеет ограниченное применение из-за тяжёлых и вредных условий работы проходчиков, низкой производительности труда. Пользуются им только в крайних случаях, когда другие специальные способы проходки по техническим и экономическим соображениям не могут быть применены.

Обозначения:



- 1 - режущий башмак;
 - 2 - рабочая камера;
 - 3 - стены кессона;
 - 4 - воздухонепроницаемый потолок;
 - 5 - постоянная крепь;
 - 6 - шахтная труба;
 - 7 - шлюзовой аппарат;
- а - технологическая схема с подвижной рабочей камерой,
б - технологическая схема с неподвижной рабочей камерой.

Рис.6.1. Принципиальная схема проходки ствола под сжатым воздухом.

Краткая история развития способа. Кессонный способ в угольной промышленности нашей страны стали часто применять после 1944г. и, в основном, в Подмосковном бассейне.

1952г. - расцвет способа: около 70% стволов, где применялись специальные мероприятия, пройдены кессонным способом.

К 1961 году под сжатым воздухом был пройден 201 ствол общей глубиной 8,5 км, в том числе в угольной промышленности - 180 стволов общей глубиной 8 км, что составило 14% к общей длине стволов, пройденных специальными способами за тот же период.

После 1962г. кессонный способ в горной промышленности не применяют. Однако его ещё применяют в метростроении и при сооружении подземных коллекторов в городских условиях.

Скорость проходки стволов под сжатым воздухом (достигнутая) - до 30 - 45 м/мес. (средняя - 10 - 15 м/мес.).

2. Применяемое оборудование.

При проходке вертикальных стволов под сжатым воздухом применяется как **специальное** (кессоны, шлюзы), так и **обычное** (подъёмные машины, бады, лебёдки, компрессоры, насосы и т.д.) горнопроходческое оборудование.

Кессон представляет собой опускающую крепь, которая герметичным потолком разделяет ствол на две зоны:

- 1) рабочую камеру - зону повышенного давления, расположенную ниже потолка;

2) зону нормального атмосферного давления, расположенную выше потолка.

Рабочая камера (рис.6.2) с боков ограничивается стенами опускной крепи, сверху - герметичным потолком, снизу - забоем ствола.

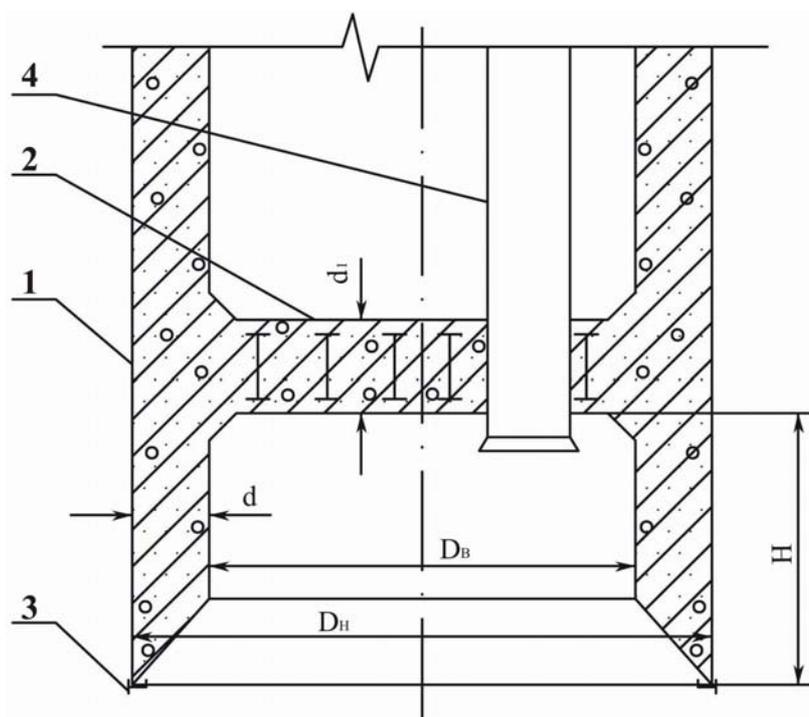


Рис.6.2. Конструктивные элементы рабочей камеры кессона.

- 1 - стены опускной крепи;
- 2 - потолок камеры;
- 3 - режущий башмак;
- 4 - шахтная труба.

Стены и потолок рабочей камеры выполняются из монолитного железобетона с двухрядным расположением арматуры. Бетон принимается марки не ниже 200 (обычно 250 - 300). Высота рабочей камеры H принимается не менее 2,2 м (обычно 2,2 - 3,5 м). Железобетонный режущий башмак в нижней части снабжен ножом, изготовленным из швеллерного или уголкового профиля.

Потолок рабочей камеры - очень важный конструктивный элемент. Он испытывает вертикальное давление от шахтных труб, шлюзовых аппаратов и возможного пригруза с одной стороны, а также избыточное давление сжатого воздуха - с другой. В связи с этим для большей прочности в потолок устанавливаются двутавровые балки N 36 - 55. Для пропуска

осветительного и телефонного кабелей, трубопроводов сжатого воздуха и водоотлива в потолке заделывают патрубки. Для уменьшения утечек сжатого воздуха стены и потолок внутри рабочей камеры тщательно оштукатуриваются и тρειςкратно окрашиваются. Для уменьшения трения крепи о горные породы наружные поверхности режущего башмака и кессона могут обшиваться строганными досками.

Шлюзовое оборудование состоит из:

- 1) шлюзового аппарата и
- 2) шахтных труб.

С помощью шлюзового оборудования обеспечивается связь между рабочей камерой и поверхностью земли.

ШЛЮЗОВОЙ АППАРАТ предназначен для шлюзования - постепенного повышения давления воздуха от атмосферного до рабочего; и вышлюзовывания - постепенного снижения давления от рабочего до атмосферного.

ШАХТНЫЕ ТРУБЫ служат для связи рабочей камеры со шлюзовым аппаратом. Стандартный диаметр - 1,4 м.

Шлюзовое оборудование позволяет осуществлять все операции проходческого цикла (уборка породы, спуск-подъем людей, материалов и т.д.) при сохранении рабочего давления сжатого воздуха в камере.

В практике проходки стволов под сжатым воздухом применялись шлюзовые аппараты конструкций Филиппова, Крылова, "Шахтспецстроя" и петербургских тоннелестроителей "Ленинградец" (с обогревом). Все эти аппараты характеризуются громоздкостью (вес до 90 т), низкой производительностью (ёмкость бады до 0,75 м³) и большим расходом сжатого воздуха (до 40 м³ сжатого воздуха на 1 м³ выданной породы в целике). В аппарате "Ленинградец" предусмотрены средства обогрева и утепления шлюзов для работы людей в зимнее время.

Для успешного ведения работ по проходке ствола под сжатым воздухом необходимо иметь хорошо оборудованную КОМПРЕССОРНУЮ СТАНЦИЮ. Станция должна состоять из двух типов компрессоров:

1. Компрессора низкого давления (до 0,4 МПа) для поддержания рабочего давления в камере и шлюзовых аппаратах.
2. Компрессора высокого давления (до 0,8 МПа) для пневматических машин и механизмов.

Также необходимо предусматривать установку не менее одного резервного компрессора производительностью не ниже наибольшей из работающих.

Кроме того, компрессорная станция должна иметь два независимых источника энергоснабжения.

Воздух, подаваемый в рабочую камеру, шлюзовой аппарат и лечебный шлюз, должен очищаться при помощи фильтров независимо от того, какой тип компрессора применяется. В качестве компрессоров низкого давления лучше применять поршневые, так как они обеспечивают более чистый воздух.

Необходимое количество компрессоров определяют расчётным путём, исходя из максимального расхода сжатого воздуха с учётом коэффициента резерва ($k=1,2 - 1,5$ при централизованном воздухообеспечении и $k=2$ для индивидуальных установок).

3. Технологические схемы и порядок производства работ при сооружении вертикальных выработок.

Проходка стволов под сжатым воздухом может осуществляться по двум технологическим схемам (рис.6.1):

1. **С подвижной рабочей камерой.** Применяется при небольших глубинах и небольших мощностях неустойчивых водоносных пород.
2. **С неподвижной рабочей камерой.** Применяется при любых условиях - универсальна.

При подвижной рабочей камере выемку породы ведут в камере, а постоянную крепь возводят за её пределами при нормальном атмосферном давлении со специально сооружаемых полков.

Разрушение породы производится отбойными молотками, пневмомолотами. Допускается применение БВР со строгим соблюдением ЕПБ (количество одновременно взрывааемых шпуров - до 8, заряды шпуров должны быть рассчитаны только лишь на рыхление породы; взрывные работы запрещаются, если выше остаётся напорный плавун). Породу вынимают слоями мощностью 0,3 - 0,5 м в направлении от центра ствола к периферии. Около режущего башмака оставляется в виде бермы кольцевой уступ шириной 0,4 - 0,5 м. Затем равномерно начинают выбирать породу в уступе. С уменьшением объёма породы в уступе кессон, раздавливая его, опускается. Погруз-

ка породы осуществляется вручную в бадьи. Можно применять породопогрузочные машины ковшевого типа для горизонтальных выработок.

Стены крепи кессона наращивают монолитным или сборным железобетоном, реже - чугунными тубингами, в направлении снизу вверх.

Кессон будет опускаться при выполнении следующего условия:

$$G > T + R + pS, \text{ т}$$

где

G - масса кессона и шлюзового оборудования, смонтированного на нём, т;

T - силы трения боковой поверхности опускной крепи о горную породу, т;

R - реакция отпора внедрению режущего башмака, т;

p - величина избыточного давления сжатого воздуха в рабочей камере, т/м²;

S - площадь потолка рабочей камеры, м².

В начале работ опускание крепи происходит равномерно по мере выемки породы. С увеличением глубины (более 5 м) процесс погружения крепи становится затруднительным. Для обеспечения дальнейшего опускания крепи или искусственно увеличивают её вес за счёт заполнения водой (песком) пространства над потолком рабочей камеры, или прибегают к форсированной посадке крепи (временный выпуск сжатого воздуха из рабочей камеры без присутствия людей в ней).

Если указанные мероприятия не обеспечивают опускание крепи на полную глубину, то с некоторой глубины дальнейшую проходку ствола осуществляют по схеме с неподвижной рабочей камерой.

В этом случае и выемка породы, и возведение постоянной крепи производятся в зоне повышенного давления. Кессон и шлюзовой аппарат неподвижны, а крепь по мере выемки породы наращивают в рабочей камере непосредственно у забоя в направлении сверху вниз.

Разрушение породы производится отбойными молотками, пневмомолотами, БВР; погрузка породы - пневмогрузчиками с ручным вождением грейфера. Отставание потолка от забоя допускается до 40 м. А если требуется большая глубина, то потолок следует переносить. Величина заходки по возведению постоянной крепи 1,5 - 2 м. Материал крепи - бетон, железобетон, чугунные тубинги.

Водоотлив при проходке стволов под сжатым воздухом применяют только в тех случаях, когда вода из пород, примыкающих к забою, отжимается не полностью.

По любой технологической схеме после пересечения кессоном неустойчивых обводнённых пород под режущим башмаком возводят опорный венец, демонтируют шлюзовое оборудование и разбирают потолок рабочей камеры. Дальнейшую проходку ствола ведут по обычной технологии.

4. Особенности при строительстве горизонтальных горных выработок под сжатым воздухом.

Проведение горизонтальных выработок под сжатым воздухом получило распространение в основном в практике строительства тоннелей различного назначения. Это связано с тем, что зачастую такие тоннели проводят в сложных горно-геологических условиях в недоступных с поверхности местах: под ж/д путями, городскими парками, стадионами, водными преградами и т.д.

Для проведения тоннеля под сжатым воздухом в нём на расстоянии 40 - 50 м от забоя возводят воздухонепроницаемые перегородки, которые разделяют тоннель на две зоны:

- 1) рабочую зону и
- 2) зону нормального атмосферного давления.

В рабочей зоне создают повышенное по сравнению с атмосферным давление воздуха, под действием которого вода в забое тоннеля отжимается, и создаются благоприятные условия для проходки.

Шлюзовая камера предназначена для того, чтобы отделить рабочую зону от зоны нормального давления и обеспечить между ними производственную связь. Шлюзовая камера состоит из шлюзов и воздухонепроницаемых перегородок. В зависимости от диаметра тоннеля шлюзы в камере располагают (рис.6.3):

- 1) **параллельно** при $D_{св} > 5$ м или
- 2) **последовательно** при $D_{св}$ до 5 м. В этом случае участок тоннеля разделяется на отсеки тремя воздухонепроницаемыми перегородками с дверями.

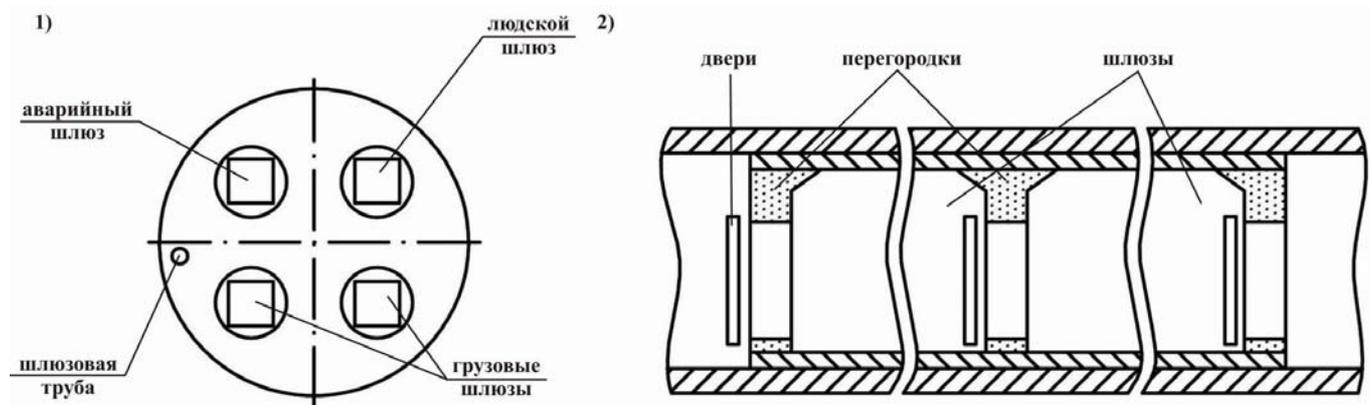


Рис.6.3. Схема расположения шлюзов при проведении тоннеля под сжатым воздухом.

Шлюзовые перегородки изготавливают из металла, монолитного железобетона или бетона. Перспективным направлением представляется использование стальных сборно-разборных инвентарных шлюзовых перегородок, которые можно быстро переносить из одного места в другое по мере подвигания забоя выработки, уменьшая тем самым потери сжатого воздуха.

Диаметр шлюзов обычно принимают 2 м. Длину грузовых шлюзов определяют с учётом пропуска состава из 3-4 вагонеток, а людских - из условия размещения рабочих и технического персонала всей смены на скамьях с обеих сторон внутри шлюза из расчёта 0,4 м скамьи на человека. Аварийный шлюз должен иметь такую длину, чтобы в нём можно было разместить стоя весь работающий персонал. Для подачи в рабочую зону длинномерных материалов в перегородке предусматривают шлюз-трубу диаметром 0,25-0,5 м. Освещение шлюзов электрическое (36 В) с двойным независимым питанием.

Технология и порядок работы при проведении выработок под сжатым воздухом аналогичны технологии и порядку работ при щитовой технологии их сооружения.

5. Нормы промышленной санитарии при работе в зоне повышенного давления.

Во время нахождения людей в зоне сжатого воздуха, особенно при больших давлениях (более 0,15 МПа), мышцы, кровь и слизистая оболочка человека поглощают из воздуха вместе с кислородом азот. Азот усваивается организмом, а при резком уменьшении давления начинает выделяться в тканях и сосудах тела в виде пузырьков, что может привести к кессонной болезни. Она проявляется в резком покраснении некоторых участков тела, сильных болях в суставах, голове, ушах; продолжается несколько часов.

Вредного влияния сжатого воздуха на организм человека можно избежать при строгом соблюдении условий санитарного режима. В первую очередь, при входе в рабочую камеру и выходе из неё переход от одного давления к другому должен осуществляться постепенно с тем, чтобы процессы поглощения и выделения азота организмом происходили плавно, без выделения пузырьков.

В случае заболевания кессонной болезнью больных помещают в барокамеры или лечебный шлюз, в которых давление воздуха опять поднимается до рабочего. В результате этого газовые пузырьки сокращаются в объёме, создавая возможность нормальной циркуляции крови. Снижение давления в лечебном шлюзе производится крайне медленно с тем, чтобы не возникали новые пузырьки.

Вредное влияние сжатого воздуха на организм человека можно исключить при условии строгого соблюдения требований **санитарно-гигиенического режима**:

1. В воздухе должно содержаться кислорода не менее 20% , а углекислого газа - не более 0,1% по объёму.
2. Норма расхода воздуха на 1 человека - 25 м³/час.
3. Температура воздуха в рабочей камере должна быть в пределах - +12...+22°С.

Продолжительность рабочего дня в зависимости от величины давления сжатого воздуха колеблется от 2,4 до 5,5 часов. Рабочий день проходчиков делят на две полусмены с интервалом между ними 9-10 часов. Например, при давлении в рабочей зоне 0,2 МПа время пребывания в ней составляет 3 часа + 9 мин. на шлюзование (вход) + 51 мин. на вышлюзовывание (выход). Итого - 4 часа (смена).

Как показала многолетняя практика проходки тоннелей различного назначения под сжатым воздухом при хорошо организованном медицинском и санитарно-гигиеническом обслуживании, а также при строгом соблюдении правил безопасности, полностью обеспечиваются сохранение здоровья и нормальная трудоспособность проходчиков.

6. Расчёт количества сжатого воздуха, подаваемого в рабочую камеру.

Расчёт геометрических параметров крепи и условий её опускания производится аналогично расчёту обычной опускной крепи.

Расчёт необходимого количества сжатого воздуха производится по трём факторам:

- 1) по санитарно-гигиеническим требованиям;
- 2) по производственно-техническим условиям;
- 3) по минимальному времени для заполнения всей системы сжатым воздухом.

1. *Расчёт расхода сжатого воздуха по санитарно-гигиеническим требованиям.*

По этому фактору расход сжатого воздуха определяется исходя из нормы - 25м³/час на 1 человека:

а) при работе в песчаных породах и давлении в камере $P \leq 0,15$ МПа

$$V_1 = 25 \cdot A \cdot \left(1 + \frac{H}{10,33}\right), \text{ м}^3/\text{час},$$

где

H - глубина опускания кессона (гидростатический напор);

A - максимально возможное количество рабочих, находящихся в рабочей камере.

$$A = \frac{S}{(4...5)}, \text{ чел.},$$

где

S - площадь поперечного сечения рабочей камеры в свету, м²;

4...5 м² - норма площади забоя на 1 человека;

б) при работе в глинистых породах и давлении в камере $P > 0,15$ МПа

$$V_1 = (25 \cdot A + S) \cdot \left(1 + 0,42 \cdot \frac{H}{10,33}\right), \text{ м}^3/\text{час}.$$

2. *Расчёт расхода сжатого воздуха по производственно-техническим условиям (по потерям сжатого воздуха).*

Утечки воздуха происходят через стены и потолок камеры, шлюзовые аппараты, шахтную трубу и т.д.

а) для песчаных пород:

- при $S_{св} > 30$ м²

$$V_2 = 1,01 \cdot (a \cdot F + b \cdot U) \cdot \left(1 + \frac{H}{10,33}\right), \text{ м}^3/\text{час};$$

- при $S_{св} \leq 30$ м²

$$V_2 = (a \cdot F + b \cdot U + 3 \cdot N) \cdot \left(1 + \frac{H}{10,33}\right), \text{ м}^3/\text{час};$$

б) для глинистых пород:

- при $S_{св} > 30$ м²

$$V_2 = 1,01 \cdot a \cdot F \cdot \left(1 + 0,42 \cdot \frac{H}{10,33}\right), \text{ м}^3/\text{час};$$

- при $S_{св} \leq 30$ м²

$$V_2 = (a \cdot F + 3 \cdot N) \cdot \left(1 + 0,42 \cdot \frac{H}{10,33}\right), \text{ м}^3/\text{час},$$

где

a - удельные утечки сжатого воздуха через стены и потолок камеры (через 1 м² поверхности за 1 час), м³/час;

F - площадь внутренней поверхности стен и потолка рабочей камеры, м²;

b - удельные утечки сжатого воздуха через 1 м периметра ножа режущего башмака, м³/час;

U - периметр ножа режущего башмака, м; $U = \pi D_n$;

N - количество шлюзовых аппаратов;

H - наибольшая глубина опускания рабочей камеры; $H = h + (2...3)$, м;

$l, 0l$ - коэффициент общих потерь сжатого воздуха во всей системе.

3. *Расчёт расхода сжатого воздуха по минимальному времени для заполнения всей системы.*

Минимальное время для заполнения всей системы сжатым воздухом установлено в интервале $t_{min} = 0,5...1$ час.

Объём всей системы определяется следующим образом:

$$W_o = (W_k + W_m) \cdot \left(1 + \frac{H}{10,33}\right) + (W_a + W_B) \cdot \frac{H}{10,33}, \text{ м}^3,$$

где

W_o, W_k, W_m, W_a, W_B - объём соответственно всей системы, рабочей камеры, шахтной трубы, шлюзового аппарата и воздухопровода на поверхности и в стволе, м³.

Тогда расход сжатого воздуха по этому фактору определится так:

$$V_3 = \frac{W_o}{t_{min}}, \text{ м}^3/\text{час}.$$

Из трёх полученных значений V_1, V_2, V_3 принимается наибольшее. Потребная производительность компрессорной станции определяется по формуле:

$$Q = (1,3...1,5) \cdot \frac{V_{max}}{60}, \text{ м}^3/\text{мин}.$$

Расчёт расхода сжатого воздуха при ведении работ в неподвижной рабочей камере.

Производится по следующей эмпирической формуле:

$$V = 0,013 \cdot (1 + a_1 \cdot p_1) \cdot h_1 \cdot D_{св}^2, \text{ м}^3/\text{мин}.,$$

где

a_1 - коэффициент воздухопроницаемости пород (из таблиц, например: $a_1 = 0,5$ для плотных глин, $a_1 = 2$ для пористых пород);

p_1 - максимальное расчётное давление сжатого воздуха, требуемое для отжатия воды, атм.;

h_1 - максимальная высота рабочей камеры, м (до 40 м);

$D_{св}$ - диаметр рабочей камеры в свету, м.

Производительность компрессорной станции в этом случае определяется по формуле:

$$Q = (1,1...1,3) \cdot V, \text{ м}^3/\text{мин} \quad \text{или} \quad Q = 6 \cdot W, \text{ м}^3/\text{час},$$

где

W - объём рабочей камеры, м³.

На практике Q принимается не менее 10 м³/мин.

Тема 7. СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДОПОНИЖЕНИЯ.

2 ЧАСА

ПЛАН.

1. Сущность способа и область применения.
2. Виды скважин для водопонижения.
3. Оборудование для водопонижения.
4. Порядок производства работ по водопонижению.

Л.1, с.46-76,
Л.5, с.53-61.

1. Сущность способа и область применения.

Водопонижение применяют для временного (на период строительства) снижения гидростатических напоров (уровней) подземных вод с целью создания более благоприятных и безопасных условий ведения горнопроходческих работ.

Сущность способа водопонижения заключается в том, что на некотором расстоянии от контура вокруг будущей горной выработки бурится система водопонижительных скважин, из которых постоянно откачивают воду (рис.7.1). В результате возникновения устойчивой депрессионной воронки уровень подземных вод в месте строительства понижается, породы осушаются, изменяя свои физические свойства. Под этой постоянно действующей защитой ведутся горнопроходческие работы в относительно благоприятных условиях.

Производство водопонижительных работ приводит к изменению не только физических свойств пород, но и оказывает существенное влияние на их состояние и поведение в окружающем пространстве. Осушение приводит к уплотнению и увеличению прочностных характеристик пород, а вследствие этого к увеличению давления пород на подземные горные выработки и к деформации поверхности. Это необходимо учитывать при размещении оборудования вокруг будущего ствола.

Область применения способа искусственного водопонижения: при проходке выработок по рыхлым, неустойчивым, несвязанным породам (гравий, галька, крупно- и среднезернистые пески) и по устойчивым скальным обводненным породам с коэффициентом фильтрации не менее 2 м/сутки.

В породах, плохо отдающих воду (с малыми коэффициентами фильтрации), способ водопонижения малоэффективен, так как осушение таких пород протекает крайне медленно.

В зависимости от глубины обработки водоносных пород различают мелкое и глубокое водопонижение.

Мелкое водопонижение осуществляется на глубины до 7 м

- забивными фильтрами;
- легкими иглофильтровыми установками (ЛИУ);
- эжекторными иглофильтровыми установками (ЭИ);
- установками вакуумного водопонижения (УВВ).

Глубокое водопонижение осуществляется на глубины свыше 7 м при помощи специальных скважин для водопонижения и мощных насосов.

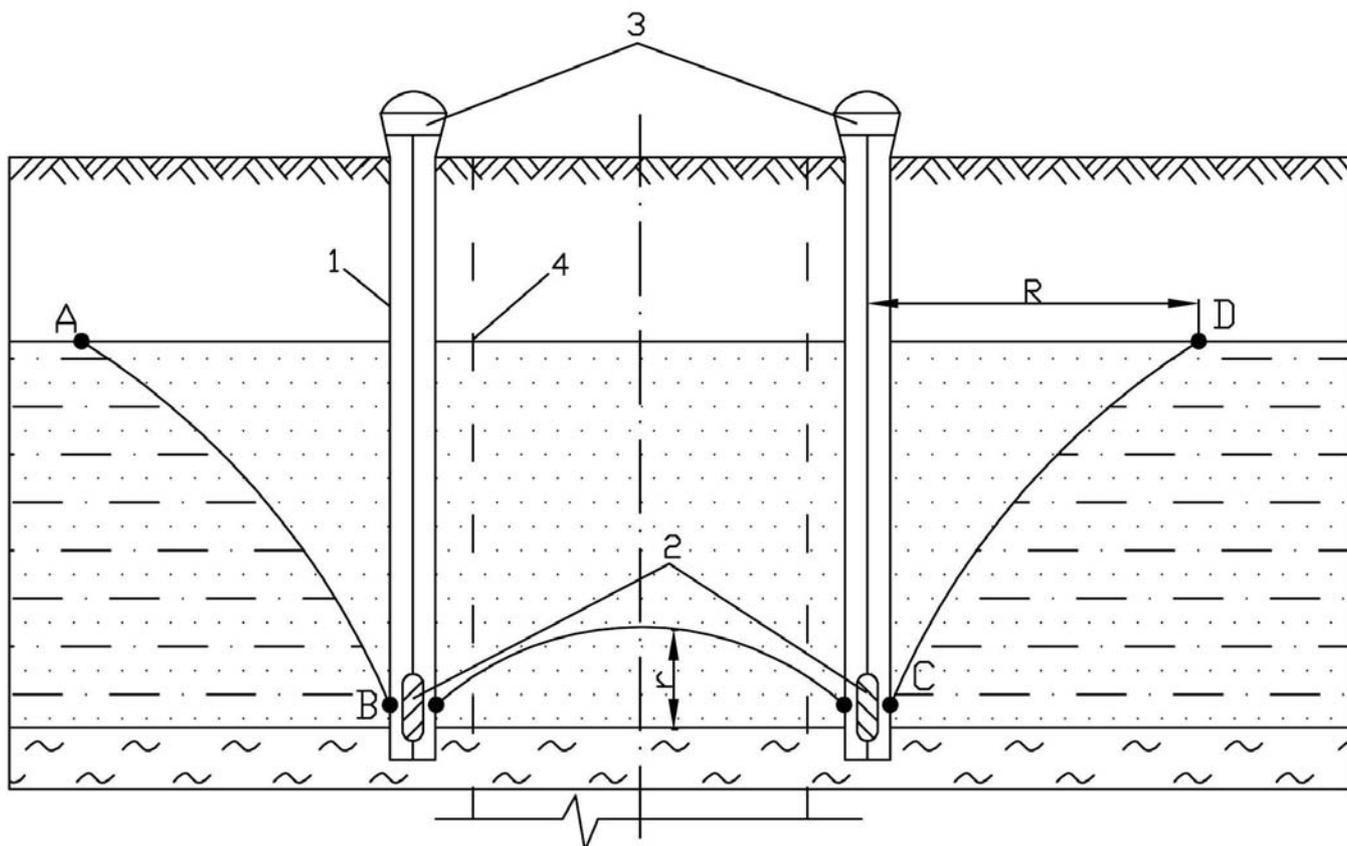


Рис.7.1. Принципиальная схема водопонижения.

- 1 - водопонижающие скважины;
- 2 - фильтры;
- 3 - артезианские турбинные насосы (АТН);
- 4 - контур будущего ствола;
- ABCD - депрессионная воронка;
- R - радиус влияния водопонижающей скважины;
- г - мощность неосушенных пород.

Преимущества способа искусственного водопонижения:

- 1) не требуется большого количества материалов;
- 2) дренажный эффект достигается в относительно короткие сроки;

Недостатки способа искусственного водопонижения:

- 1) наличие неосушенных пород на контактах с водоупорами (рис.7.1);
- 2) наличие в откачиваемой воде взвешенных частиц породы и газов приводит к засорению фильтров и износу насосного оборудования;
- 3) вынос породных частиц с откачиваемой водой может привести к образованию пустот за крепью выработки с последующим их обрушением.

Горная выработка или ее участок, сооруженные при помощи способа искусственного водопонижения, должны быть закреплены водонепроницаемой крепью (лучше всего металлической). В противном случае при эксплуатации выработки будут иметь место значительные водопритоки в результате фильтрации подземных вод через крепь.

Предварительное понижение уровня подземных вод в странах СНГ с успехом применялось при проходке вертикальных шахтных стволов в Подмосковном, Кузнецком, Карагандинском угольных бассейнах, в районе КМА, на Ленских золотых

приисках, при строительстве метрополитенов, гидротехнических сооружений, глубоких котлованов под основания плотин.

2. Виды скважин для водопонижения.

Водопонижительные установки из системы отдельных скважин применяют в виде:

- 1) самоизливающихся скважин различного наклона;
- 2) водопонижающих скважин;
- 3) водопоглощающих скважин;
- 4) сквозных фильтров.

Самоизливающиеся скважины применяют для снятия избыточного давления в напорных водоносных горизонтах, а также для глубокого водопонижения (горизонтальные скважины на откосах открытых котлованов, восстающие скважины из подземных выработок).

Также самоизливающиеся скважины могут быть использованы в качестве резервного мероприятия для снятия напора, когда в системе водопонижительных скважин случаются аварийные перерывы в работе насосов.

Водопонижающими называются скважины, предназначенные для откачки воды из водоносных горизонтов на земную поверхность при помощи глубинных насосов. Их конструкция зависит от количества дренируемых горизонтов, ожидаемого водопритока, размеров помещаемого в скважину оборудования (фильтров, насосов).

При незначительных глубине и дебите скважины её диаметр принимают в пределах 100-200 мм (конечный диаметр должен быть как минимум 90 мм для возможности периодической чистки скважины). При больших дебитах и использовании артезианских насосов начальный диаметр скважины обычно составляет 300-750 мм, а конечный 100-350 мм в зависимости от типа оборудования.

Устье скважины обязательно закрепляется кондуктором, а участки неустойчивых пород - обсадными трубами (металлические, пластмассовые, асбоцементные). Водоносные породы, не подлежащие осушению, должны быть изолированы от других колонной обсадных труб с затрубной цементацией.

На участках, подлежащих дренированию, в скважинах устанавливают перфорированные трубы, конструкция которых зависит от характера водосодержащих пород.

Для контроля за процессом понижения уровня подземных вод на каждый из осушаемых горизонтов выполняют **НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ СКВАЖИНЫ**, конструкция которых должна предусматривать изоляцию всех вышерасположенных водоносных горизонтов (выше наблюдаемого). Динамический уровень воды в скважинах определяют при помощи электроуровнемеров, опускаемых на калиброванном проводе.

Водопоглощающие скважины (рис.7.2) предназначены для спуска воды из забоя ствола или другой выработки в залегающий ниже слой горных пород (пески, известняки, песчаники), имеющий более высокие фильтрационные свойства. K_{ϕ} поглощающих пород должен быть как минимум в 2 раза выше K_{ϕ} вышележащих водоносных пород ИЛИ должна быть значительной разница пьезометрических уровней обоих пластов. Минимальный диаметр водопоглощающей скважины - 108 мм для возможности её периодической чистки.

Нельзя спускать воду на горизонт, являющийся источником питьевого водоснабжения.

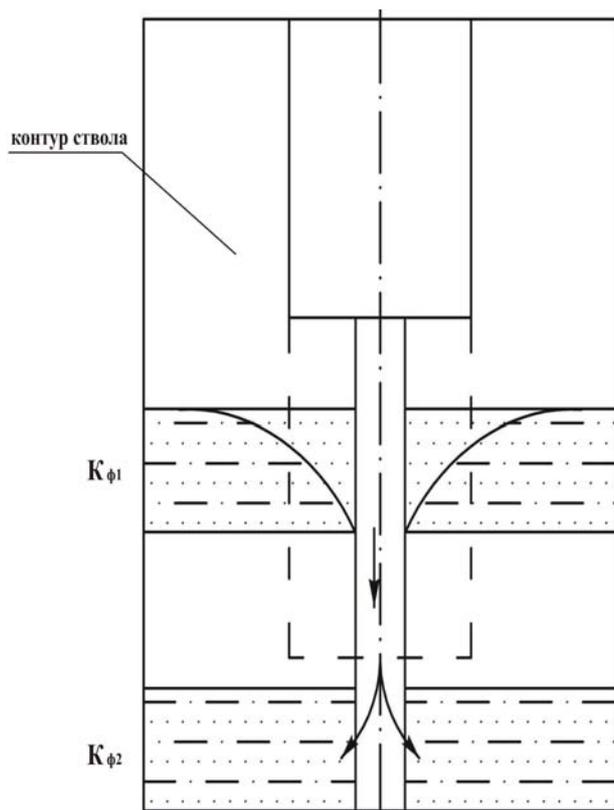


Рис.7.2. Водопоглощающая скважина

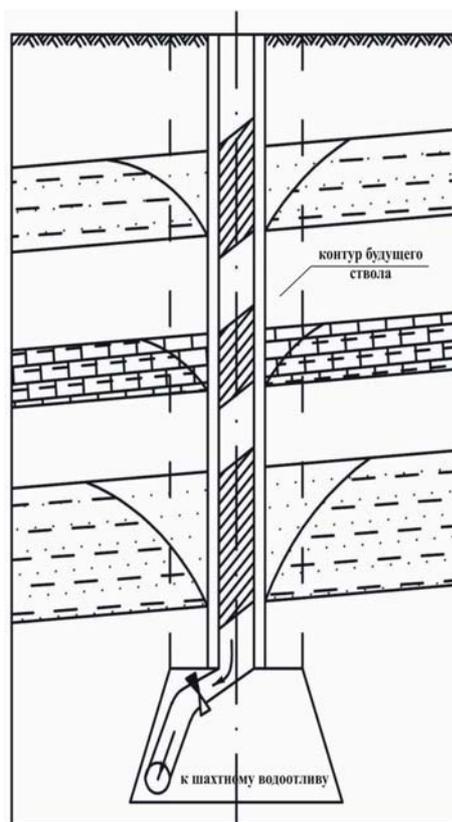


Рис.7.3. Сквозной фильтр

Сквозные фильтры - это скважины, пробуренные с поверхности земли до кровли горной выработки и оборудованные фильтровыми устройствами в зоне осушаемых пород (рис.6.3). Вода проникает через фильтр в скважину, а оттуда сбрасывается в подземную горную выработку. Дебит скважины может достигать до 200 м³/час. Устье скважины закрывают герметически, нижняя часть оборудуется краном (задвижкой).

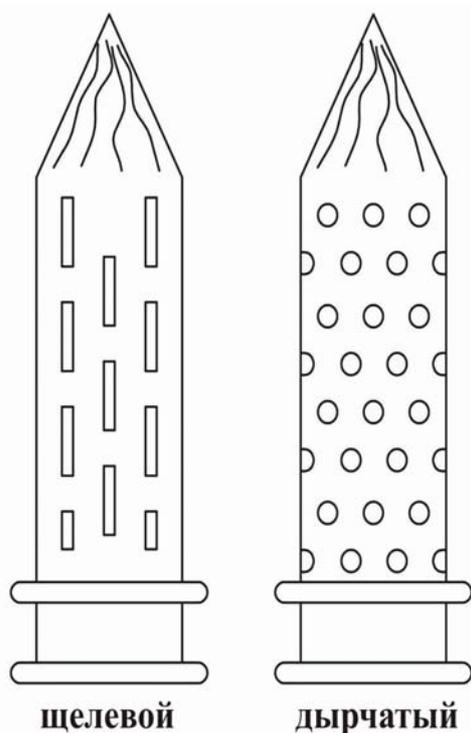
3. Оборудование для водопонижения.

Для мелкого водопонижения используется следующее оборудование:

ЗАБИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ применяют для осушения водоносных горных пород, расположенных на небольшом расстоянии от кровли проводимой выработки. Из фильтров (рис.7.4) вода поступает в выработку самотёком. Забивной фильтр представляет собой металлическую трубу диаметром 25-63 мм, конец которой на протяжении 0,7-3 м перфорирован отверстиями диаметром 1,5-4 мм. Длина фильтра - 3-8 м (редко до 12-20 м). При небольшой длине фильтра его забивают непосредственно в осушаемый пласт. Длинные фильтры устанавливают в предварительно пробуренных скважинах.

ЛЕГКИЕ ИГЛОФИЛЬТРОВЫЕ УСТАНОВКИ (ЛИУ) применяют для понижения уровня подземных вод в рыхлых неслоистых породах с $K_{\phi} > 1$ м/сутки. Сам иглофильтр представляет собой перфорированный патрубок с шаровым клапаном

(рис.7.5), который подключается к насосному агрегату для откачки воды из водоносных пород.



щелевой дырчатый

Рис.7.4. Забивной фильтр

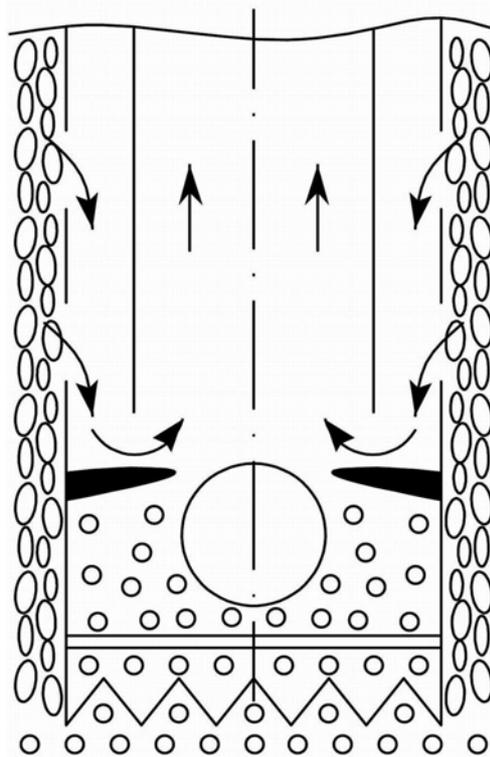


Рис.7.5. Иглофильтр

ЭЖЕКТОРНЫЕ ИГЛОФИЛЬТРОВЫЕ УСТАНОВКИ (ЭИ) используются для вакуумирования грунтов при близком залегании водоупора от сооружаемого объекта. Откачиваемая вода в эжекторных иглофильтрах поднимается с помощью водоструйных насосов (эжекторов). В основу работы этих насосов положен принцип непосредственной передачи энергии одним потоком другому, реализация которого осуществляется непосредственно в иглофильтре.

УСТАНОВКИ ВАКУУМНОГО ВОДОПониЖЕНИЯ (УВВ) применяют для водопонижения в мелкозернистых пылеватых и глинистых песках, супесях, лёгких суглинках, илах и лёссах, плохо поддающихся осушению обычными установками ЛИУ.

Для глубокого водопонижения используется следующее оборудование:

1. Буровое оборудование.
2. Фильтры.
3. Насосное оборудование.

БУРЕНИЕ водопонижающих скважин осуществляется установками ударно-канатного, роторного или колонкового бурения. Пробуренная скважина должна быть выдержана строго по заданному направлению, её конечный диаметр должен обеспечивать возможность размещения фильтра и насоса.

ФИЛЬТРЫ, устанавливаемые в скважине, предназначены для пропуска воды без механических примесей и предохранения стенок скважины от обрушения. Вынос механических примесей с водой приводит к интенсивному износу насосного оборудования и преждевременному заиливанию скважины. Фильтры должны быть прочными, лёгкими, недорогими, простыми по конструкции и стойкими к коррозии.

Существует около 200 видов фильтров (рис.7.6).

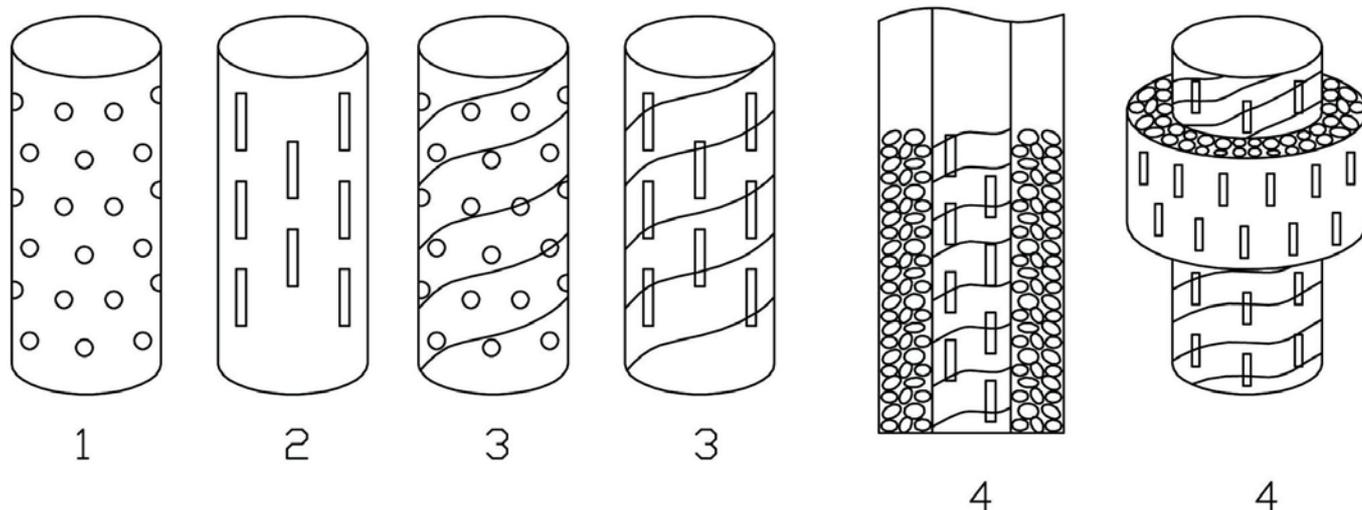


Рис.7.6. Виды фильтров для водопонижения

Дырчатые (1) фильтры представляют собой звенья металлических или пластмассовых труб, перфорированных круглыми отверстиями диаметром до 15 мм. Применяются в гравелистых породах, крупнозернистых песках, а также в трещиноватых, легко обрушающихся породах.

Щелевые (2) фильтры - это отрезки труб, перфорированные в шахматном порядке продольными щелями шириной до 5 мм и длиной до 250 мм. Применяются в крупнозернистых (реже в средне- и мелкозернистых песках).

Сетчатые (3) фильтры представляют собой перфорированные трубы, на которых по спирали намотана проволока, а сверху имеется фильтрующая латунная, медная или стекловолоконная сетка. Применяются чаще всего в гидронаблюдательных скважинах, часто засоряются.

Гравийные (4) фильтры представляют собой сочетание двух перфорированных щелями и соединённых между собой фланцами отрезков труб разного диаметра, пространство между которыми засыпано гравием. Могут быть выполнены в виде сетчатого фильтра, пространство между которым и стенками скважины заполняется мелким гравием. Применяются в средне- и мелкозернистых породах.

НАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Для откачки воды из скважин с целью понижения уровня подземных вод в настоящее время широко применяют *эрлифтные водоподъёмные установки, гидроэлеваторы и глубинные насосы.*

Эрлифты и гидроэлеваторы просты в конструкции, не имеют движущихся частей, качают воду, содержащую много примесей (до 3% песка), но характеризуются очень низким К.П.Д. (20%) и высокой стоимостью откачки. Поэтому их применяют только в случае, когда с водой выносятся много песка, и нет опасности образования подземных пустот.

Глубинные насосные установки бывают двух типов:

1. **АРТЕЗИАНСКИЕ ТУРБИННЫЕ НАСОСЫ** типа АТН (электродвигатель такого насоса расположен на поверхности земли над устьем скважины).

Применяются для откачки воды из скважин глубиной до 100 м при дебите более 15-20 м³/час. Недостаток: высокая чувствительность к кривизне скважины (через всю скважину идёт трансмиссионный вал), большая масса, стоимость.

2. **ПОГРУЖНЫЕ НАСОСЫ** типа ЭЦВ и ЭПН (электродвигатель погружен вместе с насосом в скважину ниже динамического уровня воды). Применяются для откачки воды из скважин глубиной до 250 м с подачей 4-100 м³/ч. Эти насосы невелики по массе, стоимости, удобны в эксплуатации, монтаже, демонтаже, не зависят от кривизны скважины. В настоящее время получили широкое распространение.

4. Порядок производства работ по водопонижению.

Основные этапы работ при сооружении горных выработок с применением способа искусственного водопонижения с помощью скважин следующие:

1. Бурение водопонижающих скважин в заданном контуре.
2. Удаление бурового шлама из скважин путём интенсивной откачки воды при помощи буровых промывочных насосов до полного её осветления.
3. Проверка состояния скважин (глубин, диаметров, уровней подземных вод) и оборудования (насосов, кабелей).
4. Установка фильтров в скважинах.
5. Спуск насосов и водоподъёмных труб в скважины.
6. Откачка воды с постоянным контролем (в наблюдательной скважине) и периодическими замерами дебита и уровня подземных вод.
7. Сооружение выработки (ствола или др.) в условиях, близких к обычным, по осушенным породам.
8. Демонтаж всего оборудования по окончании всех горнопроходческих работ.

Во время выемки породы и возведения постоянной крепи насосные установки должны работать непрерывно. Для этого следует предусматривать наличие двух независимых источников энергоснабжения и достаточное количество резервных насосов для своевременной замены отказавших.

После проходки и крепления выработки должна быть выполнена последующая цементация водовмещающих пород (если породы трещиноватые) или должна быть применена водоизоляционная постоянная крепь для обеспечения остаточного водопритока в выработку в пределах норм СНиПа.

Для увеличения дебита водопонижающей скважины применяют следующие методы:

1. *Торпедирование* - взрывание заряда ВВ на забое или в заданном интервале глубины скважины с целью разуплотнения породы для повышения её водоотдачи (рис.7.7).
2. *Соляно-кислотная обработка карбонатных пород* заключается в нагнетании и промывке пород 20%-ным раствором соляной кислоты, в результате чего происходит химическая реакция с увеличением пор и трещин в породах, что, в свою очередь, приводит к увеличению притока.

Зачастую вследствие кольматации буровым шламом или глинистыми частицами прискважинной зоны либо вследствие загрязнения фильтра падает дебит водопонижающей скважины. Существует несколько **методов очистки фильтра и прискважинной зоны:**

1. *Свабирование* - резкое поднятие сваба (конструкция подобна поршню), находящегося в воде выше фильтра. Вода под действием образовавшегося разрежения с большой скоростью устремляется в скважину, промывая и очищая фильтр и прифилтровую зону (рис.7.8).

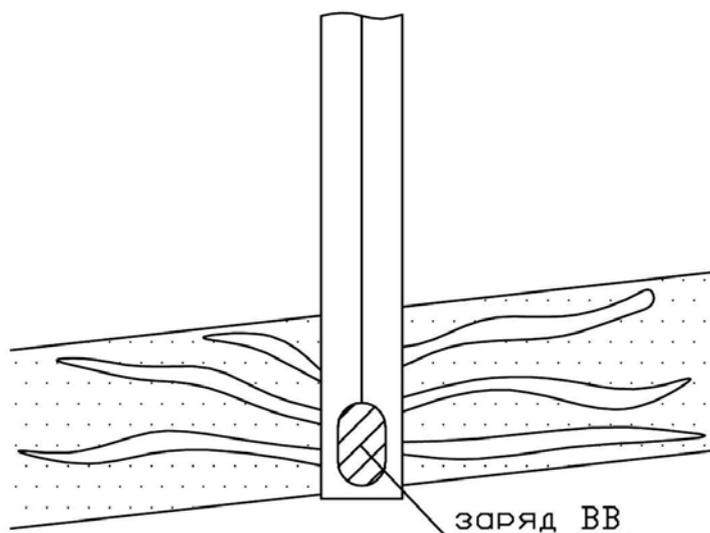


Рис.7.7. Торпедирование массива

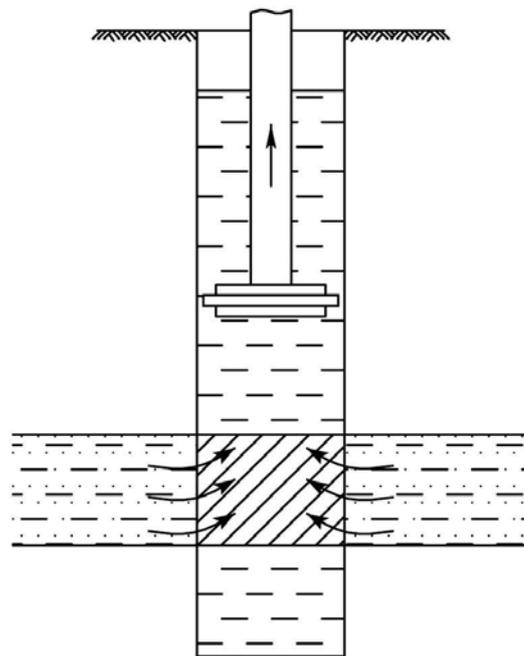


Рис.7.8. Свабирование

2. *Вакуумирование* - эффект, аналогичный свабированию.

Герметизируется устье скважины, подсоединяется вакуум-насос, и в скважине создается разрежение. Достаточная периодичность обработки скважин вакуумированием - 1 раз в 15-20 суток.

3. *Гидравлический удар* - в скважину сбрасывают груз (сваб).

Воздействие ударной волны о зеркало воды равномерно распространяется по всем направлениям, в том числе оказывается воздействие и на внутренние стенки фильтра, которые в результате этого очищаются от частиц песка и глины.

Тема 8. СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД.

14 ЧАСОВ

8.1. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПОСОБА ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД.

2 ЧАСА

ПЛАН.

1. Сущность способа и условия применения.
2. Краткое описание способа.
3. Теория механики мёрзлых пород.
4. Физико-механические свойства замороженных пород.

Л.1, с.88-90,107-113,
Л.5, с.62-70.

1. Сущность способа и условия применения.

Способ замораживания применяют при строительстве подземных сооружений в слабых, неустойчивых водоносных горных породах. Наличие воды в породах - обязательное условие применения способа.

Замораживание водоносных пород может осуществляться с использованием естественного холода окружающей среды (естественное замораживание) или искусственного холода, производимого специальными холодильными машинами (искусственное замораживание).

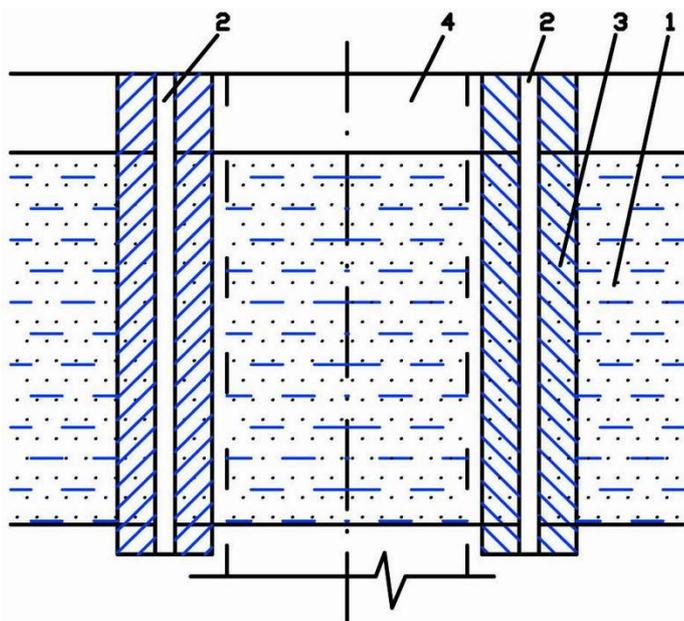
Естественное замораживание использовалось ранее (в золото-платиновой промышленности в Сибири в XIX веке при проходке стволов разведочных шахт). Сейчас используется в ограниченном объёме только в северо-восточных районах России при проходке шурфов на золото и устьев вертикальных стволов.

В практике сооружения горных выработок по слабым, рыхлым, плавучим, водоносным породам получило широкое распространение искусственное замораживание.

Сущность способа искусственного замораживания состоит в том, что в толще водоносных неустойчивых пород по периметру будущей горной выработки создаётся лёдопородное ограждение, которое выполняет роль временной водонепроницаемой крепи, защищающей выработку при проходке от проникновения в неё воды или пльвуна. Под защитой этого ограждения, обеспечивающего безопасные условия производства горнопроходческих работ, производятся выемка породы и возведение постоянной крепи. Лёдопородное ограждение поддерживают в замороженном состоянии до тех пор, пока не будет закончено строительство подземного сооружения. После возведения постоянной крепи и проведения гидроизоляционных работ лёдопородное ограждение ликвидируется (оттаивается) (рис.8.1.1).

Область применения способа.

Способ искусственного замораживания горных пород является универсальным специальным способом строительства горных выработок. Его можно применять практически в любых сложных горно- и гидрогеологических условиях с получением хороших результатов.



Обозначения:

- 1 - водоносные породы;
- 2 - замораживающие скважины;
- 3 - ледопородное ограждение;
- 4 - проектный контур выработки.

Замораживание горных пород трудно протекает в случае термических, сильно засоленных подземных вод или быстрых подземных потоков. В этих случаях следует применять глубинное замораживание с $t_{\text{зам.}} = -35-55$ град. Если скорость подземного потока $V > 80$ м/сутки, то замораживание применить уже практически нельзя.

Учитывая то, что способ искусственного замораживания водоносных горных пород является наиболее дорогостоящим, всегда следует вначале изыскивать возможность применить другой, более дешевый специальный способ, если позволяют условия. Например, в случае рыхлых неустойчивых пород мощностью менее 10 м и с гидростатическим напором менее 0,2 МПа достаточно эффективны будут рассмотренные ранее ограждающие способы, а в случае трещиноватых водоносных пород хорошие результаты можно получить, применив предварительное тампонирующее.

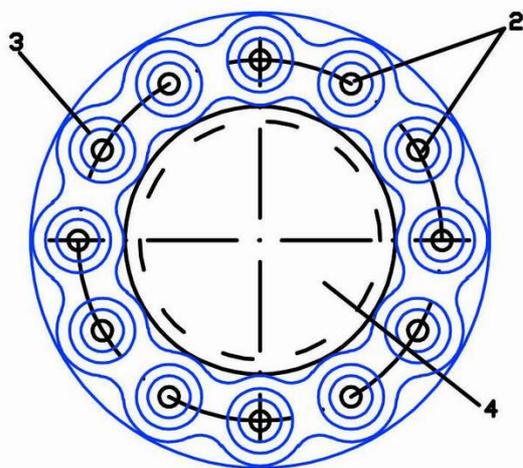


Рис.8.1.1. Схема искусственного замораживания горных пород.

К недостаткам способа искусственного замораживания можно отнести:

1. Весьма значительные первоначальные капитальные затраты.
2. Сложность выполнения всех видов работ и, как следствие, повышенные требования к квалификации ИТР, рабочих и всего персонала.
3. Высокая стоимость работ и материалов (особенно постоянной крепи - чугунной тубинговой крепи - 1т стоит 750 \$).

Способ искусственного замораживания в мировой практике применяют с 1883 года (Швеция - Пётч). В СССР впервые был применён в 1928 году при проходке одного из стволов Соликамского калийного комбината. С тех пор область его применения значительно расширилась. В настоящее время способ замораживания водоносных пород является наряду с тампонирующим основным при строительстве подземных сооружений в сложных и весьма сложных горно-геологических условиях. Его применяют во всех случаях, когда другие специальные способы неэффективны или технически их применить невозможно. Благодаря своей универсальности

способ замораживания с успехом применяется при сооружении горных выработок как в трещиноватых, так и в пористых, рыхлых водоносных породах. Замораживание может вестись практически на любые глубины. С его помощью можно замораживать массивы горных пород как ограниченной формы, так и на больших площадях.

Широкое распространение способ замораживания получил в горнорудной промышленности. Ежегодно ещё совсем недавно с его помощью проходили около 2,5 км вертикальных стволов. Применяют его и в метростроении (около 100 эскалаторных тоннелей общей протяженностью свыше 5 км построено при помощи замораживания). Также данный способ широко распространён в гидротехническом, промышленном строительстве, при сооружении тоннелей различного назначения в неустойчивых породах, подземных ёмкостей для хранения углеводородных газов при постоянном поддержании стенок хранилищ в замороженном состоянии и в некоторых других областях строительства.

Способ замораживания горных пород является одним из ведущих специальных способов и в МИРОВОЙ практике. Большое распространение он получил в Польше, Германии, Канаде, Великобритании, Румынии, Японии и других странах.

Такое широкое распространение способа искусственного замораживания горных пород обусловлено тем, что он довольно хорошо развит в техническом отношении. Под этот способ создано мощное буровое оборудование, высокопроизводительные замораживающие станции. Способ замораживания имеет и хорошую научную базу. Проведены многочисленные теоретические и экспериментальные исследования по изучению нестационарных процессов теплообмена в массиве горных пород, замораживающих колонках, холодильном оборудовании. Накаплены солидные данные по теплотехническим и механическим свойствам замороженных пород, разработаны точные и инженерные методы расчета, проектирования лёдопородных ограждений и холодильного оборудования.

2. Краткое описание способа.

До начала горнопроходческих работ по контуру будущей горной выработки через каждые 0,8-2,0 м параллельно оси выработки бурят скважины и оборудуют их

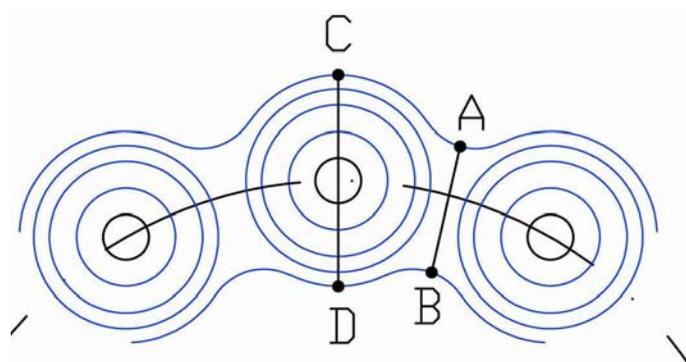


Рис.8.1.2. Образование ЛПО.

AB – толщина ЛПО в замковой плоскости (E)
CD – толщина ЛПО в главной плоскости

замораживающими колонками (рис.8.1.1). Через замораживающие колонки с помощью насосов прокачивают так называемый ХЛАДНОСИТЕЛЬ, охлаждённый на специальной замораживающей станции до отрицательных температур (-20-40° С). В результате постоянной циркуляции хладоносителя в замораживающих колонках и теплообмена горные породы охлаждаются, и вода, находящаяся в них, замерзает.

Вокруг замораживающих колонок постепенно образуются цилиндры из замороженной горной породы, которые с течением времени увеличиваются и, на-

конец, соединяются между собой, образуя сплошное ЛЕДОПОРОДНОЕ ОГРАЖДЕНИЕ (ЛПО) (кольцеобразный цилиндр) (рис.8.1.2.). Время, необходимое для образования лёдопородного ограждения, зависит от термофизических свойств горных пород, содержания в них воды, расстояния между замораживающими колонками, производительности замораживающей станции и температуры хладоносителя.

Горные породы в процессе замораживания резко изменяют свои первоначальные физико-механические свойства (прочность, сцепление и т.д.), что позволяет по достижении лёдопородным ограждением проектных размеров и набором им проектной прочности приступить к горнопроходческим работам.

Лёдопородное ограждение при этом должно выполнять **следующие функции**:

1. **ВРЕМЕННОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КРЕПИ** (воспринимать, не разрушаясь, горное давление) и
2. **ГЕРМЕТИЧНОЙ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОЙ ЗАВЕСЫ** (выдерживать гидростатическое давление подземных вод, не фильтруя их сквозь себя).

Эти функции возможно выполнить за счёт определённой толщины лёдопородного цилиндра в замковой плоскости Е (рис.8.1.2.) и за счёт средней температуры замораживания (с понижением температуры прочность ЛПО возрастает).

ПРОЧНОСТЬ лёдопородного ограждения **ЗАВИСИТ** от следующих факторов:

- 1) минералогического и гранулометрического состава горных пород;
- 2) их водонасыщения;
- 3) количества растворенных в воде солей;
- 4) средней температуры замораживания;
- 5) расстояния между замораживающими колонками.

Внутренний объём горных пород в сечении выработки вчерне (забой) должен быть в незамороженном состоянии (по теории). На практике же зачастую получается так, что породы забоя частично или полностью также заморожены. Это объясняется многими причинами, которые будут рассмотрены позже. Разработка таких пород в значительной степени осложняется.

Работы по сооружению горной выработки с применением замораживания водоносных горных пород состоят из следующих **ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ**:

1. Предварительное геологическое и гидрогеологическое исследование участка замораживания.
2. Составление проекта работ по замораживанию горных пород.
3. Бурение замораживающих скважин.
4. Оборудование скважин замораживающими колонками.
5. Монтаж замораживающей станции и рассольной сети.
6. Образование лёдопородного ограждения расчётных размеров (**АКТИВНОЕ ЗАМОРАЖИВАНИЕ**) с постоянным контролем за процессом замораживания.
7. Поддержание лёдопородного ограждения проектных размеров в замороженном состоянии (**ПАССИВНОЕ ЗАМОРАЖИВАНИЕ**) в течение всего времени производства горнопроходческих работ и возведения постоянной крепи.
8. Оттаивание (искусственное или естественное) замороженных горных пород по окончании проходки (проведения) выработки.
9. Ликвидация (погашение) замораживающих скважин с их тампонажом.
10. Демонтаж холодильной установки и рассольной сети.

3. Теория механики мёрзлых пород.

Замороженные горные породы являются весьма сложными природными многофазными образованиями, состоящими из:

- 1) твёрдых минеральных частиц (породного скелета);
- 2) вязкопластичных включений льда;
- 3) жидкой фазы из незамёрзшей воды;
- 4) газообразных компонентов пара и газов (не обязательно).

Каждый из этих компонентов в значительной степени влияет на свойства замороженных пород и их поведение в процессе замораживания и оттаивания.

1. Влияние **твёрдых минеральных частиц** на свойства замороженных пород обусловлено их размером, формой и физико-химической природой их поверхности.

2. **Лёд** является важнейшим компонентом замороженных пород. Его своеобразные свойства в большей мере, чем свойства породного скелета, обуславливают механические свойства замороженных пород.

Во-первых, льду присущи **реологические свойства** (свойства течения), что обуславливает в нём процессы РЕЛАКСАЦИИ (расслабления) напряжений и ПОЛЗУЧЕСТИ (нарастания во времени) деформаций.

Под нагрузкой лёд, даже при весьма малых напряжениях, всегда имеет вязкопластические деформации (деформации течения). Упругими свойствами лёд обладает лишь при мгновенных нагрузках, причем предел упругости льда настолько мал, что область чисто упругих его деформаций не имеет практического значения.

Во-вторых, лёд обладает ярко выраженной **анизотропией свойств**. Как показывают опыты, вязкость льда может меняться в зависимости от направления усилий в 100 раз и более. Он имеет максимальную вязкопластическую деформацию в направлении, перпендикулярном главной оптической оси, а в направлении, параллельном главной оптической оси, проявления реологических свойств настолько малы во льду, что после упругих деформаций наступает хрупкое разрушение.

В-третьих, для льда характерна **зависимость свойств от температуры**, что объясняется изменением подвижности атомов водорода в его кристаллической решётке. При понижении температуры подвижность атомов водорода уменьшается, лёд принимает более упорядоченную структуру, повышаются его плотность и прочность, а при температуре -78°C кристаллическая решетка льда принимает стабильное состояние. С повышением температуры возрастает энергия активизации молекул льда, ускоряется их перегруппировка с ослаблением межмолекулярных связей, что существенно сказывается на снижении прочностных свойств льда.

Таким образом, в природных условиях, где всегда имеют место некоторые изменения термодинамических условий, свойства льда могут значительно изменяться, обуславливая изменение свойств замороженных пород.

3. **Незамёрзшая вода** при обычных отрицательных температурах (по крайней мере до -70°C) всегда содержится в том или ином количестве в замороженных породах (рис.8.1.3). При этом незамёрзшая вода может быть в двух состояниях:

- прочно связанном и
- рыхло связанном.

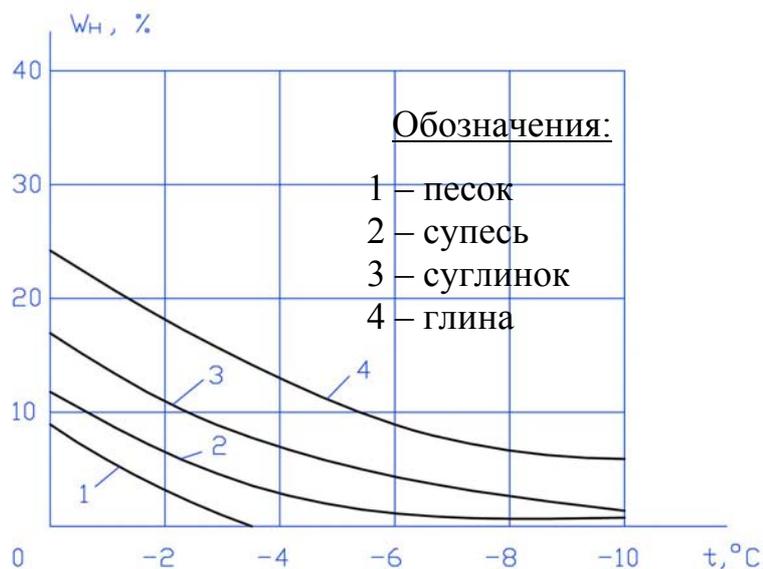


Рис. 8.1.3. Зависимость количества незамёрзшей воды от температуры

Прочно связанная вода не замерзает даже при очень низких температурах (до -70°C). Рыхло связанная вода замерзает при температурах значительно ниже 0 град. В связи с этим количество незамёрзшей воды в замороженных породах уменьшается с понижением отрицательной температуры, причём каждая порода (грунт) характеризуется вполне определённой кривой содержания незамёрзшей воды (рис.8.1.3).

Чем породы более дисперсны, тем больше воды остаётся в незамёрзшем состоянии при одной и той же отрицательной температуре.

Это связано с тем, что при увеличении дисперсности возрастает удельная поверхность минеральных частиц, а следовательно, породы обладают большей способностью связывать гигроскопичную (поровую) воду.

Таким образом, содержание незамёрзшей воды в замороженных породах и её изменения под влиянием внешних воздействий во многом определяют физико-механические свойства замороженных пород. Прочность их во многом определяется соотношением количества льда и незамёрзшей воды. Чем больше в замороженной породе льда и чем меньше незамёрзшей воды, тем она прочнее.

4. Газообразными компонентами замороженной породы могут быть пары воды при неполном насыщении замороженной породы водой и льдом. Пары воды в замороженных породах могут играть в отдельных случаях существенную роль, так как они перемещаются от мест с большей устойчивостью (что зависит от температуры) к местам с меньшей устойчивостью и в водонасыщенных грунтах могут явиться основной причиной перераспределения влажности в процессе замораживания и оттаивания горных пород.

Совокупное влияние перечисленных компонентов в значительной степени сказывается на физико-механических свойствах замороженных пород в процессе изменения внешних воздействий (температуры, давления и т.д.). Вышеизложенное легло в основу одного из основных законов механики мёрзлых пород, который гласит:

"Количество, состав и свойства незамёрзшей воды и льда, содержащихся в замороженных породах, не остаются постоянными, а изменяются в зависимости от внешних воздействий, находясь в динамическом равновесии с последними."

Этот закон получил название ПРИНЦИПА РАВНОВЕСНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДЫ И ЛЬДА В МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ. Он устанавливает динамическое равновесие между количеством незамёрзшей воды и льда в мёрзлых грунтах и величиной внешних воздействий: температурой, давлением и пр.

В процессе замораживания мелкодисперсных пород (мелкозернистые пески, глина) наблюдается процесс МИГРАЦИИ ВЛАГИ (подсос воды к границе льдообразования), интенсивность которой зависит от скорости замораживания. Чем ниже температура замораживания, тем меньше это явление проявляется.

Все вышеперечисленные факторы обуславливают нестабильность механических свойств замороженных пород. При проектировании лёдопородных ограждений необходимо учитывать эту их особенность.

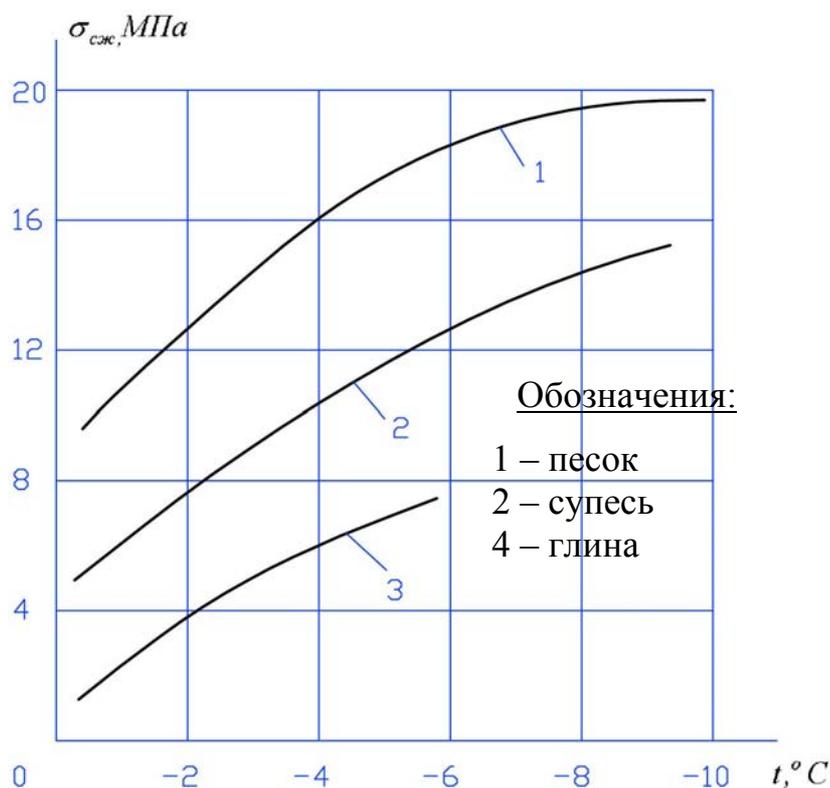
4. Физико-механические свойства замороженных пород.

Для оценки сопротивления конструкций из замороженных пород нормальным усилиям (сжатию и растяжению) особо важное значение имеет прочность замороженных пород. Различают МГНОВЕННУЮ (близкую к максимальной) и ПРЕДЕЛЬНО-ДЛИТЕЛЬНУЮ ПРОЧНОСТЬ.

Мгновенная прочность обычно приравнивается к величине так называемого предела прочности на одноосное сжатие, определение которой осуществляется при стандартной скорости возрастания нагрузки (1,5...2 МПа за 1 мин.).

Пределно-длительная прочность - это сопротивление, при котором деформации имеют затухающий характер и не переходят в пластично-вязкое течение, заканчивающееся прогрессивным разрушением породы.

Прочностные параметры в наибольшей степени зависят от температуры замороженных пород t и их весовой влажности W .



Зависимость предела прочности на одноосное сжатие замороженных пород $\sigma_{сж}$ от температуры выражена очень резко (рис.8.1.4).

С понижением температуры прочность замороженных пород, как правило, увеличивается. Наименьшим пределом прочности при сжатии обладает лёд. Для него $\sigma_{сж} = 2 - 4 \text{ МПа}$.

Прочность замораживаемой породы больше для материала крупнозернистого и снижается с уменьшением величины его зёрен.

Рис.8.1.4. Зависимость предела прочности $\sigma_{сж}$ от температуры t

Приведенные на графике и подобные им кривые хорошо описываются следующими эмпирическими зависимостями:

- для среднезернистых песков

$$\sigma_{сж} = 0,1 \cdot (a + b \cdot \sqrt{t}), \text{ МПа};$$

- для пылеватых песков и глин

$$\sigma_{сж} = 0,1 \cdot (a + b \cdot t), \text{ МПа},$$

где

t - абсолютное значение температуры замороженной породы (в расчётах принимается средняя температура лёдопородного ограждения), град.

a и b - эмпирические коэффициенты, принимаемые в зависимости от пористости и влажности горной породы по справочным таблицам.

Зависимость длительного сопротивления сжатию σ_d от величины отрицательной температуры хорошо описывается следующим уравнением:

$$\sigma_d = 0,1 \cdot (a_d + b_d \cdot \sqrt{t}), \text{ МПа}.$$

Значения эмпирических параметров a_d , b_d принимаются по справочным таблицам.

ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ замороженных пород при одной и той же отрицательной температуре также в значительной степени влияет на предел прочности замороженных пород (рис.8.1.5).



С увеличением содержания влаги до полной водонасыщенности сопротивление сжатию для всех мёрзлых пород возрастает, а при пересыщенности влагой - уменьшается, что объясняется меньшей прочностью льда по сравнению с породой.

Рис.8.1.5. Зависимость предела прочности $\sigma_{сж}$ от суммарной влажности.

СОПРОТИВЛЕНИЕ РАСТЯЖЕНИЮ замороженных пород подчиняется тем же закономерностям, что и сопротивление сжатию, а именно: сопротивление растяжению возрастает с понижением отрицательной температуры и зависит от состава пород, их льдистости, текстуры и пр. По абсолютной величине сопротивление мёрзлых пород растяжению в 2-6 раз меньше сопротивления сжатию.

8.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД.

2 ЧАСА

ПЛАН.

1. Общие принципы расчёта процесса замораживания. Определение нагрузок на лёдопородные ограждения.
2. Расчёт толщины лёдопородных ограждений.
3. Теплотехнический расчёт мощности замораживающей станции и времени её работы.

Л.1, с.169-190.

Л.5, с.71-78.

1. Общие принципы расчёта процесса замораживания. Определение нагрузок на лёдопородные ограждения.

Расчёт процесса замораживания в конечном итоге сводится к определению мощности замораживающей станции и времени активного замораживания для создания лёдопородного ограждения необходимой мощности с определёнными теплофизическими, прочностными и деформационными характеристиками. Для выполнения расчётов необходимо знать следующие основные ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

- 1) геологический разрез с характеристикой залегания пород в районе строительства выработки;
- 2) минералогический и гранулометрический состав пород;
- 3) объёмный вес, пористость, влажность (весовая или объёмная), угол внутреннего трения пород;
- 4) предел прочности пород на одноосное сжатие в естественном и замороженном состоянии;
- 5) коэффициенты теплопроводности и теплоёмкости пород в естественном и замороженном состоянии, распределение температуры пород по глубине;
- 6) коэффициенты фильтрации пород, гидравлические уклоны, направление и истинные скорости движения подземных вод, статические напоры по каждому водоносному горизонту и характеристика гидравлической связи между горизонтами;
- 7) степень и состав минерализации подземных вод, температуры замерзания естественных минеральных растворов;

Зная инженерно-геологические условия залегания пород и их характеристики, выполняются необходимые расчёты и назначается режим замораживания, который характеризуется определёнными значениями температур хладоносителя и внешней поверхности замораживающих колонок, определённым расходом хладоносителя в колонках и другими параметрами.

ГЛУБИНА ЗАМОРАЖИВАНИЯ пород принимается в зависимости от гидрогеологических условий их залегания. Если подземное сооружение возводится в НЕУСТОЙЧИВЫХ водоносных породах, то вне зависимости от ожидаемых притоков воды в ствол породы замораживают на всю мощность неустойчивых пород с заглублением в подстилающие водоупорные породы на 6-10 м для обеспечения

промерзания контакта пород и предотвращения поступления воды в выработку через донную часть лёдопородного ограждения. При недостаточной мощности водопора предусматривают создание лёдопородного днища.

При сооружении подземных горных выработок в водоносных **УСТОЙЧИВЫХ** породах глубину замораживания, если принят данный специальный способ, принимают до горизонта, ниже которого приток воды в выработку ожидается не более 8 м³/час.

ТРЕБОВАНИЯ к созданному вокруг горной выработки при замораживании горных пород лёдопородному ограждению таковы, что оно должно одновременно выполнять **функции временной крепи и водонепроницаемой завесы**, то есть быть способным воспринять горное и гидростатическое давление. Таким образом, полная нагрузка на лёдопородное ограждение может быть представлена как:

$$P_{max} = P_z + P_{zcm}, \text{ МПа} \quad (8.2.1)$$

Максимальные напряжения в лёдопородном ограждении возникают в тот момент, когда в его пределах вынута порода.

Также при определении толщины лёдопородного ограждения (ЛПО) руководствуются формой, размерами горной выработки и технологией выполнения горнопроходческих работ.

В неустойчивых породах величину давления горных пород P_z на вертикальный цилиндр ЛПО определяют по формуле Цимбаревича:

$$P_z = A_n \cdot \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i, \text{ МПа}, \quad (8.2.2)$$

где γ_i - плотность (объёмный вес) пород i -го слоя геологического разреза, Н/м³;
 h_i - мощность пласта пород i -го слоя, м;
 A_n - коэффициент бокового распора породы пласта, в котором определяется давление.

Для водонасыщенных пород, залегающих ниже статического уровня подземных вод, при определении горного давления следует принимать плотность, взвешенную в воде, и отдельно учитывать гидростатическое давление воды P_{zcm} , которое определяется по формуле:

$$P_{zcm} = \gamma_v \cdot H_{cm}, \text{ МПа} \quad (8.2.3)$$

где γ_v - плотность подземных вод, Н/м³;
 H_{cm} - высота превышения статического уровня воды над отметкой глубины, для которой определяется давление, м. Обычно, когда нет гидравлической связи между отдельными водоносными горизонтами, H_{cm} определяется для уровня почвы водоносного горизонта. В этом случае $H_{cm} = H_g$ - мощности водоносного горизонта.

2. Расчёт толщины лёдопородных ограждений.

Одним из основных параметров, определяющим экономическую целесообразность применения способа замораживания, является **ТОЛЩИНА ЛЁДОПОРОДНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ**. Завышение или занижение толщины ЛПО ведет в одном случае к значительному увеличению объёма замороженных горных пород (следова-

тельно, возрастает продолжительность замораживания, расход электроэнергии и стоимость работ), а в другом - к разрушению лёдопородного ограждения и прорыву подземных вод (в этом случае также происходит значительное увеличение стоимости и срока строительства подземного сооружения в связи с ликвидацией аварийной ситуации).

Все последующие теплотехнические и технологические расчёты процесса замораживания будут основаны на рассчитанной на первом этапе толщине ЛПО (Е).

Расчёт толщины ЛПО - весьма сложная с инженерной точки зрения задача. Сложность состоит в том, что ЛПО не подчиняется закономерностям упругого тела, а обладает ярко выраженными реологическими свойствами, которые зависят от типа горной породы, температуры замораживания, времени обнажения стен ограждения и т.д. Кроме того, ЛПО по своей толщине имеет различные прочностные и упругие характеристики, закономерность изменения которых подчиняется закономерностям изменения температурного поля в ЛПО. В свою очередь, изменение температурного поля определяется толщиной ЛПО. Таким образом, учитывая инженерный характер и большой разброс значений исходных параметров, определение толщины ЛПО осуществляют с помощью приближённых методов.

Все расчёты в дальнейшем приводятся для условий **ВЕРТИКАЛЬНОГО СТВОЛА**.

I. Метод Ляме-Гадолина для определения толщины кольцевого ЛПО

По этому методу лёдопородное ограждение рассматривается как **жёстко-упругий толстостенный цилиндр правильной формы и бесконечно большой длины** с одинаковыми по всему сечению физико-механическими свойствами, сжатый равномерно распределённой внешней нагрузкой. По условию прочности максимальное тангенциальное (круговое) напряжение на внутренней поверхности цилиндра не должно превышать допустимого напряжения на сжатие замороженных пород. При решении этой задачи получается, что толщину ЛПО (Е) можно определить по формуле:

$$E = R_{вч} \cdot \left(\sqrt{\frac{[\sigma_{сж}]}{[\sigma_{сж}] - 2 \cdot P_{max}}} - 1 \right), \text{ м} \quad (8.2.4)$$

где $R_{вч}$ - радиус ствола вчерне (внутренний радиус ЛПО), м;

$$[\sigma_{сж}] = \frac{\sigma_{сж}}{K_3}, \text{ МПа} - \text{допускаемое напряжение на сжатие замороженных пород}; \quad (8.2.5)$$

$\sigma_{сж}$ - предел прочности замороженной породы на одноосное сжатие, МПа

$K_3 = 2 \dots 4$ - коэффициент запаса прочности;

P_{max} - максимальное давление водоносных пород и подземных вод на ЛПО, МПа.

Эта формула (8.2.5) даёт удовлетворительные результаты при замораживании пород на глубину, не превышающую 50-80 м (песчанистые породы) или 40-50 м (глинистые породы), когда $([\sigma_{сж}] - 2P_{max}) > 4-10$.

С увеличением глубины и ростом P_{max} последнее выражение может принимать нулевое или даже отрицательное значение, и формула 8.2.4 в этом случае теряет всякий физический смысл.

II. Метод Домке для определения толщины кольцевого ЛПО.

Более полно характер работы ЛПО учитывается в расчётной формуле Домке, в которой ЛПО рассматривается как **упруго-пластический толстостенный цилиндр правильной формы и бесконечно большой длины**, сжатый равномерно распределённой внешней нагрузкой и вертикальным давлением от веса цилиндра. По условию прочности замороженные породы на внешней поверхности цилиндра не должны переходить в пластическое состояние, наступающее в случае, когда разность наибольшего и наименьшего главных нормальных напряжений становится равной пределу прочности замороженных пород на сжатие. Для получения запаса прочности в формулу введён предел длительной прочности σ_D (при действии нагрузки свыше 10-15 часов).

$$E = R_{вч} \cdot \left[0,29 \frac{P_{max}}{\sigma_D} + 2,3 \cdot \left(\frac{P_{max}}{\sigma_D} \right)^2 \right], \text{ м} \quad (8.2.6)$$

где σ_D - предел длительной прочности замороженных пород на сжатие. Эта величина определяется из таблиц в зависимости от породы.

Как показывают расчёты, эта формула рекомендуется для определения толщины ЛПО при замораживании горных пород на глубину 100-150 м. При дальнейшем увеличении глубины формула 8.2.6 даёт большие погрешности. В этом случае применяют другие методы расчёта.

Зная толщину ЛПО, можно определить диаметр расположения замораживающих скважин и их число.

$$D_{скв} = D_{вч} + 1,2E + 2a, \text{ м} \quad (8.2.7)$$

где $D_{скв}$ - диаметр расположения замораживающих скважин;

a - допустимое отклонение замораживающей скважины от вертикали, м.

$$a = 0,5 + 0,002 \cdot L_{скв}, \text{ м} \quad (8.2.8)$$

$$L_{скв} = H + (6...10), \text{ м} - \text{длина скважины} \quad (8.2.9)$$

где H - глубина залегания от поверхности почвы водоносного горизонта, м.

Необходимое количество скважин ($N_{общ}$) определяется по формуле:

$$N_{общ} = N_{раб} + N_{рез} + N_{контр}, \text{ шт.} \quad (8.2.10)$$

где $N_{раб}$ - количество рабочих скважин;

$N_{рез}$ - количество резервных скважин;

$N_{контр}$ - количество контрольных скважин.

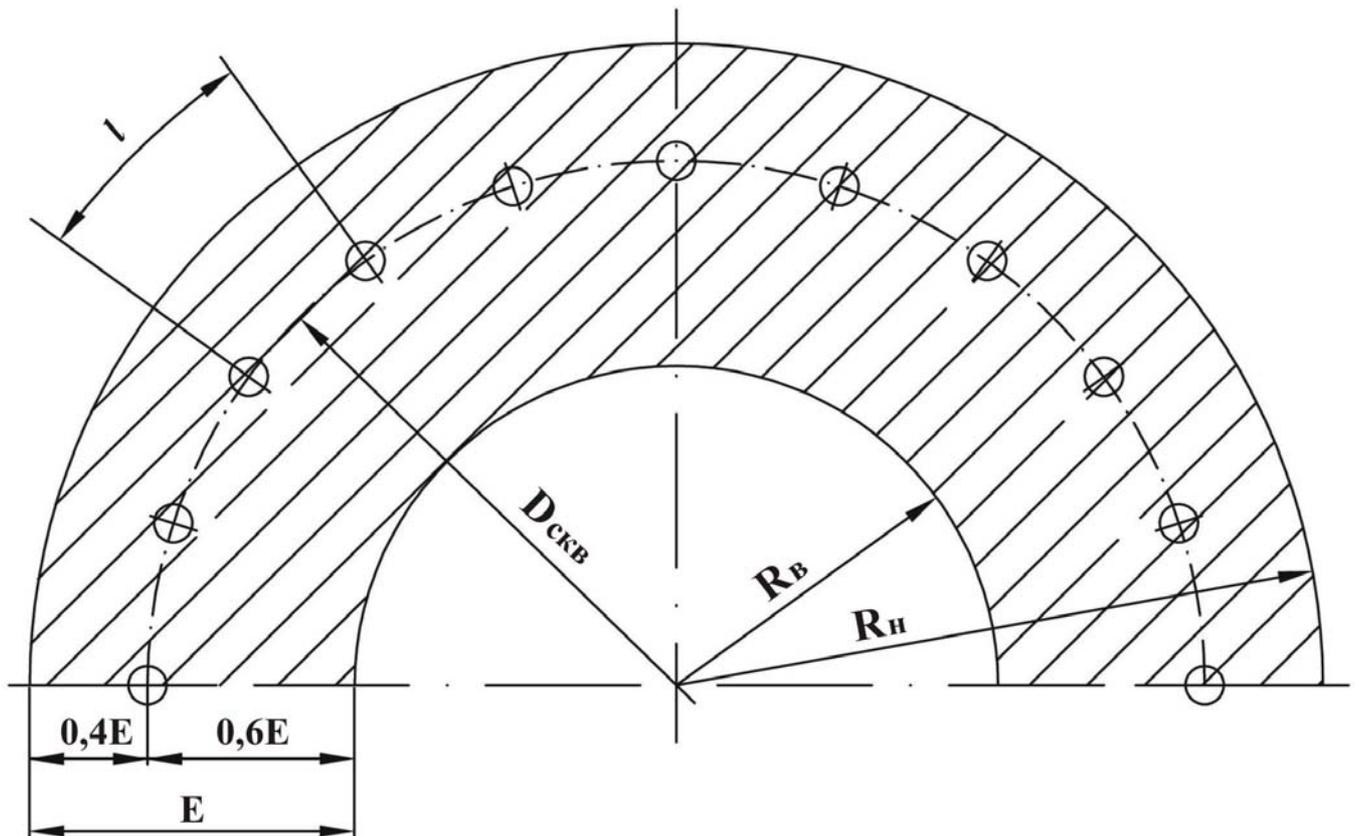


Рис.8.2.1. Расчётная схема к определению диаметра и числа замораживающих скважин.

$$N_{раб} = \frac{\pi \cdot D_{скв}}{l}, \text{ скв.} \quad (8.2.11)$$

где $l = 1, 1...1,5$ м - расстояние между двумя соседними скважинами.

Зависит от многих факторов, принимается по опыту замораживания. Резерв (запас) скважин при возникновении необходимости их перебурирования или переключения $N_{рез}$ принимается $0,15N_{раб}$, скв.

Число контрольных скважин минимально может быть $N_{контр} = 4$ скв.

3. Теплотехнический расчёт мощности замораживающей станции и времени её работы.

Для определения мощности замораживающей станции используется так называемый БАЛАНСОВЫЙ МЕТОД, согласно которому теплопоглощающая способность замораживающих колонок Q_k в период активного замораживания T должна быть равна или больше количества тепла, которое необходимо отвести от породы при её замораживании Q_z и количества тепла, которое нужно в это же время T отвести для нейтрализации внешнего теплопритока от незамороженных пород $Q_{ох}$, т.е.

$$Q_k \cdot T \geq Q_z + Q_{ох} \cdot T \quad (8.2.12)$$

Количество холода^{*}, необходимое для замораживания, определяется из следующего выражения:

^{*} - термин "количество холода" с физической точки зрения неверен. Следует употреблять термин "количество отведенного тепла". Тем не менее здесь и далее термин "количество холода" употребляется для упрощения и облегчения подачи материала.

$$Q_3 = q_3 \cdot V, \text{ ккал} \quad (8.2.13)$$

где V - объём породы, подлежащей замораживанию, м^3 ;

q_3 - количество холода, необходимое для охлаждения и замораживания 1 м^3 породы от естественной до заданной температуры замораживания, $\text{ккал}/\text{м}^3$.

$$V = \pi \cdot (R_n^2 - R_B^2) \cdot L_{\text{скв}}, \text{ м}^3 \quad (8.2.14)$$

$$q_3 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4, \text{ ккал}/\text{м}^3 \quad (8.2.15)$$

где q_1 - количество холода, необходимое для охлаждения воды, содержащейся в 1 м^3 породы, от естественной температуры t_{ec} до температуры замерзания воды t_o , $\text{ккал}/\text{м}^3$;

q_2 - количество холода, идущее на отбор скрытой теплоты льдообразования воды, содержащейся в 1 м^3 породы, $\text{ккал}/\text{м}^3$;

q_3 - количество холода, идущее на охлаждение льда, содержащегося в 1 м^3 породы, от температуры льдообразования t_o до заданной температуры замораживания t_{cp} , $\text{ккал}/\text{м}^3$;

q_4 - количество холода, которое необходимо для охлаждения "скелета" горной породы в объёме 1 м^3 от естественной температуры t_{ec} до температуры замораживания t_{cp} .

Все вышепоименованные величины q определяются по следующим формулам:

$$q_1 = V_B \cdot \gamma_B \cdot C_B \cdot (t_{ec} - t_o), \text{ ккал} \quad (8.2.16)$$

$$q_2 = V_B \cdot \gamma_B \cdot r, \text{ ккал} \quad (8.2.17)$$

$$q_3 = V_L \cdot \gamma_L \cdot C_L \cdot (t_o - t_{cp}), \text{ ккал} \quad (8.2.18)$$

$$q_4 = V_n \cdot \gamma_n \cdot C_n \cdot (t_{ec} - t_{cp}), \text{ ккал} \quad (8.2.19)$$

где V_B, V_L, V_n - объём соответственно воды, льда и "скелета" породы в 1 м^3 водонасыщенной породы, м^3 .

Объём льда можно определить как $V_L = 1,09 V_B, \text{ м}^3$;

$\gamma_B, \gamma_L, \gamma_n$ - удельный вес соответственно воды, льда и породы, $\gamma_B = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ (для химически чистой воды); $\gamma_L = 916 \text{ кг}/\text{м}^3$;

C_B, C_L, C_n - удельная теплоёмкость соответственно воды, льда и породы. В среднем они равны $C_B = 1, C_L = 0,5 \text{ ккал}/\text{кг} \cdot \text{град.}$, $C_n = 0,18 \dots 0,22 \text{ ккал}/\text{кг} \cdot \text{град.}$;

$r = 80 \text{ ккал}/\text{кг}$ - скрытая теплота льдообразования;

t_{ec}, t_o, t_{cp} - соответственно температура породы и воды в естественном состоянии, температура замерзания воды и средняя температура замораживания.

Численное значение средней температуры ЛПО находится в сложной функциональной зависимости от ряда параметров (температуры хладоносителя, расстояния между колонками, толщины ЛПО и др.). В упрощенном виде определяется по формуле Н.Г.Трупака:

$$t_{cp} = \frac{t_{cp.z.} + t_{cp.з.}}{2}, \text{ град.} \quad (8.2.20)$$

где $t_{cp.2}$ и $t_{cp.3}$ - средняя температура пород соответственно в главной и замковой плоскостях (см.рис.8.1.2).

Количество холода, необходимое для охлаждения окружающих ЛПО пород (т.е. для постоянного отвода внешнего теплопритока), определяется по формуле:

$$Q_{ox} = q_{ox} \cdot S_{ox}, \text{ ккал/час} \quad (8.2.21)$$

где $q_{ox} = 4...11$ ккал/м²·час - удельное количество тепла, притекающее к 1 м² поверхности лёдопородного ограждения как снаружи, так и изнутри со стороны незамороженного породного массива (из таблиц);

S_{ox} - поверхность лёдопородного ограждения, соприкасающаяся с незамороженным массивом. Определяется из выражения:

$$S_{ox} = \pi \cdot (D_H + D_{BH}) \cdot L_{скв} + 2 \cdot F, \text{ м}^2 \quad (8.2.22)$$

где D_H и D_{BH} - наружный и внутренний диаметры ЛПО, м;
 F - площадь кольца сечения ЛПО, м².

Теплопоглощающая способность замораживающих колонок определяется из следующего выражения:

$$Q_{\kappa} = q_f \cdot F_{\kappa}, \text{ ккал/час} \quad (8.2.23)$$

где q_f - удельное теплопоглощение на 1 м² поверхности замораживающих колонок. Его численная величина является функцией многих параметров. В среднем $q_f = 200...250$ ккал/м² час;

F_{κ} - общая площадь наружной поверхности всех замораживающих колонок, м².

Зная теплопоглощающую способность колонок Q_{κ} , можно определить хладопроизводительность замораживающей станции Q_{cm} с учётом 10-20% потерь в рассолевой сети, т.е.

$$Q_{cm} = (1,1...1,2) \cdot Q_{\kappa}, \text{ ккал/час} \quad (8.2.24)$$

Продолжительность работы замораживающей станции (Т) в активный период замораживания можно определить из выражения 8.2.12:

$$T = \frac{Q_3}{(Q_{\kappa} - Q_{ox}) \cdot 24}, \text{ сутки} \quad (8.2.25)$$

Время пассивного замораживания определяется, исходя из нормативной скорости проходки ствола по замороженным породам ($V_H = 25$ м/мес):

$$T_{nacc} = \frac{H}{V_H}, \text{ мес.} \quad (8.2.26)$$

где H - длина участка ствола, проходимого по замороженным породам.

Почти всегда $H = L_{скв}$.

В заключение необходимо отметить, что все расчёты по толщине ЛПО и прочим показателям способа замораживания ведутся либо отдельно по каждой замораживаемой заходке (если принята многоступенчатая схема), либо - для самых неблагоприятных условий (где толщина ЛПО ожидается наименьшей).

По данным практики для охлаждения и замораживания каждого 1 м³ горных пород до температуры -10°С в среднем требуется отвести 30...50 тыс. ккал тепла.

8.3. СОЗДАНИЕ ЛЁДОПОРОДНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ.

4 ЧАСА

ПЛАН.

1. Принцип получения холода. Хладагенты и хладоносители.
2. Состав и работа замораживающей станции.
3. Оборудование замораживающей станции.
4. Бурение вертикальных замораживающих скважин.
5. Оборудование скважин замораживающими колонками.
6. Рассольная сеть и её прокладка.
7. Режимы замораживания.
8. Методы контроля при замораживании горных пород.

Л.1, с.90-107,113-133,
Л.5, с.79-97.

1. Принцип получения холода. Хладагенты и хладоносители.

ПОЛУЧЕНИЕ ХОЛОДА на замораживающей станции основано на использовании основного процесса теплотехнического цикла, при котором поглощение тепла из окружающей среды происходит за счёт испарения жидкого хладагента. Некоторые газы (аммиак, углекислый газ, фреоны) при переходе из жидкого состояния в газообразное способны поглощать большое количество тепла из окружающей среды, тем самым охлаждая её до низких температур. Такие газы называют холодильными агентами - ХЛАДАГЕНТАМИ. В качестве окружающей среды при их испарении используются незамерзающие при этих температурах растворы некоторых солей. Их называют ХЛАДОНОСИТЕЛИ.

Назначение ХЛАДАГЕНТОВ - охлаждать хладоносители (рассолы).

Назначение ХЛАДОНОСИТЕЛЕЙ - быть посредником между замораживающей станцией (далее по тексту - ЗС) и замораживающими колонками (далее по тексту - ЗК). Охлаждённый на ЗС после теплообмена с испаряющимся хладагентом рассол подаётся в каждую ЗК, где после теплообмена с окружающими горными породами он отбирает у них тепло, сам при этом нагревается на несколько градусов и возвращается на ЗС.

В качестве *хладагентов* в практике искусственного замораживания пород в основном применяют АММИАК и ФРЕОНЫ.

АММИАК (NH_3) - наиболее дешёвый и доступный холодильный агент, обладает хорошими термодинамическими качествами. Температура кипения аммиака при атмосферном давлении $-33,4^\circ\text{C}$. Получил наиболее широкое распространение в поршневых холодильных машинах различного назначения. Однако аммиаку присущи и серьёзные недостатки. Он отличается резким характерным запахом и при содержании в воздухе более 1% по объёму оказывает вредное влияние на организм человека (вызывает отравления). Аммиак горюч, при концентрации его в воздухе в пределах 13,1-26,8% и наличии открытого пламени аммиак способен взрываться. Газообразный аммиак легче воздуха. При работе с ним необходимо СТРОГО выполнять правила техники безопасности!

ФРЕОНЫ - это хлорфторзамещённые углеводороды. Исходными углеводородами для получения основных фреонов являются МЕТАН (CH_4) и ЭТАН (C_2H_6).

Свойства фреонов меняются в зависимости от соотношения в них атомов фтора, хлора и водорода. Каждый фреон имеет номер, соответствующий его химической формуле: Ф-12, Ф-21, Ф-22 и т.д. Температура кипения фреонов различна (-28, -40,8 град. и т.д. в зависимости от номера). Фреоны обладают наименее физиологически вредными свойствами, не имеют запаха и применяются для поршневых компрессоров любой производительности. Однако фреоны отрицательно влияют на озоновый слой атмосферы Земли (гипотеза). Ещё одним недостатком фреонов является их чрезвычайная текучесть, то есть способность проникать через малейшие неплотности. При этом очень трудно обнаружить утечку фреона, так как он не пахнет. Эта особенность предъявляет повышенные требования к уплотнениям соединений при монтаже холодильных установок, работающих на фреоне.

В качестве *хладоносителей* используют водные растворы некоторых солей (обычно хлоридов). Поэтому часто их называют "рассолами". Для того, чтобы ни при каких режимах работы ЗС рассолы не замёрзли, температура их замерзания должна быть на 5-8 град. ниже температуры кипения хладагента.

Наибольшее распространение в качестве хладоносителя получил 26,6% водный раствор хлористого кальция. Его удельный вес - 1,23-1,28 г/см³, температура замерзания -38,6°С, рабочая температура при работе ЗС -25°С.

При необходимости получения более низких температур (при двухступенчатом сжатии хладагента) в качестве рассола применяют 24% раствор хлористого лития с температурой замерзания -65°С.

Всем хладоносителям на основе солей присущ очень существенный **НЕДОСТАТОК - АГРЕССИВНОСТЬ** по отношению к ЛПО. То есть в случае утечек из ЗК, что иногда бывает в практике замораживания, происходит разрушение ранее созданного ЛПО (пример: таяние льда на тротуарах при воздействии на него соли или солевого раствора), и как следствие, прорыв воды (пльвуна) через ограждение. Это приводит к огромным затратам времени и средств на ликвидацию последствий аварии. Поэтому, герметичности ЗК до и после их монтажа уделяется повышенное внимание.

В настоящее время ведутся поиски новых хладоносителей, которые были бы инертны к ЛПО, дешевы, имели бы более низкую температуру замерзания. Ранее были попытки в качестве хладоносителей применить ДИХЛОРМЕТАН (фреон-30) (недостатки: наркотическое воздействие, высокая проникающая способность, высокая цена), КЕРОСИН (недостатки: пожароопасность, большой коэффициент объёмного расширения, повышенная проницаемость).

2. Состав и работа замораживающей станции.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЗАМОРАЖИВАНИЯ горных пород состоит из двух комплексов: ЗАМОРАЖИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ и РАССОЛЬНОЙ СЕТИ.

ЗАМОРАЖИВАЮЩАЯ СТАНЦИЯ (ЗС) - это система машин и аппаратов, установленных в определённом порядке и предназначенных для получения расчётного количества холода в период активного и пассивного замораживания.

Основные составные части ЗС следующие:

- компрессор;
- конденсатор;
- регулировочная, контрольная и измерительная аппаратура;
- система трубопроводов;
- вспомогательные сосуды.
- дроссель;
- испаритель;

Рассмотрим более подробно **принципиальную схему работы ЗС**, работающей по принципу одноступенчатого сжатия хладагента (одноступенчатая аммиачная ЗС) (рис.8.3.1).

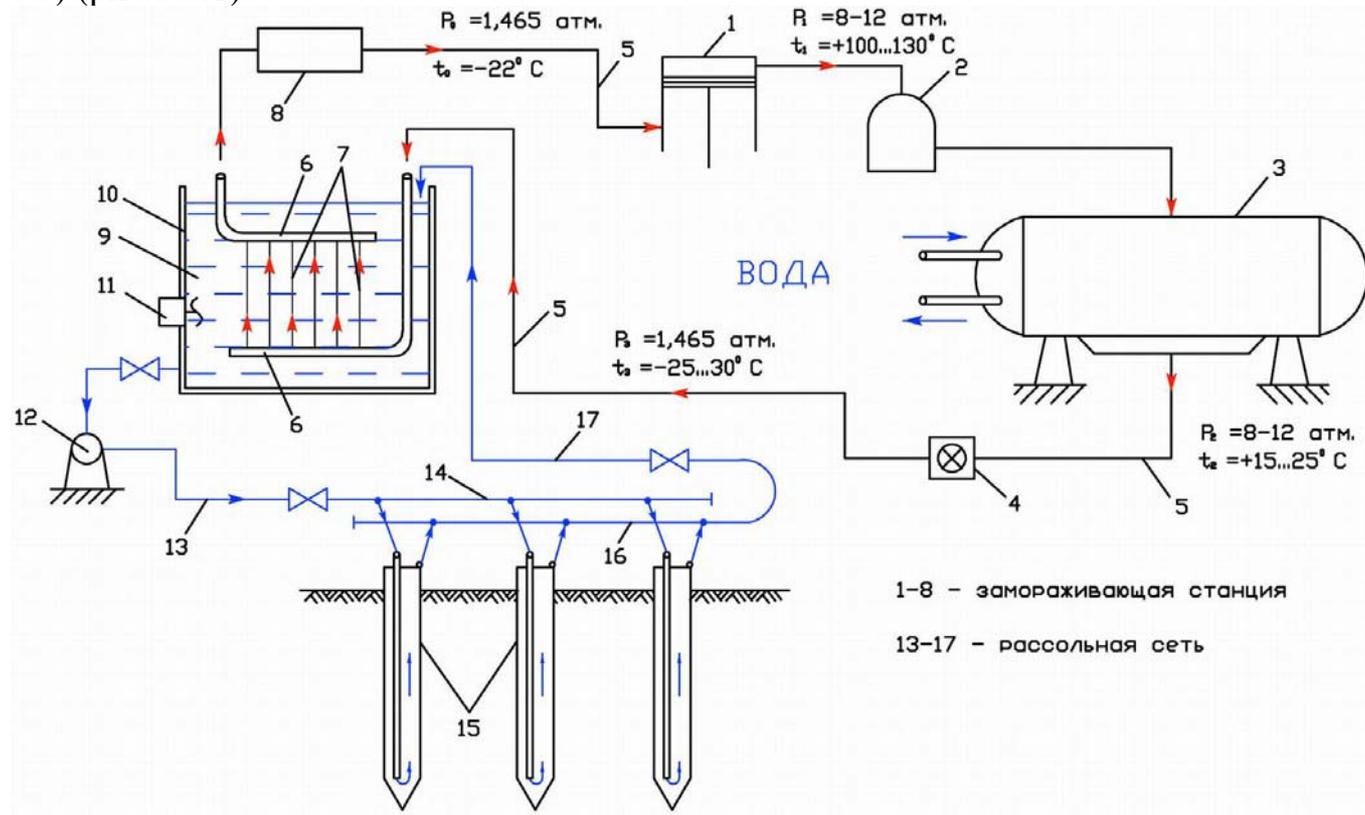


Рис.8.3.1. Принципиальная схема одноступенчатой аммиачной ЗС.

1-компрессор; 2-маслоотделитель; 3-конденсатор; 4-дроссельное устройство; 5-трубопровод хладагента; 6-испаритель; 7-змеевики испарителя; 8-грязеуловитель; 9-хладоноситель; 10-рассольный бак; 11-растворомешалка; 12-рассольный насос; 13,17-прямой и обратный магистральные рассолопроводы; 14-трубопровод-распределитель; 15-замораживающие колонки; 16-трубопровод-коллектор.

При работе замораживающей станции по замораживанию горных пород происходят 3 соприкасающихся непрерывных цикла движения:

- I - цикл движения хладагента (аммиачный цикл);
- II - цикл движения хладоносителя (рассольный цикл);
- III - цикл движения воды в конденсаторе (водяной цикл).

Рассмотрим их подробнее на примере аммиачной одноступенчатой ЗС (рис.8.3.1).

I. АММИАЧНЫЙ ЦИКЛ.

Пары аммиака всасываются компрессором при $P_0=1,465$ атм и $t_0=-22-23^\circ\text{C}$. В результате сжатия паров аммиака в компрессоре повышается его давление до 8-12 атм., и соответственно возрастает температура до $+100-130^\circ\text{C}$. Сжатый аммиак с такими параметрами проходит через маслоотделитель, где очищается от масел, и направляется по трубопроводу в змеевики конденсатора. Последние, в свою очередь, непрерывно охлаждаются холодной водой. В результате охлаждения до $t_2=+15-25^\circ\text{C}$ пары аммиака конденсируются с переходом в жидкое состояние, сохраняя при этом прежнее давление 8-12 атм.

Жидкий аммиак из конденсатора по трубопроводу проходит через дроссельное устройство и сразу поступает в испаритель. В результате резкого снижения давления (дросселирования) аммиака до $P_3=1,465$ атм. он испаряется (то есть переходит из жидкого состояния в газообразное), а его температура понижается до $t_3=-25-30^\circ\text{C}$. Поднимаясь по змеевикам испарителя и испаряясь при этом, аммиак отнимает из окружающей среды (рассола) тепло, сам при этом нагреваясь. Каждый 1 кг аммиака при испарении способен поглотить 200-250 ккал тепла. В результате этого теплообмена рассол охлаждается до $t=-23-25^\circ\text{C}$.

Пары аммиака, нагретые до $t_0=-22-23^\circ\text{C}$, при прежнем давлении проходят грязеуловитель и вновь попадают в компрессор. Цикл повторяется.

II. РАССОЛЬНЫЙ ЦИКЛ.

Рассол находится в рассольном баке, где непрерывно циркулирует в межтрубном пространстве испарителя с помощью растворомешалки. В результате теплообмена с хладагентом рассол охлаждается до $t=-23-25^\circ\text{C}$.

Охлаждённый рассол центробежным насосом нагнетается в магистральный прямой трубопровод, а оттуда поступает в трубопровод-распределитель, откуда подаётся ко всем ЗК. По питающим трубкам рассол движется до основания колонок. Выходя из трубок, он поднимается вверх под давлением насоса по межтрубному пространству между замораживающей и питающей трубами. При этом происходит теплообмен: рассол забирает тепло у окружающих горных пород и замораживает их, сам при этом нагреваясь на $1-3^\circ\text{C}$ в зависимости от режима замораживания.

Выходя в отводящие трубки ЗК, рассол попадает в трубопровод-коллектор, а затем в обратный магистральный трубопровод, по которому он вновь поступает в рассольный бак для последующего охлаждения. Цикл повторяется.

III. ВОДЯНОЙ ЦИКЛ.

Охлаждённая в градирнях вода подаётся насосом к конденсатору по специальному трубопроводу. Распыляясь в конденсаторе, вода обливает все трубы, охлаждает находящийся в них аммиак, сама при этом нагревается, стекает в специальные ёмкости, а оттуда поступает в колодец (отстойник). Другим насосом вода вновь подаётся на градирню, где охлаждается до температуры окружающей среды. Цикл повторяется вновь.

Так работают все составные части ЗС и рассольной сети при производстве работ по замораживанию водоносных горных пород. Если необходимо заморозить породы более низкими температурами (например: засоленные или термические воды), то рассол охлаждают до более низкой температуры, используя ЗС двухступенчатого сжатия хладагента. В этом случае используют хладоносители с $t_{\text{замерзания}}=-30-65^\circ\text{C}$.

3. Оборудование замораживающей станции.

КОМПРЕССОР - основное оборудование ЗС. Он предназначен для повышения давления хладагента (аммиака), что в дальнейшем обеспечивает изменение его состояния от газообразного до жидкого. В зависимости от требуемой температуры замораживания устанавливают одноступенчатые, двухступенчатые или трёхступенчатые компрессоры (рис.8.3.2, плакат).

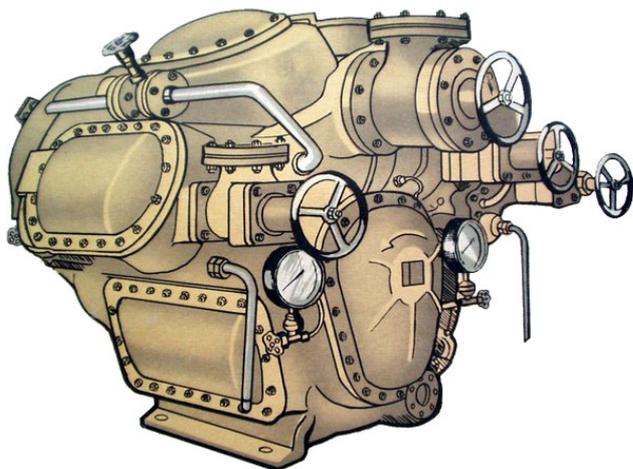


Рис.8.3.2. Общий вид компрессора

Преимущественно применяют поршневые компрессоры. Однако могут также применяться ротационные и турбокомпрессоры.

Тип компрессора подбирают в зависимости от требуемой холодопроизводительности и основных параметров работы ЗС: температуры и давления испарения, температуры и давления конденсации, температуры перед дросселем, степени сжатия хладагента в цилиндрах компрессора.

В практике строительства горных выработок способом искусственного замораживания применяются следующие одноступенчатые компрессоры: А110-2, А110-3, АО-600, АО-1200, АУУ400/3 и другие.

КОНДЕНСАТОР предназначен для охлаждения и обеспечения перехода аммиака из газообразного в жидкое состояние. Это преобразование происходит при постоянном давлении благодаря отдаче аммиаком тепла охлаждающей воде.

В конструктивном отношении бывают **ОРОСИТЕЛЬНЫЕ** (наибольшее распространение), **ЭЛЕМЕНТНЫЕ** и **КОЖУХОТРУБНЫЕ** конденсаторы (рис.8.3.3, плакат).

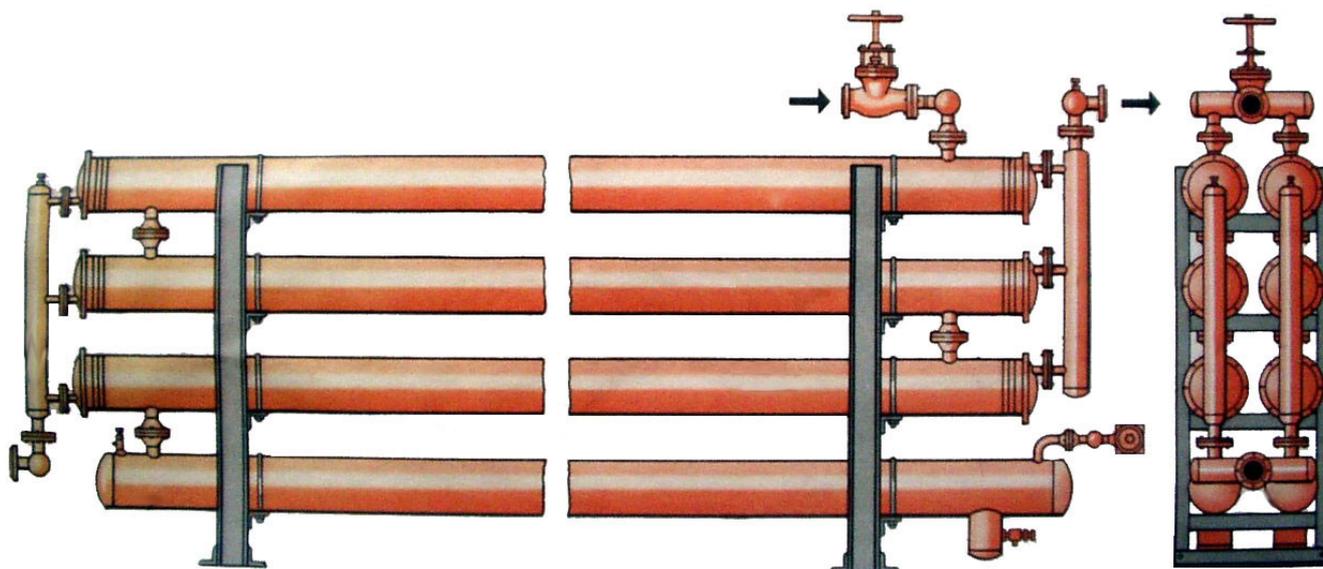


Рис.8.3.3. Общий вид элементного конденсатора

Оросительные конденсаторы состоят из 3-6 секций вертикальных змеевиков (поверхность каждого - 15 м^2) из стальных цельнотянутых труб. Змеевики охлаждаются мелкими струйками воды. Конденсаторы этого типа устанавливают на открытом воздухе, потоки которого омывают змеевики и способствуют интенсивному испарению с них воды, т.е. дополнительному охлаждению хладагента. Количество воды на каждую секцию - $10-12 \text{ м}^3/\text{час}$, включая до 50 % свежей воды.

В кожухо-трубных и элементных конденсаторах наоборот охлаждаемые пары аммиака находятся в межтрубном пространстве, а вода подаётся по трубам малого диаметра, расположенным внутри конденсатора. Жидкий аммиак собирается в придонной части. Элементный конденсатор - это (упрощённо) несколько последовательно собранных малых кожухо-трубных конденсаторов.

ИСПАРИТЕЛЬ - это теплообменный аппарат, в котором тепло от хладоносителя (рассола) передаётся хладагенту (аммиаку или фреону). В испаритель поступает жидкий хладагент, который в результате дросселирования и подвода тепла кипит, превращаясь в пар (газ). Для замораживания горных пород применяют **ВЕРТИКАЛЬНО-ТРУБНЫЕ** (наибольшее распространение) и **КОЖУХО-ТРУБНЫЕ** испарители (рис.8.3.4, плакат).

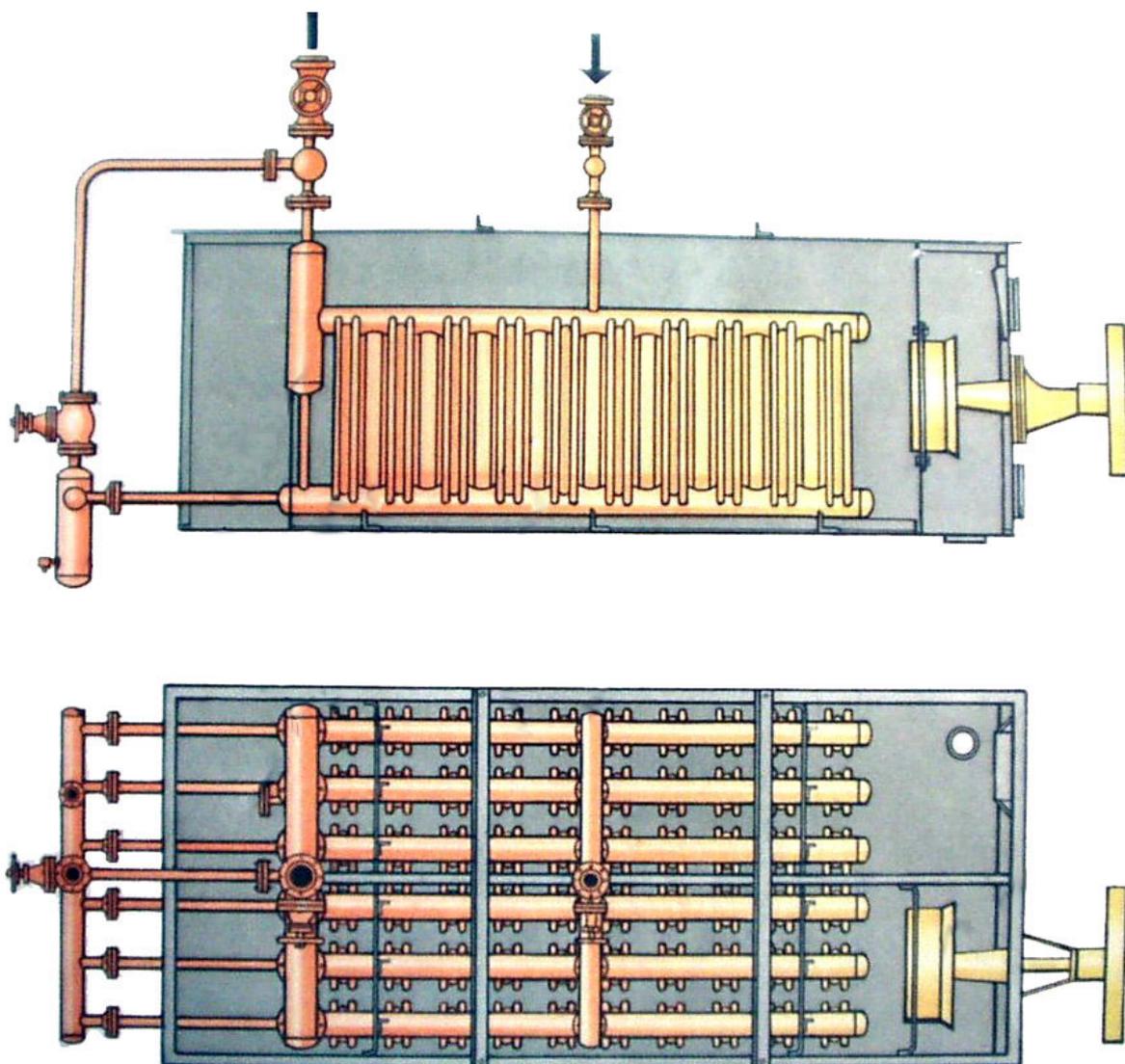


Рис.8.3.4. Общий вид вертикально-трубного испарителя

Вертикально-трубный испаритель типа ИА состоит из металлического бака прямоугольного сечения, в котором установлены батареи. Каждая из батарей состоит из 2-х горизонтальных коллекторов (верхнего и нижнего), соединенных между собой короткими испарительными трубками, расположенными в четыре ряда. Таких батарей может быть набрано от 4 до 10. Поверхность охлаждения каждой - 10-40 м². Рассол в баке постоянно перемешивается мешалкой с частотой вращения 4 об/сек.

Кожухо-трубный испаритель устроен по принципу кожухо-трубного конденсатора. Холодильный агент кипит в межтрубном пространстве, а по трубам циркулирует хладоноситель. Небольшой объём, небольшая производительность.

ДРОССЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО (РЕГУЛИРУЮЩАЯ СТАНЦИЯ) предназначено для дросселирования (снижения давления) хладагента от давления конденсации до давления испарения и плавного регулирования количества подаваемого в испаритель жидкого хладагента. Состоит из запорного и регулирующего вентиля. При замораживании горных пород применяют регулирующие станции 15РС, 20РС, 25РС, 30РС (цифры обозначают условный переход сечения в мм).

МАСЛООТДЕЛИТЕЛЬ предназначен для улавливания масла из хладагента, которое в некотором количестве всегда уносится из компрессора. Его работа основана на принципе изменения скорости и направления движения хладагента (рис.8.3.5). Масло периодически удаляется с дна маслоотделителя. Его изготавливают в форме цилиндрического сосуда, диаметр которого примерно в три раза больше диаметра нагнетательного трубопровода, а высота изменяется от 1,5 до 2,5 м. Наиболее совершенными являются маслоотделители типа ОММ.

МАНОМЕТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ служит для наблюдения и контроля за холодильным процессом. С этой целью в систему труб хладагента включают манометры. Аммиачные манометры от обычных отличаются тем, что кроме шкалы давлений имеют ещё и температурную. При одноступенчатом сжатии в системе достаточно иметь два манометра: один на всасывающем, другой - на нагнетательном трубопроводах. Манометры вместе с вентилями обычно монтируют на общей панели.

ПЕРЕДВИЖНЫЕ ЗАМОРАЖИВАЮЩИЕ СТАНЦИИ применяются при строительстве подземных сооружений способом замораживания в условиях плотной городской застройки. Они отличаются меньшими габаритами и мощностью по сравнению со стационарными ЗС. Мобильны (на шасси), удобны в эксплуатации. Обеспечивают строительство объекта в сжатые сроки с минимальной затратой времени на работы подготовительного периода. В настоящее время используются передвижные холодильные станции ПХС100(150, 200) на базе холодильной установки ПХУ50 (ПХС100=2 шт. ПХУ50). Успешно применялись такие установки (до 4-х ПХУ50) на строительстве вертикальных стволов. *(Показать фотографии).*

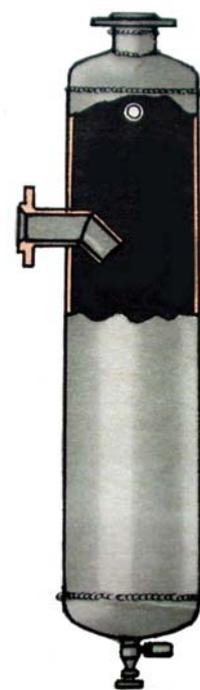


Рис.8.3.5. Общий вид маслоотделителя

Кроме наземных передвижных станций, имеется опыт применения подземных передвижных ЗС, состоящих из подземных передвижных замораживающих установок ППЗУ1 и ППЗУ2 (см.Л.1).

Любая ЗС после монтажа всех узлов опробуется (до заполнения аммиаком) сжатым воздухом при давлении 12 атм. (всасывающая линия) и 18 атм. (нагнетательная линия). После устранения всех возможных утечек, подписания акта о готовности, промывки всех узлов и отсасывания воздуха до вакуума систему заполняют расчётным количеством аммиака (фреона), включают в работу и приступают к замораживанию.

4. Бурение вертикальных замораживающих скважин.

Бурение замораживающих скважин является одним из наиболее трудоёмких и продолжительных процессов при замораживании горных пород. В зависимости от глубины и количества скважин на их бурение затрачивается 30-65% общего времени на замораживание. Схема расположения замораживающих скважин, расстояние между ними, их количество и глубина определяются расчётами (см. Лек.8.2).

ТРЕБОВАНИЯ, предъявляемые к замораживающим скважинам:

1. Строго должно быть выдержано направление бурения. Допустимое отклонение скважин от вертикали может быть определено по формуле 8.2.8 или упрощённо принято по следующему соотношению:

- при глубине скважины $L_{скв}$ до 50 м $a = 1\% L_{скв}$;
- при глубине скважины $L_{скв} = 50...200$ м $a = 0,75\% L_{скв}$;
- при глубине скважины $L_{скв} = 200...300$ м $a = 0,5\% L_{скв}$;
- при глубине скважины $L_{скв}$ более 300 м $a = 0,25\% L_{скв}$, но в любом случае отклонение не должно превысить 2 м. В противном случае в ЛПО останутся непромороженные «окна».

2. Глубина скважин должна быть на 6-10 м (в зависимости от вида пород) больше проектной отметки замораживания пород. Все скважины должны иметь дно на одном уровне. Недобур скважин не допускается, так как и в этом случае в ЛПО могут остаться незамёрзшие «окна».

3. Скважины должны быть очищены от бурового шлама для обеспечения свободного спуска замораживающих колонок (ЗК) принятого диаметра.

4. Конечный диаметр скважины должен быть на 30-50 мм больше диаметра соединительных муфт ЗК. При большой глубине замораживания (500-700 м) конечный диаметр скважины должен быть не менее 200-250 мм.

В случае невыполнения хотя бы одного из этих требований скважина должна быть исправлена или перебурена. Как исключение допускаются искривлённые скважины, если положение смежных, также отклонившихся скважин, обеспечит смыкание ЛПО и проектную толщину. В связи с этим при замораживании горных пород предусматривается бурение дополнительных замораживающих скважин в количестве 10% от общего количества рабочих скважин при глубине замораживания до 100 м, 15% при глубине замораживания до 400 м и 20% при глубине замораживания свыше 400 м.

Для бурения замораживающих скважин применяют установки ударного, вращательного и турбинного способов бурения.

УДАРНЫЙ способ бурения применяется при незначительной глубине скважин (до 100 м) для разбуривания валунно-галечниковых отложений и крутопадающих пород средней крепости. Этот способ обеспечивает наименьшее отклонение от вертикали. Различают ударноканатный и ударноштанговый способы. Долото бьёт по забою, каждый раз поворачиваясь. Разбуренная порода из скважины удаляется либо желонками, либо промывочным глинистым раствором. Применяются станки УКС-22М, УКС-30М.

ВРАЩАТЕЛЬНЫЙ способ бурения применяют в слабых горизонтально залегающих породах при глубине скважин до 200-300 м. Разрушение породы в забое производится при вращении резцов или шарошек. Вынос разбуренной породы на поверхность осуществляется при помощи глинистого раствора, скорость восходящего потока которого должна быть около 1 м/с. Более высокая скорость бурения по сравнению с ударным способом, но инструмент легко отклоняется от вертикали.

Применяют установки УРБ-3АМ, СБУ-150-ЗИВ, ЗИФ-650А (1200), УБЗШ и БУШ-3, БУШ-4.

ТУРБИННЫЙ способ бурения широко применяется для бурения скважин большой глубины по крепким породам. Применяется установка УЗТ-1 с турбобуром Т12М-65/8. Большая скорость и небольшая стоимость, вертикальность удовлетворительная.

В зависимости объёма бурения на объекте могут одновременно работать одна, две, три и даже четыре буровые установки.

При бурении скважин буровая колонна комплектуется буровыми трубами УБТ диаметром 114, 146 или 178 мм.

В случае пересечения слабых неустойчивых пород стенки скважины крепят путём установки в ней обсадных труб с затрубной цементацией.

При выборе способа бурения скважин необходимо учитывать следующие факторы: скорость бурения, стоимость буровых работ, качество бурения (отклонения от заданного направления и вынос породы из скважины). В таблице 8.3.1. приведены средние данные практики бурения замораживающих скважин.

Таблица 8.3.1. Некоторые характеристики различных способов бурения.

Способ бурения	Производительность на 1 станок, м/мес.	Отклонение от вертикали, см/м	Стоимость бурения 1 м скважины
Ударный	200-250	0,2-0,3	250-350
Вращательный	250-350	2,5-2,7	200-300
Турбинный	3000-4000	1,6-1,7	100

Несмотря на большую осторожность при бурении, скважины, особенно малого диаметра, часто отклоняются от вертикального положения.

ГЛАВНЫЕ ПРИЧИНЫ ОТКЛОНЕНИЯ СКВАЖИН ОТ ВЕРТИКАЛИ:

Объективные:

- 1) наличие твёрдых включений, валунов в мягких породах;
- 2) чередование в разрезе крепких и неустойчивых горных пород. При этом, если пласты горных пород крутопадающие, то буровой инструмент на контакте с крепкими породами будет, соскальзывая по контакту, отклоняться по падению, а если пологое залегание, то по восстанию. В последнем случае после частичного забури-

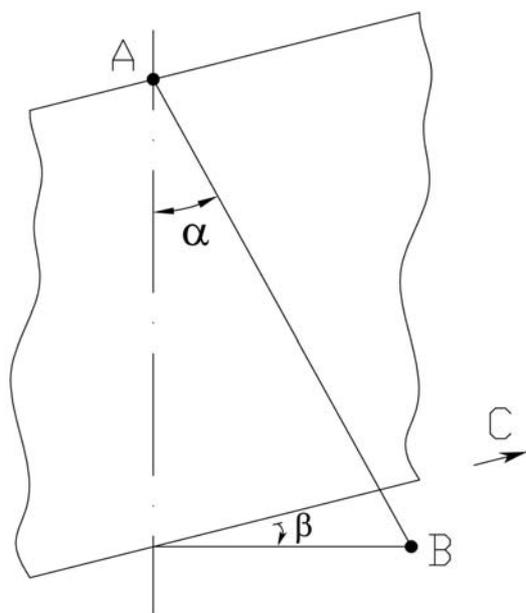
вания в крепкую породу на буровой инструмент воздействует разворачивающий момент;

3) встреча бурового инструмента с трещинами, сбросами, жилами, кавернами и пустотами.

Субъективные:

- 4) неправильная установка бурового станка или первой колонны обсадных труб;
- 5) чрезмерно большое давление на буровой инструмент;
- 6) использование коротких (< 3 м) или искривлённых буровых труб.

Для контроля возможного отклонения скважины от заданного направления необходимо систематически через каждые 30 м измерять фактическое положение забоя скважины, а при необходимости принимать меры к исправлению кривизны скважины. Для измерения направления замораживающих скважин применяют отвес и теодолит (для глубин до 100 м) и специальные приборы ИНКЛИНОМЕТРЫ (для глубин до 1000 м). Используются следующие типы инклинометров: ВД-2, И-447Д ("Зенит"), фирмы "Ибак", а также фотоинклинометр И-567-Ф, прибор "Шахтёр" (гироскопический эффект) и некоторые другие. Этими приборами измеряются зенитный и азимутальный углы скважины. Зная их, можно определить местоположение забоя скважины в пространстве, а также её проекции на горизонтальную и вертикальную плоскости (рис.8.3.6).



AB – профиль скважины

Рис.8.3.6. К определению углов профиля скважины

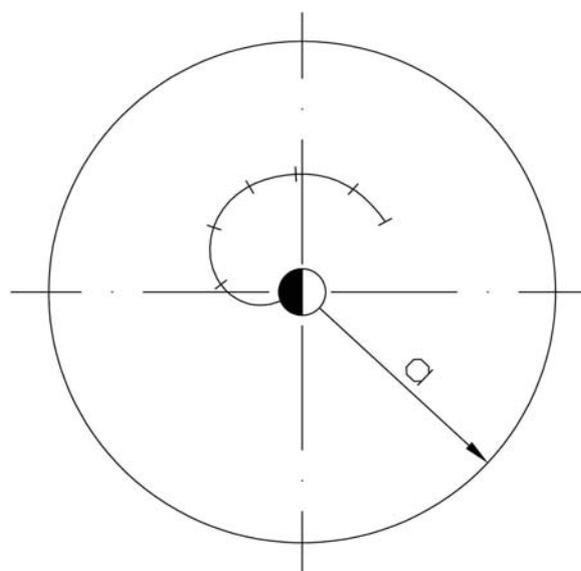


Рис.8.3.7. Проекция профиля скважины на горизонтальную плоскость

ЗЕНИТНЫЙ УГОЛ (α) - это угол, образованный осью скважины с вертикальным направлением.

АЗИМУТАЛЬНЫЙ УГОЛ (β) - это угол, отсчитанный от направления на север до проекции профиля скважины на горизонтальную плоскость.

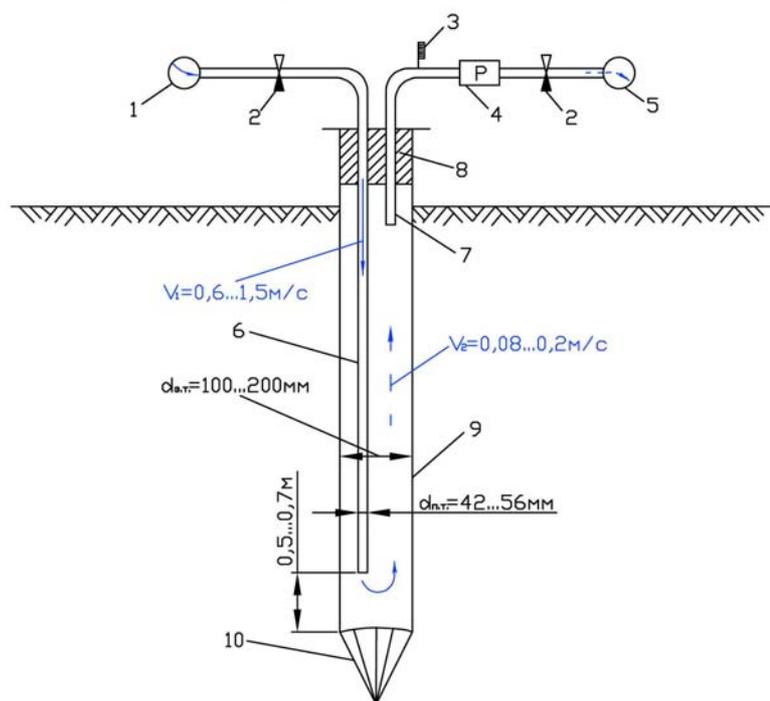
По данным α и β определяют местоположение забоя замораживающих скважин по горизонтам через каждые 30 м, строят фактические проекции профилей скважин на горизонтальную плоскость (рис.8.3.7), а также в дальнейшем вычерчивают планы формирования ЛПО на всех горизонтах.

При необходимости возможно провести ИСПРАВЛЕНИЕ профиля скважины путём постановки в ней стационарных клиньев, бесклиновых скользящих снарядов, применением кривого переводника, либо варьируя режимами и способами бурения (применить турбинный способ, уменьшить нагрузку на забой и т.д.). Эти операции, как правило, занимают много времени и дорого стоят. Поэтому, с экономической точки зрения, лучше предвидеть их возможное искривление на основе анализа и обработки статистических данных по бурению скважин в данном районе, и в соответствующих местах заложить устья скважин.

5. Оборудование скважин замораживающими колонками.

После того, как пробурена замораживающая скважина, её очищают от остатков породной мелочи, после чего погружают в неё замораживающую колонку.

ЗАМОРАЖИВАЮЩАЯ КОЛОНКА (ЗК) предназначена для осуществления теплообмена между хладоносителем, циркулирующим в колонке, и окружающими породами. Её структура представлена на рис.8.3.8:



Обозначения:

- 1 - трубопровод-распределитель
- 2 - запорный кран (задвижка)
- 3 - термометр
- 4 - расходомер
- 5 - трубопровод-коллектор
- 6 - питающая труба
- 7 - отводящая труба
- 8 - оголовок колонки
- 9 - замораживающая труба (металлическая колонна труб)
- 10 - башмак (заглушка).

Рис.8.3.8.Замораживающая колонка.

Охлаждённый на ЗС хладоноситель рассольным насосом нагнетается в распределитель. Оттуда он поступает в питающие трубы ЗК. Отобрав тепло у окружающих пород, хладоноситель по отводящей трубе поступает в коллектор, а оттуда к испарителю ЗС для последующего охлаждения. Для выключения ЗК из работы на питающей и отводящей трубах предусмотрены запорные краны.

К замораживающим трубам предъявляются повышенные требования, так как они могут повреждаться от возникающих в них повышенных напряжений при понижении температуры; от высокого внешнего давления, возникающего в породе вокруг труб вследствие расширения в ней воды в момент замерзания, а также в результате пучения мелкодисперсных пород. В связи с этим для замораживающих труб используют только высокопрочные трубы, изготовленные из стали марок С и Д.

Наибольшее распространение получили бесшовные цельнотянутые трубы с наружным диаметром 146 мм и толщиной стенки 7-11 мм. Соединения труб - муфтовые. Для особо ответственных работ применяют специальные безмуфтовые трубы типа ТЗК (трубы замораживающих колонок), которые соединяются между собой путём ввинчивания одной трубы в другую с помощью конической резьбы. Длина труб - 9-13 м, $D_{\text{наруж}}=146\text{мм}$. Трубы рассчитаны на внутреннее давление 20 МПа.

В нижней части замораживающей трубы устраивают БАШМАК, который представляет собой литой или сварной стальной конус, снабжённый резьбой для соединения с замораживающей трубой. Такая форма башмака облегчает монтаж ЗК в скважине.

Конструкция ОГОЛОВКА ЗК может быть сварной (при малых глубинах) или же съёмной (при больших глубинах, т.е. при многоступенчатом замораживании).

В качестве ПИТАЮЩИХ применяют стальные или полиэтиленовые трубы. Стальные имеют диаметр 25-50 мм с толщиной стенок 3-6 мм. Соединения труб - при помощи муфт. При замораживании пород на средние и большие глубины целесообразно применение полиэтиленовых труб, которые имеют ряд преимуществ по сравнению со стальными, а именно:

1) малый коэффициент теплопроводности, благодаря чему хладоноситель, подаваемый на дно колонки, нагревается в меньшей степени, чем при стальных трубах (т.е. меньше потери холода);

2) возможность транспортировки труб на барабане, что позволяет ускорить спуско-подъёмные операции при монтаже-демонтаже питающих труб;

3) более гладкая поверхность труб, за счёт чего снижаются гидравлические потери движущегося хладоносителя.

ОТВОДЯЩИЕ и СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ трубы (соединительные - между распределителем и питающими трубами) принимают такого же диаметра как и питающие, а выполняют чаще всего из резиновых шлангов.

При монтаже все замораживающие трубы перед спуском в скважины должны подвергаться ГИДРАВЛИЧЕСКОМУ ИСПЫТАНИЮ. Оно состоит в том, что на поверхности собирают полностью (с башмаком) колонну замораживающих труб длиной, равной глубине скважины. При испытании колонну труб заполняют водой и прессуют в течение 10 минут под давлением, зависящим от глубины скважины (P должно быть более веса гидравлического столба). Если при испытании не произошло утечек воды, то колонну признают годной и разбирают, предварительно промаркировав все трубы.

Порядок МОНТАЖА труб в скважине принимается нисходящий на подвесе, то есть на существующем копровом оборудовании подвешивают последовательно все трубы, начиная с самой нижней, в виде плети. В момент присоединения следующей трубы вся плеть опирается на зажимное устройство, установленное в верхней её части.

Способы соединения замораживающих труб между собой:

- 1) на конической резьбе путём ввинчивания одной трубы в другую (трубы ТЗК);
- 2) удлинёнными муфтами на пеньке с суриком с последующей обваркой;
- 3) сваркой встык с ниппелем.

Прочность соединения замораживающих труб между собой должна быть равна прочности самих труб.

Несмотря на предварительную опрессовку соединений, во время спуска колонны в скважину могут произойти частичные нарушения её герметичности. Поэтому после спуска всей колонны производят испытание всех соединений на водонепроницаемость следующим образом: на всю глубину колонну заливают водой (зимой - 10% раствором хлористого кальция). Уровень жидкости в колонне замеряет маркшейдер. Во избежание испарения жидкости колонну плотно закрывают деревянной пробкой и обмазывают глиной или цементом. Если через 5 суток уровень жидкости в колонне снизился не более чем на 2 см на каждые 50 м глубины, то колонну считают пригодной для замораживания. В противном случае колонну труб необходимо перемонтировать после вторичной опрессовки.

После монтажа замораживающих труб из скважины извлекают обсадные трубы (если они там были), а пространство между колонной и стенками скважины заполняют песком для облегчения процесса распространения холода в период активного замораживания.

6. Рассольная сеть и её прокладка.

РАССОЛЬНОЙ СЕТЬЮ называют систему трубопроводов, по которым циркулирует хладоноситель (рассол). Рассолопроводы соединяют ЗС с местом, где ведутся работы по замораживанию горных пород (рис.8.3.9).

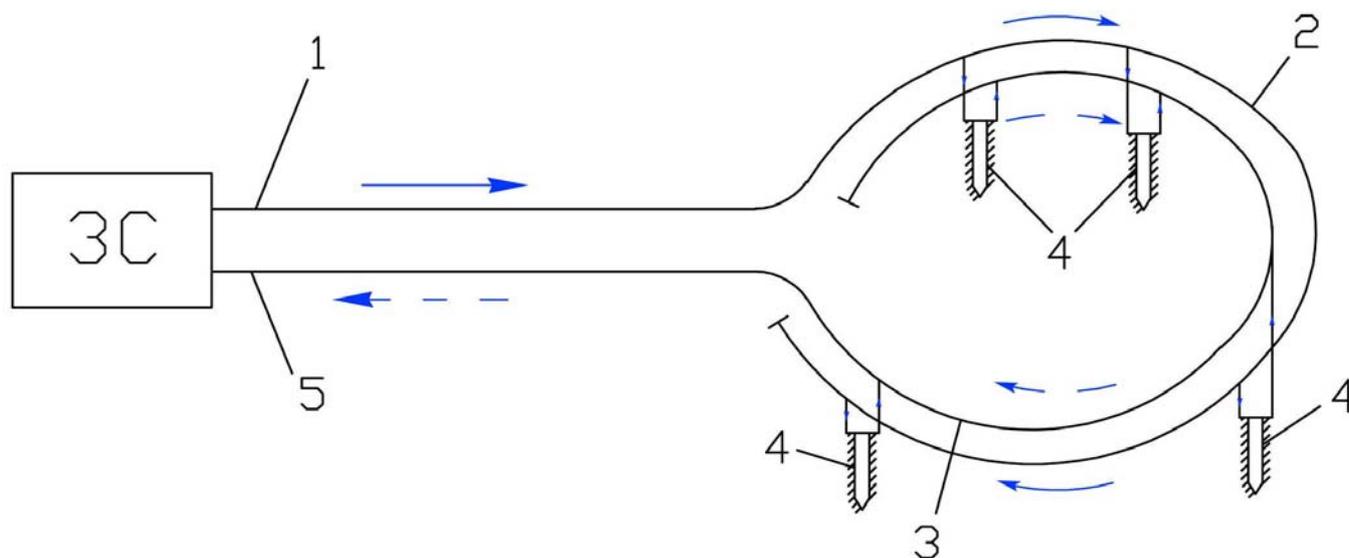


Рис.8.3.9. Схема рассольной сети.

1,5 - прямой и обратный рассолопроводы;
2 – трубопровод-распределитель; 3 – трубопровод-коллектор; 4 - замораживающие колонки.

Магистральные рассолопроводы укладывают в две нитки (прямая и обратная рядом). На прямом устанавливают задвижку.

Для рассолопроводов применяют стальные трубы диаметром 100-200 мм. При необходимости увеличить поперечное сечение рассолопровода вместо двух устраивают четыре ветви диаметром не более 200 мм каждая.

Диаметр труб рассолопровода определяется по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot V}}, \text{ м} \quad (8.3.1)$$

где W - количество рассола, циркулирующего в рассольной сети, м³/час;

V - допускаемая скорость движения рассола в трубах рассолопроводов, $V = 1,5-2$ м/с.

Количество рассола, циркулирующего в рассольной сети, равно:

$$W = \frac{Q_c}{\Delta t \cdot \gamma \cdot c}, \text{ м}^3/\text{час} \quad (8.3.2)$$

где Q_c - производительность ЗС, ккал/час;

Δt - разность температур между прямым и обратным рассолом, град.;

γ - удельный вес рассола, кг/м³;

c - теплоёмкость рассола, ккал/кг*град.

Трасса рассолопровода от ЗС до участка замораживания горных пород должна проходить по кратчайшему направлению. Трубы соединяются при помощи фланцев, муфт или сварки (чаще всего - сварка). При длине рассолопровода более 100 м необходимо устраивать компенсаторы длины, так как вследствие понижения температуры трубы будут укорачиваться, что вызовет нарушение целостности соединений.

Непроизводительные потери холода в рассолопроводах могут достигать 50%. Поэтому для их сокращения трубы необходимо тщательно изолировать (при хорошей изоляции удаётся потери уменьшить до 3%). Рассолопроводы лучше всего прокладывать в траншеях, вырытых в земле. Когда это невозможно, их кладут по поверхности земли с тщательной теплоизоляцией.

Для разводки хладоносителя в ЗК непосредственно у выработки или вблизи неё устраивают специальное помещение, называемое ГАЛЕРЕЕЙ или ФОРШАХТОЙ (рис.8.3.10).

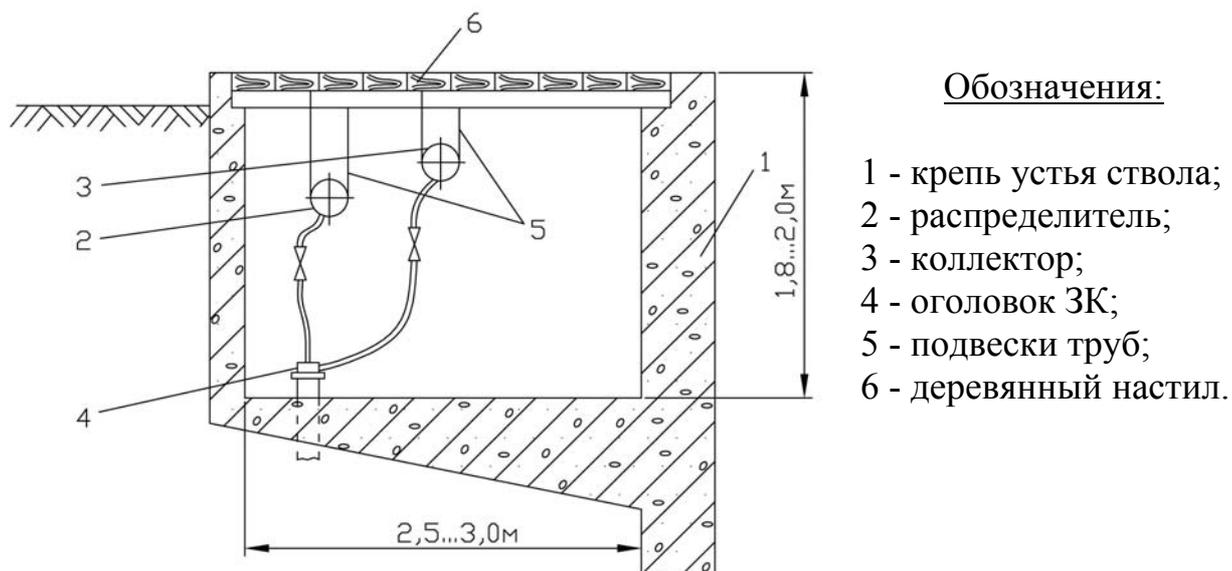


Рис.8.3.10. Конструкция подземной галереи.

ГАЛЕРЕЯ служит для размещения в ней распределительного и коллекторного рассолопроводов и контроля за работой ЗК. Кроме того, размещение рассольной системы под землёй позволяет освободить место для производства строительных и

монтажных работ на поверхности (оснащение - параллельно).

Распределитель и коллектор собирают из отдельных отрезков труб с помощью сварки или на фланцах с применением резиновых прокладок. На фланцах предпочтительнее, потому что сварка может лопнуть при низких температурах. Штуцеров на распределителе и коллекторе должно быть на 10-15% больше числа рабочих скважин на случай подсоединения к системе резервных скважин.

Включение ЗК в рассольную сеть. Для нормального равномерного процесса замораживания горных пород необходимо, чтобы в каждую колонку поступало одинаковое количество хладоносителя. Его расход в каждой колонке будет зависеть от схемы её подключения к рассолопроводам. Известны следующие схемы подключения: **параллельная, последовательная и смешанная.**

При схеме ПАРАЛЛЕЛЬНОГО (тупикового) включения колонок в сеть пути, проходимые хладоносителем через каждую из колонок, будут одинаковы, а следовательно гидравлические сопротивления также равны (рис.8.3.9). Расход хладоносителя в каждой из колонок по этой схеме будет одинаковым. Достоинство схемы: если из строя вышла одна из колонок, то остальные продолжают работать. Недостаток схемы: повышенный расход труб.

Параллельная схема подключения колонок получила наиболее широкое распространение.

При ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ подключении ЗК охлаждающий рассол, вышедший из одной колонки, поступает в соседнюю и проходит таким образом последовательно через группу ЗК. В чистом виде эта схема применяется редко, главным образом при замораживании грунтов на участках небольшой протяжённости и малых (10-20 м) глубинах колонок. Недостаток последовательной схемы: в случае неисправности одной колонки прекращается работа всех ЗК.

СМЕШАННУЮ схему подключения ЗК в рассольную сеть применяют при переменных глубинах ЗК или при различных условиях их работы (воды солёные и пресные, термические и нормальные и т.д.). Среди смешанных различают ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ и ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ модификации. В любом случае число последовательно включаемых ЗК определяют исходя из условия, чтобы сумма их гидравлических сопротивлений (глубин) в группе не превышала гидравлического сопротивления одиночной глубокой ЗК, включённой в рассольную сеть параллельно.

7. Режимы замораживания.

После монтажа ЗС и рассольной сети и соответствующих испытаний производят заправку ЗС хладагентом, а рассольной сети - хладоносителем. Затем проверяют работу ЗС и приступают к работам по замораживанию, вначале активному, а затем - пассивному.

АКТИВНОЕ ЗАМОРАЖИВАНИЕ - это создание лёдопородного ограждения требуемых размеров с заданными физико-механическими свойствами.

Замораживающие колонки включают в работу, как правило, одновременно. Температуру хладоносителя понижают постепенно во избежание возникновения больших температурных напряжений в системе трубопроводов и возможных разрывов в сети вследствие сжатия металла при низких температурах. В первые сутки

температуру рассола принимают -5°C с последующим понижением до рабочей за 6-7 дней (на 3-4 градуса каждый день).

В первые 10-15 дней замораживания разность температур между прямым и обратным рассолом составляет $4-5^{\circ}\text{C}$, а затем она медленно снижается до $2-3^{\circ}\text{C}$ к концу замораживания (разница в 1°C также считается нормальной).

Толщина ЛПО по радиусу, образующаяся за сутки вокруг ЗК, вначале составляет 6-7 см, затем снижается до 3-4 см и наконец достигает 1 см (применительно к песчаным пластам). Средняя - 2,5 см/сутки. Для глинистых пластов средняя скорость образования ЛПО вокруг ЗК - 1,5 см/сутки.

Скорость нарастания толщины ЛПО Е зависит от характера замораживаемых горных пород, количества воды, содержащейся в них, температуры охлаждающего рассола, расстояния между ЗК и других факторов.

Распределение температуры вокруг ЗК по вертикали на разных глубинах будет неодинаковым. Это объясняется неоднородностью пересечённых пластов и переменной температурой рассола, поднимающегося по ЗК.

Наиболее интенсивно холод распространяется в валунных и галечниковых отложениях, крупнозернистых песках, наименее интенсивно - в плотных суглинках и глинах.

После образования ЛПО проектных размеров переходят к периоду **ПАССИВНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ** горных пород, т.е. к поддержанию ЛПО полученных размеров и свойств во время выполнения горнопроходческих работ. Задача пассивного замораживания сводится к удалению от ЛПО тепла, притекающей к нему от незамороженных окружающих горных пород.

Процесс замораживания прекращают только после того, как шахтный ствол будет пройден и закреплён постоянной крепью несколько ниже замороженной зоны.

8. Методы контроля при замораживании горных пород.

При замораживании горных пород необходимо осуществлять контроль 3-х видов:

1. За работой замораживающей станции.
2. За работой замораживающих колонок.
3. За процессом формирования лёдопородного ограждения.

КОНТРОЛЬ ЗА РАБОТОЙ ЗС заключается в поддержании заданного режима замораживания. Для этого систематически следят за показаниями контрольно-измерительных приборов (термометров, манометров, рассоломеров, водомеров и др.), а в случае необходимости вносят соответствующие коррективы в работу ЗС. Кроме того, операторы ЗС следят за тем, чтобы не происходило утечек хладоносителя во всей системе, а также за исправностью теплоизоляции рассолопроводов.

КОНТРОЛЬ ЗА РАБОТОЙ ЗК осуществляется визуально и по замеру температур прямого и обратного рассола ЗК. **ВИЗУАЛЬНЫЙ**: наличие на соединительных, отводящих шлангах и оголовке ЗК свежего, белого пушистого инея свидетельствует о нормальной работе ЗК. Жёлтый, рыхлый, легко отделяющийся при постукивании иней свидетельствует о том, что температура в галерее ниже температуры хладоносителя в колонке, т.е. колонка не работает.

Более совершенным является контроль по количеству холода, переданного ЗК-ми горным породам.

$$Q_l = G \cdot \gamma \cdot c \cdot \Delta t, \text{ ккал} \quad (8.3.3)$$

где Q_l - количество холода, которое передаёт одна ЗК в единицу времени;

G - расход хладоносителя через колонку, замеренный рассоломером или определённый по следующей формуле:

$$G = \frac{W}{N}, \text{ м}^3/\text{час} \quad (8.3.4)$$

где N - количество работающих колонок.

Замер температуры рассола осуществляют с помощью термометров, установленных на оголовке колонке, или с помощью специальных термодатчиков (термопар). Она должна быть одинаковой во всех колонках с допустимыми колебаниями в пределах 1-2°C.

Общее количество холода Q , выносимое всеми колонками, будет равно:

$$Q = k \cdot Q_l \cdot N \cdot \tau, \text{ ккал} \quad \text{или} \quad (8.3.5)$$

$$Q = k \cdot W \cdot \gamma \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \cdot \tau, \text{ ккал} \quad (8.3.6)$$

где $k = 1,05 - 1,1$ - коэффициент потерь холода в рассольной сети;

T_1 и T_2 - температура прямого и обратного рассола в магистральных трубопроводах, град.;

τ - время замораживания, час.

Значение Q сравнивают с количеством холода, выработанным ЗС за тот же период времени. Они должны быть близки.

КОНТРОЛЬ ЗА ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ЛПО осуществляется с помощью термонаблюдательных, гидронаблюдательных скважин, ультразвукового способа.

ТЕРМОНАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ СКВАЖИНЫ позволяют осуществлять периодические замеры температур замораживаемых горных пород в течение всего процесса замораживания. По температурам строят графики развития температурных полей, анализ которых даёт возможность установить границы ЛПО на данный момент замораживания. Грубо: если термодатчик показывает температуру ниже температуры замерзания воды, то в данном месте ЛПО образовалось.

Термонаблюдательные скважины бурят тем же диаметром, что и замораживающие, оборудуют замораживающими трубами и заполняют хладоносителем (рис.8.3.11). В трубы опускают термодатчики, присоединённые к канату и кабелю, и расположенные в кровле и почве каждого водоносного горизонта.

Число термонаблюдательных скважин принимается не менее 10% числа замораживающих скважин (минимальное количество – 4). Их располагают группами по одной линии (одна - между двумя соседними ЗК, вторая - на проектируемой границе ЛПО, остальные - за пределами ЛПО) (рис.8.3.12). Замеры производятся 1-2 раза в сутки.

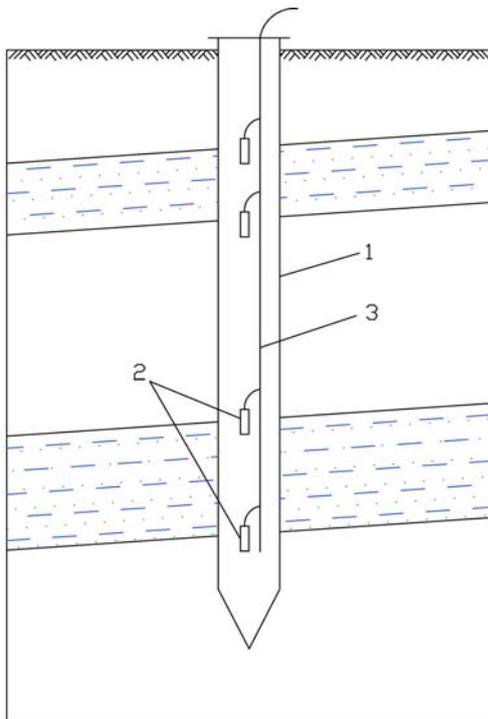


Рис.8.3.11. Термонаблюдательная скважина.

1 – замораживающая колонка; 2 - термодатчики; 3 - канат подвески и кабель;

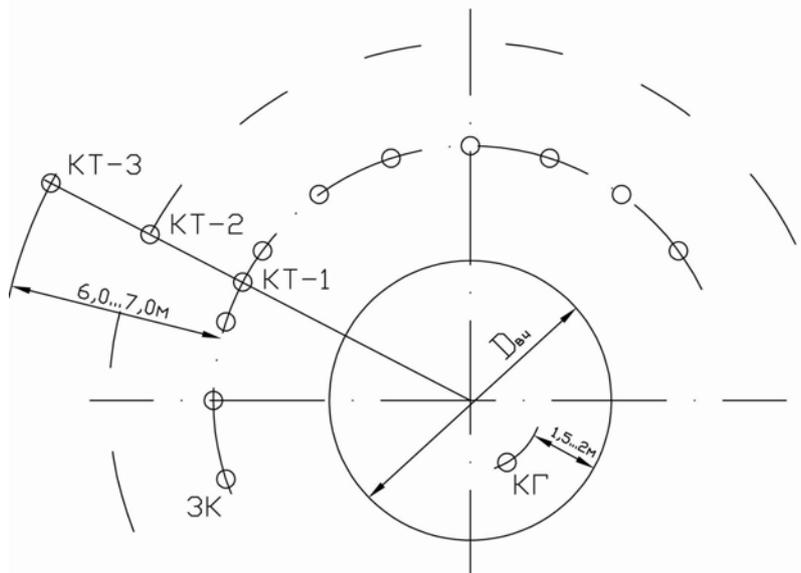


Рис.8.3.12. План расположения контрольных скважин.

КТ- контрольная термонаблюдательная скважина; КГ- контрольная гидронаблюдательная скважина.

ГИДРОНАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ СКВАЖИНЫ используют для контроля за процессом смыкания отдельных лёдопородных тел в замкнутое ограждение. Контроль основан на том, что до смыкания ЛПО в замкнутое кольцо вода в пределах водоносного горизонта имеет гидравлическую связь с водой за пределами контура ЛПО. После смыкания отдельных лёдопородных тел, образовавшихся вокруг каждой из ЗК, теряется гидравлическая связь пород внутри ЛПО и вне ЛПО. А так как в процессе промерзания водоносных пород объём льда увеличивается где-то на 9%, то вода, находящаяся в породах замкнутого пространства, начинает вытесняться. В результате этого уровень воды в гидронаблюдательной скважине начинает подниматься, что свидетельствует о сплошности ЛПО в контролируемом водоносном горизонте.

Гидронаблюдательные скважины располагают внутри контура ЛПО на расстоянии от него 1,5-2 м из расчёта одна скважина на один водоносный горизонт. Можно использовать одну гидронаблюдательную скважину для нескольких водоносных горизонтов, но при этом у неё должно быть сложное строение.

Гидронаблюдательные скважины бурят после бурения замораживающих скважин и оборудуют как скважины для водопонижения. Уровень воды замеряется при помощи ЭЛЕКТРОУРОВНЕМЕРА.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ применяется для установления сплошности и толщины ЛПО по всему периметру. Он основан на законах распространения упругих колебаний в пористых породах. Скорость распространения ультразвука в замороженных породах значительно выше из-за увеличения плотности по-

роды. Изменение скорости ультразвука в зависимости от агрегатного состояния горных пород позволяет оценить процесс формирования ЛПО во времени и пространстве.

Для ультразвукового контроля за процессом замораживания горных пород разработаны специальные приборы УКЛЦ-1, МАП-1. Принцип работы этих приборов состоит в том, что снаряд-излучатель и снаряд-приёмник синхронно опускают в скважины, расположенные по разные стороны от ЛПО, и регистрируют время пробега ультразвуковых импульсов между ними с помощью измерительной аппаратуры на пульте оператора. По результатам измерений строят диаграммы "глубина-время" для каждого контролируемого горизонта. Периодическое измерение времени пробега ультразвука на одних и тех же горизонтах позволяет выявить изменение скорости ультразвука, а следовательно, и степень промороженности пород. Анализ диаграмм позволяет определить сплошность и толщину ЛПО.

Ультразвуковой способ контроля позволяет оценивать и напряжённое состояние ЛПО. С этой целью, помимо скорости распространения продольной ультразвуковой волны, необходимо измерять изменения таких акустических параметров, как скорость затухания волны, скорость распространения поперечных волн и др.

8.4. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПОРОД.

4 ЧАСА

ПЛАН.

1. Технологические схемы замораживания.
2. Проходка шахтных стволов в замороженной зоне.
3. Крепление стен ствола в районе замороженных пород.
4. Оттаивание замороженных пород и ликвидация замораживающих скважин.
5. Особые случаи замораживания горных пород.

Л.1, с.133-146,158-169,
Л.5, с.98-115.

1. Технологические схемы замораживания.

В предыдущих лекциях в качестве примера была рассмотрена наиболее простая и распространённая из известных технологическая схема замораживания горных пород. В зависимости от горно- и гидрогеологических условий, глубины расположения водоносных горных пород, их мощности и начальной температуры разработки и применяются различные модификации основной схемы. Существуют следующие технологические схемы замораживания горных пород:

ОДНОСТУПЕНЧАТАЯ, МНОГОСТУПЕНЧАТАЯ, ЗОНАЛЬНАЯ, ЛОКАЛЬНАЯ.

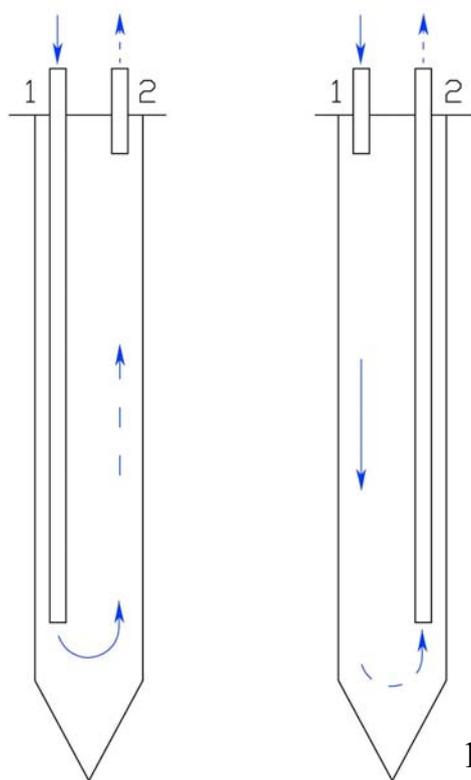
При **ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ** технологической схеме процесс замораживания осуществляется сразу на всю глубину водоносных неустойчивых пород. Для этого с поверхности земли бурятся скважины, монтируются ЗК, которые оборудуются только питающей и отводящей трубами. При этом в зависимости от направления движения хладоносителя в колонке различают **ПРЯМУЮ** и **ОБРАТНУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ** (рис.8.4.1).

Направление циркуляции хладоносителя в колонке зависит от расположения обводнённых пластов по глубине. Наиболее распространена **прямая циркуляция хладоносителя**, при которой хладоноситель по питающей трубе подаётся до дна ЗК и возвращается по межтрубному пространству к отводящему патрубку. Прямая циркуляция рекомендуется в том случае, когда на более глубоких горизонтах встречаются более сложные условия. Обычно пласты пород, залегающие на большей глубине, имеют более высокие горное давление, естественную температуру, а иногда и более высокие скорости движения подземных вод.

При **обратной циркуляции хладоносителя** он подаётся в межтрубное пространство, опускается до дна колонки и по отводящей трубе возвращается к её устью. Обратная циркуляция хладоносителя рекомендуется при необходимости в первую очередь и в короткие сроки заморозить верхние пласты обводнённых пород и начать проходку ствола с условием, что нижележащие пласты пород будут заморожены за время проходки верхнего участка ствола.

Одноступенчатая схема замораживания применяется при мощности обводнённых пород не более 100-120 м, залегающих на небольшой глубине от поверхности при начальной температуре породы не выше 10°C. При больших глубинах замораживания из-за значительной разницы температур входящего и выходящего рассола применение одноступенчатой схемы приводит к замораживанию излишних объёмов

породы (рис.8.4.2). При этом значительно возрастают сроки и стоимость замораживания.



1 – питающая труба
2 – отводящая труба

Рис. 8.4.1. Одноступенчатая схема замораживания.

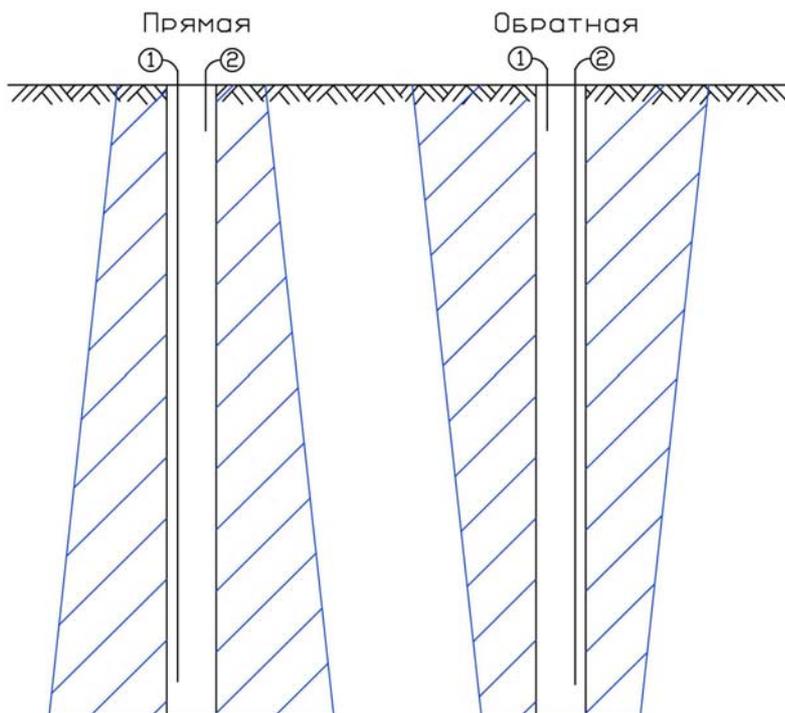


Рис. 8.4.2. Форма ЛПО при большой мощности пород и одноступенчатой схеме.

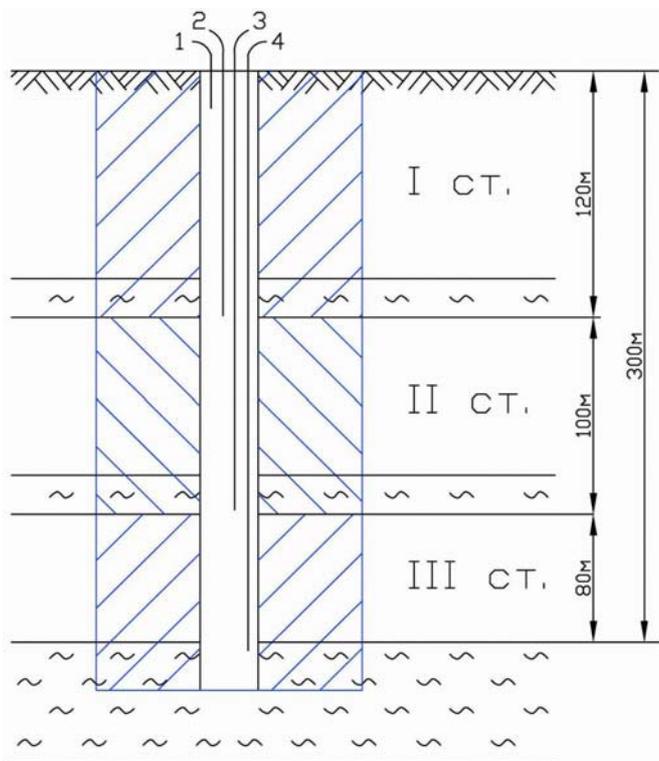
МНОГОСТУПЕНЧАТАЯ технологическая схема замораживания осуществляется последовательными во времени нисходящими заходками (ступенями) (рис.8.4.3). Для этого с поверхности земли на всю глубину неустойчивых водоносных пород бурятся замораживающие скважины, которые оборудуются ЗК-ми. В колонки опускают питающие и отводящие трубы до намеченных границ ступеней замораживания (рис.8.4.3). Границы ступеней приурочивают к водоупорным пластам. Замораживание в каждой ступени достигается за счёт интенсивной прямой циркуляции хладоносителя в пределах каждой ступени. При этом в вышерасположенных ступенях также происходит теплообмен, но в значительно меньшей степени, за счёт естественной конвекции.

При многоступенчатой схеме замораживания обычно применяется прямая циркуляция хладоносителя. В отдельных случаях в верхней ступени применяют обратную циркуляцию, а во всех последующих ступенях - прямую.

Когда окончено замораживание пород 1-й ступени, то одновременно с началом замораживания пород 2-й ступени приступают к горнопроходческим работам в пределах 1-й ступени. Высоту одной ступени (заходки) принимают с таким расчётом, чтобы за время проходки и крепления в первой заходке было образовано ЛПО в нижележащей заходке. Время проходки ствола по этой схеме приблизительно будет равно времени замораживания.

Область применения многоступенчатой схемы замораживания:

- 1) мощность обводнённых пород более 100-120 м;
- 2) обводнённые пласты пород разделены водоупорами;
- 3) в верхней толще пород содержатся пресные, а в нижней - засоленные воды;
- 4) начальная температура горных пород неравномерна по глубине и достигает 20-25°C.



Порядок подсоединения питающих и отводящих трубопроводов во время замораживания:

I ступень: №2 – распределитель
№1 – коллектор

II ступень: №3 – распределитель
№2 – коллектор

III ступень: №4 – распределитель
№3 – коллектор

Рациональная высота одной ступени – 80-120м.

Рис.8.4.3. Конструкция ЗК при многоступенчатой схеме (рисуеться поэтапно).

Преимущества многоступенчатой схемы по сравнению с одноступенчатой:

- 1) процесс образования ЛПО в каждой ступени происходит быстрее, тем самым сокращается время замораживания;
- 2) возможность регулирования процессом замораживания;
- 3) требуется ЗС меньшей мощности; снижается стоимость замораживания;
- 4) горнопроходческие работы ведутся одновременно с замораживанием.

ЗОНАЛЬНАЯ технологическая схема применяется в тех случаях, когда водоносные породы залегают на значительной глубине от поверхности (более 150 м) и имеют мощность, не превышающую 100 м, а вышележащие покрывающие породы не подлежат замораживанию. В этом случае и технически, и экономически нецелесообразно замораживать породы, в которых можно горнопроходческие работы вести обычным способом. При зональной схеме замораживающие скважины бурят с поверхности, а процесс замораживания осуществляют (концентрируют) только в пределах водоносных пород. Для этого в ЗК-ах выше кровли водоносных пород устанавливают специальные ограничители распространения холода (диафрагмы), которые ограничивают циркуляцию хладоносителя в колонке (рис.8.4.4). Такая конструкция колонок в значительной степени снижает тепловые потери в породах, не подлежащих замораживанию.



Обозначения:

- 1 – водоносные породы;
- 2 – контур ствола;
- 3 – ЗК;
- 4 – питающая труба;
- 5 – отводящая труба;
- 6 – распределитель;
- 7 – коллектор;
- 8 – ограничитель распространения холода;
- 9 – ЛПО.

Рис.8.4.4. Зональная схема замораживания.

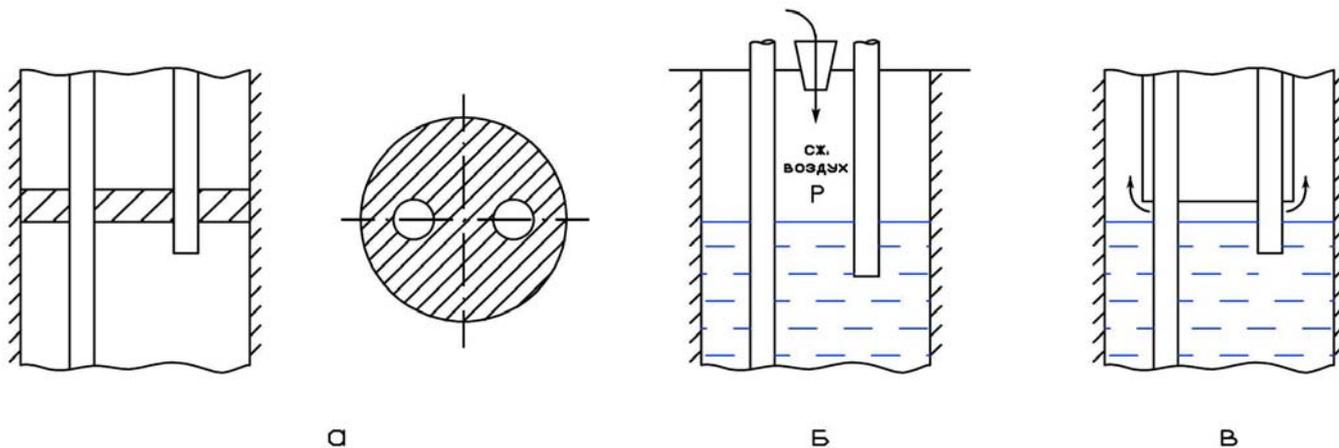
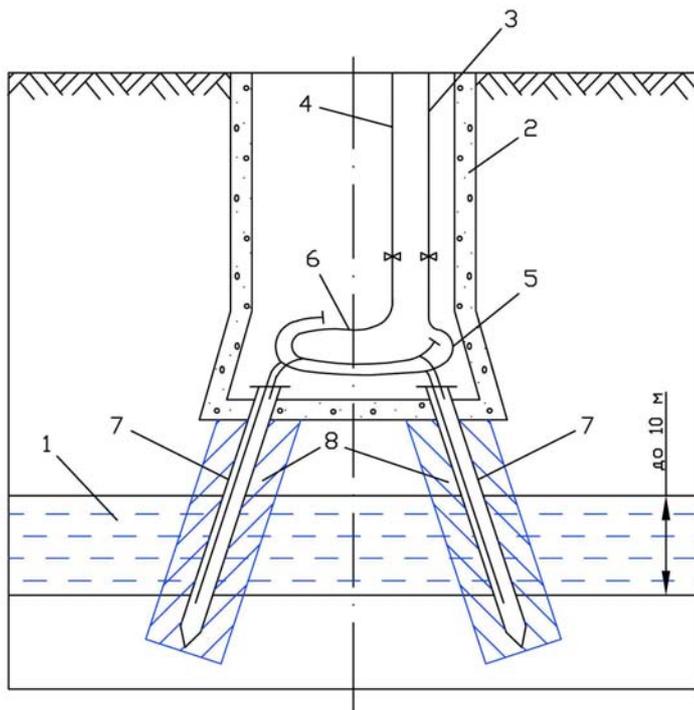


Рис.8.4.5. Ограничители холода в колонках зонального замораживания.

Известны следующие виды ограничителей распространения холода (рис.8.4.5): а) установка в ЗК металлической диафрагмы; б) подача в устье ЗК сжатого воздуха, который соответствующим давлением отжимает рассол в кольцевом пространстве на заданную глубину; в) вариант (б) дополняется трубой большего диаметра, по которой подаётся воздух и создаёт на нужной глубине воздушную подушку. От варианта (б) отличается большей точностью установки; г) водяная (ледяная) пробка выше рассола. Самый простой ограничитель.

При **ЛОКАЛЬНОЙ** технологической схеме замораживающие скважины бурят из забоя выработки (ствола), а подачу хладоносителя к колонкам осуществляют по трубам от ЗС, расположенной на поверхности (рис.8.4.6, плакат). Локальную схему замораживания применяют при глубоком залегании водоносных горных пород и сравнительно малой их мощности (когда бурить замораживающие скважины с земной поверхности нецелесообразно) или же в случае неожиданного обнаружения пласта водоносных пород в процессе проходки ствола.



Обозначения:

1 – неустойчивые водоносные породы; 2 – крепь ствола; 3,4 – прямой и обратный магистральные трубопроводы, проложенные по стволу; 5,6 – кольцевые трубопроводы: распределитель и коллектор; 7 – ЗК с питающими и отводящими трубами; 8 – созданное ЛПО.

Рис. 8.4.6. Схема локального замораживания.

Если для конкретных условий подходит несколько схем, то выбор той или иной технологической схемы замораживания должен базироваться на предварительном сравнении технико-экономических показателей каждой схемы.

СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗАМОРАЖИВАЮЩИХ СКВАЖИН при проходке стволов (на поверхности земли) зависит от формы и размеров ствола в проходке, расчётной толщины ЛПО, расстояния между скважинами. Подробно методика определения толщины ЛПО и диаметра расположения замораживающих скважин изложена в Лекции 8.2.

Замораживающие скважины вокруг вертикальной выработки располагают по концентрическим окружностям. Одна окружность - однорядная схема, две - двухрядная, три - трёхрядная и т.д. Число рядов замораживающих скважин вокруг выработки зависит от нагрузок на ЛПО, размеров выработки, свойств пересекаемых пород. Если нужно создать ЛПО толщиной 3-5 м, то применяют однорядную схему расположения колонок, если 5-9 м, то - двухрядную (при этом $D_{\text{внеш.}}$ на 3-5 м больше $D_{\text{внут.}}$). Если нужна большая толщина E , то используют 3 и более рядов.

В случае, если в основании ствола отсутствует водоупорный пласт, то для устройства зумпфа или бетонной подушки породы в пределах ствола замораживают с помощью скважин, пробуренных в контуре ствола. Количество таких скважин принимают из расчёта 4-5 м² площади на одну замораживающую колонку. Скважины располагают равномерно по всей площади забоя.

2. Проходка шахтных стволов в замороженной зоне.

После создания ЛПО требуемых размеров приступают к проходке ствола - выемке породы и возведению временной и постоянной крепи. При этом работу ЗС переводят на ПАССИВНЫЙ режим замораживания, когда вырабатывается количество холода, необходимое для поддержания ЛПО в замороженном состоянии с заданными физико-механическими свойствами. Как показывает практика, хладопроизводительность ЗС в пассивном режиме приблизительно составляет 50% её хладопроизводительности в активном режиме.

СОВМЕЩЁННАЯ схема без временной крепи применяется при проходке стволов (или их участков) относительно небольшой глубины (до 100м). Заключается в выемке породы в забое ствола на высоту кольца тубинговой крепи (как правило, 1 м) с последующим монтажом этого кольца. Зазор между тубингами и породой тампонируется аналогично последовательной схеме после монтажа 3-4-х колец. Данная технология получила название "проходка ствола с креплением тубингами "на подвесе".

СПОСОБ РАЗРАБОТКИ ПОРОД В ЗАБОЕ зависит от свойств пересекаемых пород и степени их промороженности.

Горные породы, заключённые внутри ЛПО (забой ствола), должны находиться в талом состоянии (теория). В практике, однако, чаще всего встречаются случаи, когда такие породы частично или полностью оказываются замороженными.

В замороженном состоянии водоносные пески и плывуны приобретают свойства своеобразного, очень крепкого, песчаника. От массива куски такой породы отделяются в форме линз с острыми краями. В глинистых породах холод распространяется значительно хуже, чем в песчаных, так как в порах глины много плёночной (связанной) воды. При замораживании глинистого материала в нём развивается вязкость; и чем жирнее глина, тем большую вязкость она приобретает.

Разработка без взрывных работ возможна в случае мягких непромороженных пород. При этом несвязные рыхлые породы типа песков и илов вынимают сразу (без рыхления) грейферными грузчиками с ручным или механическим вождением. Гравелистые породы, мел и мергель, а также слабопромороженные пески и глины (до температуры $-2-3^{\circ}\text{C}$) разрушают пневматическими отбойными молотками лёгкого и тяжёлого типа, пневмомолами; глины и суглинки - пневматическими лопатами с последующей погрузкой грейферными грузчиками в бадьи и выдачей на поверхность. Для рыхления слабопромороженных пород ЦНИИПОДЗЕММАШем была разработана машина СОМ (стволовая отбойная машина) (плакат), которая навешивается под полком и имеет гидравлический отбойник в виде лопаты, способный погружаться в породу до 70 см.

Температура воздуха в стволе, проходимом способом замораживания, понижается до $-7-10$ град.С. А применение пневмоинструментов при низких температурах имеет существенный недостаток: содержащаяся в сжатом воздухе влага замерзает в золотниках пневмоинструментов и в шлангах. Поэтому в этом случае необходимо применять меры по обезвоживанию сжатого воздуха. С этой целью его перед подачей в ствол пропускают через змеевик, находящийся в баке с охлаждающим рассолом.

Порядок разработки пород в забое: вначале выемка вруба по центру ствола глубиной 70 см (если породы непроморожены) или 50 см (если породы проморожены), а затем отбойка породы послойно по всему сечению ствола в направлении от центра к периферии. Число проходчиков, занятых на этой работе, определяется из расчёта $2,5 - 3,5 \text{ м}^2$ площади забоя на одного человека с отбойным молотком.

Проходка ствола *буровзрывным способом* осуществляется по крепким трещиноватым замороженным и незамороженным породам. При этом необходимо соблюдать меры предосторожности, не допуская таких деформаций ЛПО, которые могут повредить замораживающие колонки, особенно если они из-за отклонений при бу-

рении скважин находятся близко к контуру ствола. Сотрясение пород при взрыве особенно опасно при пересечении контакта неустойчивых и крепких пород. Бурение шпуров чаще всего осуществляется перфораторами ПП-63с, ПР-30Л и др. Коронки долотчатой формы. Диаметр шпуров - 43-52 мм. Бурение ведут с продувкой сжатым воздухом или промывкой 2-3% раствором хлористого кальция, предохраняющим буровой инструмент от примерзания к стенкам шпура. Шпуры глубиной до 1,5 м располагают по 3-4 концентрическим окружностям и с уклоном к центру ствола. Угол наклона врубовых шпуров - 70 град., а периферийных - 75 град., причём их устья удалены от стен ствола на 30-40 см.

Взрывание шпуров производится последовательными группами с интервалом замедления 2 с. Количество одновременно взрывааемых шпуров рекомендуется 8-10 шт. В качестве ВВ применяют аммониты всех типов, которые являются безопасными и работоспособными при низких температурах (нитроглицериновые ВВ применять нельзя). Удельный расход ВВ принимается небольшим и в зависимости от крепости пород изменяется в пределах 0,5-0,7 кг/м³ породы в массиве. Величина заряда врубовых шпуров - 1-1,5 кг, периферийных - 0,5-1 кг. Часть породы, которая остаётся невзорванной у контура ствола, должна отбиваться отбойными молотками.

При проходке стволов способом замораживания никаких специальных водоотливных средств не предусматривается. Вода, находящаяся в незамороженной породе, удаляется из забоя при погрузке породы в бадьи. Поступление в забой значительного количества воды указывает на наличие "окна" в ЛПО. Если прорыв воды произошёл при пересечении крепких горных пород, а вышележащие неустойчивые водоносные породы ограждены постоянной крепью, то можно опускать насосы и откачивать воду на поверхность. Если прорыв воды произошёл в слабых породах (песок, ил, глина, мергель, мел и др.), организация водоотлива из забоя в этом случае НЕДОПУСТИМА, так как движущаяся вода может разрушить ЛПО, что приведёт к серьёзным осложнениям. Поэтому в данном случае работы по проходке нужно прекратить, ствол затопить водой до нормального гидростатического уровня и произвести дополнительное замораживание пород.

Для проветривания ствола используются те же вентиляторы, что и при обычном способе проходки, только подаваемый в ствол воздух подогревается калориферами.

3. Крепление стен ствола в районе замороженных пород.

Постоянная крепь при проходке стволов способом замораживания возводится в особенных условиях, а именно: при отрицательных температурах горных пород и воздушной среды в стволе, температурных колебаниях, вызываемых сначала замораживанием, а затем оттаиванием пород, в условиях неравномерных нагрузок, возникающих при оттаивании. В связи с этим к постоянной крепи шахтных стволов, проходимых способом замораживания, предъявляются следующие ТРЕБОВАНИЯ:

- 1) обладать повышенной прочностью и водонепроницаемостью по сравнению с обычной крепью;
- 2) обладать способностью не изменять своих физико-механических свойств при замораживании и оттаивании;
- 3) быть стойкой по отношению к разрушающему воздействию агрессивных подземных вод и рассолов;

В замороженной зоне применяют все виды шахтной крепи, которые используются для крепления стен стволов в настоящее время: БЕТОННАЯ, ЖЕЛЕЗОБЕТОННАЯ, МЕТАЛЛОБЕТОННАЯ (бетон между двумя металлическими обечайками), МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ (чугунные тубинги). В практике шахтного строительства нашей страны наибольшее применение получили бетонная и металлическая (тубинговая) крепи. Применение же монолитной железобетонной крепи оказалось малоуспешным в связи с большой сложностью производства работ. Часто применяют комбинированные двух-, трёхслойные крепи (рис.8.4.8), состоящие из:

- чугуновых тубингов и монолитного бетона, укладываемого в затубинговое пространство (возможна дополнительно п/э плёнка);
- двух рядов тубингов и пластобетона между ними и т.д.

Временная бетонная крепь оставляется в закрепном пространстве.

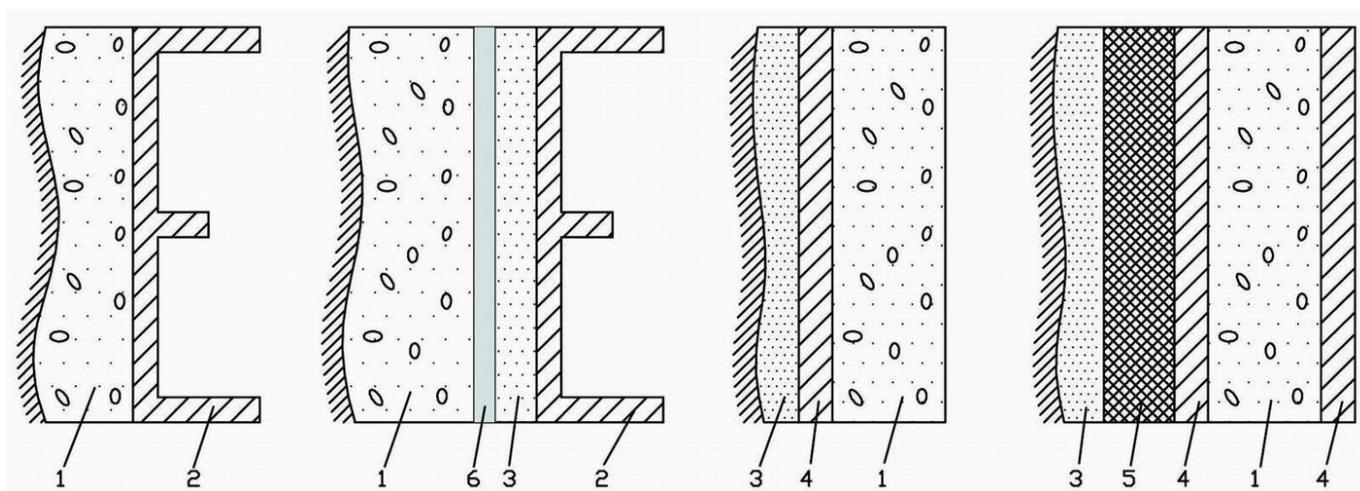


Рис.8.4.8. Виды комбинированных крепей стволов.

1 – бетон; 2 – чугуновые тубинги; 3 – тампонажный слой; 4 – стальная обечайка; 5 – битум; 6 – полиэтиленовая пленка

В случае комбинированной крепи её бетонный элемент предназначен для восприятия горного давления, а металлический (тубинги) - для восприятия гидростатического напора подземных вод.

При возведении бетонного слоя постоянной крепи стволов в замороженной зоне необходимо решать серьёзную ПРОБЛЕМУ - **обеспечение нормальных условий для твердения цемента**. Нормальный процесс твердения цемента происходит при положительных температурах (наиболее благоприятные - +15-30°C). Если бетон до замерзания набрал свою первоначальную прочность, то после оттаивания он будет продолжать набирать её дальше до окончательной. Если же бетон не набрал до замерзания своей первоначальной прочности, то после оттаивания он разрушится.

Обеспечить нормальные условия для твердения цемента можно двумя способами:

- 1) ускорение процесса твердения бетона для того, чтобы время, в течение которого он остывает до 0° С, использовать с максимальной отдачей. Для этого применяют цементы высокосортных марок или специальные цементы, уменьшают водоцементное отношение ($V:Ц < 0,65$) и вводят в бетонную смесь специальные добавки - ускорители схватывания, из которых наиболее распространены:
 - 2% от веса цемента хлористого кальция уменьшают сроки схватывания в 2,5 раза;

- кальцинированная сода;
- жидкое стекло.

2) повышение температуры бетонной смеси при приготовлении позволяет увеличить время, в течение которого она остывает до 0°C . Для этого используют принцип сохранения и использования тепла, выделяемого цементом при гидратации в процессе твердения (экзотермическое тепло). Поэтому для приготовления бетонной смеси целесообразно применять высокомарочные цементы и глинозёмистый цемент (дороже портландцемента в 2-3 раза), выделяющие при твердении большое количество тепла (а глинозёмистый твердеет и при отрицательной температуре). Кроме этого, применяют подогрев инертных материалов и воды в процессе приготовления бетонной смеси: щебень до $+40^{\circ}\text{C}$, песок до $+60^{\circ}\text{C}$, воду до $+90^{\circ}\text{C}$. Как показывает практика, бетонная смесь при выходе с бетономешалки должна иметь температуру в районе $+40-50^{\circ}\text{C}$ (ниже $+40^{\circ}\text{C}$ нельзя, так как не будет достигнут желаемый эффект).

Сочетание высокомарочных цементов с ускорителями твердения, подогревом воды и инертных, повышенным расходом цемента и т.д. позволяет получить бетон необходимой прочности. Кроме того, для уменьшения потерь тепла бетонную крепь при её возведении иногда теплоизолируют от замороженных пород.

Вторая ПРОБЛЕМА, которую необходимо решать при возведении постоянной крепи стволов в районе водоносных замороженных пород - это **обеспечение её водонепроницаемости** после оттаивания пород. Эта проблема решается путём проведения ГИДРОИЗОЛЯЦИИ крепи.

Гидроизоляция комбинированной крепи (а таких большинство) в основном сводится к гидроизоляции тюбингов и состоит в УПЛОТНЕНИИ СЛЕДУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЮБИНГОВОЙ КРЕПИ:

1) вертикальных (радиальных) и горизонтальных (кольцевых) швов - либо путём использования свинцовых прокладок толщиной 2 мм по всей площади соприкосновения тюбингов, либо путём укладки и чеканки свинцовой эллиптической проволоки в специальном пазу (рис.8.4.9) с последующим заполнением оставшейся части шва (паза) водонепроницаемым расширяющимся цементом (ВРЦ).

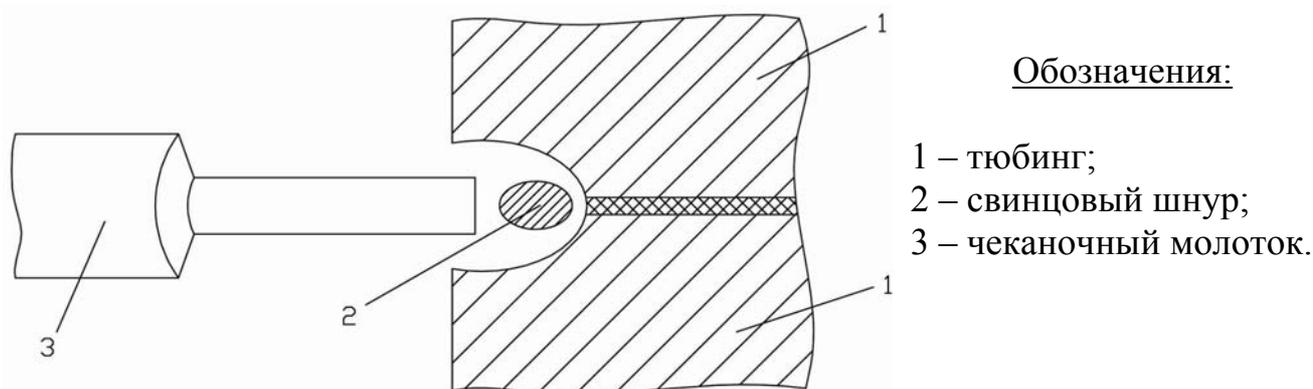


Рис.8.4.9. Гидроизоляция швов тюбинговой крепи.

Наряду с традиционным свинцом в последние годы хорошо себя зарекомендовал для гидроизоляции тубингов герметик на основе графита, разработанный специалистами Института физико-органической химии и углехимии АН Украины. Он "срачивает" металл на молекулярном уровне.

2) болтовых соединений - путём установки и затяжки в узлах болтовых соединений уплотнительных бочкообразных полиэтиленовых, свинцовых или асбобитумных шайб (показать п/э шайбу), прижимаемых металлической сферической шайбой;

3) тампонажных отверстий - путём установки и затяжки свинцовых или асбобитумных плоских шайб под заплечики тампонажных пробок;

4) соединительных (пикотажных) швов между звеньями крепи - путём расклинки деревянными клиньями (соединительный пикотаж) или заделки шва цементным тестом. Помимо этого отметку пикотажного шва нужно обязательно приурочивать к водоупорным породам.

Гидроизоляцию швов тубинговой крепи производят в две стадии:

ПЕРВИЧНАЯ - сразу после установки крепи до оттаивания пород;

ВТОРИЧНАЯ - только после полного оттаивания замороженных пород и только в тех местах, где появились притоки воды.

В последние годы с целью придания бетонной крепи более высоких гидроизоляционных свойств иногда применяют полиэтиленовую плёнку, которая заделывается в бетон на всю глубину водоносных пород. Отдельные листы полиэтилена между собой свариваются.

4. Оттаивание замороженных пород и ликвидация замораживающих скважин.

После возведения постоянной крепи на участке замороженных пород работу ЗС прекращают и приступают к работам по ликвидации ЛПО (оттаиванию).

ОТТАИВАНИЕ замороженных пород производится с целью обеспечения равномерной нагрузки горных пород на постоянную крепь ствола, определения степени водопроницаемости крепи и ускорения начала работ по её гидроизоляции.

Различают ЕСТЕСТВЕННОЕ и ИСКУССТВЕННОЕ оттаивание.

Естественное оттаивание пород происходит только под влиянием земного теплопритока со стороны незамороженных пород. Оно применяется в основном на стволах малой глубины (30 - 50 м). Продолжительность естественного оттаивания зависит от многих факторов (количества переданного породам холода, температуры замораживания, теплопроводности и др. теплофизических свойств пород). Скорость естественного оттаивания в зависимости от типа пород составляет в среднем 0,1-0,15 см/сутки. Для пород с более высоким коэффициентом теплопроводности эта скорость больше и наоборот. Такая малая скорость естественного оттаивания мёрзлых пород объясняется аккумуляцией горными породами большого количества холода и крайне слабым процессом теплообмена между замороженным и талым массивом.

Естественное оттаивание хорошо тем, что не требует затрат на своё осуществление. Однако ему присущи серьёзные недостатки, как например:

- длительность во времени;
- невозможность управления процессом, что может привести к неравномерному оттаиванию пород по периметру ствола и, как следствие этого, возникновению неравномерного давления горных пород на крепь, что может привести к нарушению герметичности крепи ствола, её деформации и т.д. Особенно при наличии фильтрации подземных вод процесс оттаивания пород протекает крайне неравномерно.

Искусственное оттаивание замороженных пород применяют на глубоких стволах и в особо сложных условиях в случае интенсивной фильтрации подземных вод. Данный способ осуществляется с помощью:

- 1) циркуляции подогретого хладоносителя в колонках;
- 2) подогрева воздуха, подаваемого в ствол;

Наиболее распространён комбинированный способ (1 + 2). Вначале форсируют оттаивание пород с помощью подогретого влажного воздуха, прокачиваемого по стволу. Подогрев воздуха, подаваемого в ствол, производится калориферами, установленными на всасывающей стороне вентилятора. Поступающий в забой ствола воздух должен иметь температуру не выше +26 °С (согласно ПБ). В летнее время калориферы дополнительно не используются. В результате такого прогрева породы оттаивают на 0,3-0,5 м от крепи ствола, и создаётся равномерное гидростатическое давление на крепь. Это даёт возможность провести сразу гидроизоляцию крепи. А уже после этого включают рассольную сеть с циркуляцией подогретого хладоносителя.

Искусственное оттаивание пород через колонки начинают с прокачки хладоносителя без подогрева (идёт только лишь теплообмен рассола с окружающей средой на поверхности). Хладоноситель в испарителях начинают подогревать после достижения температуры 0 °С. Нагрев хладоносителя производят не более чем на 2-3 °С в сутки во избежание повреждений колонок при резких температурных колебаниях. Максимальную температуру хладоносителя, подаваемого в колонки, обычно принимают на 20-25 °С выше естественной температуры горных пород. Одновременно с оттаиванием пород этим способом имеется возможность проходки ствола ниже замороженной зоны.

КОНТРОЛЬ за процессом искусственного оттаивания пород осуществляется наблюдением за изменением температуры пород в контрольных термонаблюдательных скважинах, температуры рассола на входе и выходе из ЗК, состоянием крепи ствола и температуры пород за крепью.

Затюбинговый тампонаж цементно-песчаным или цементным раствором производят тогда, когда температура пород, примыкающих непосредственно к крепи, достигнет положительных значений (+2-4 °С). Это условие необходимо соблюдать для нормального схватывания и твердения раствора.

В процессе оттаивания объём металлической крепи увеличивается, а объём ЛПО уменьшается, что приводит к некоторым смещениям в системе "крепь-горная порода". Вследствие этого в тубинговой крепи могут возникнуть неплотности, которые устраняют путём окончательной гидроизоляции после процесса оттаивания.

После оттаивания и гидроизоляционных работ приступают к демонтажу ЗС и погашению замораживающих скважин (раньше этого не делают на тот случай, если вновь потребуется провести замораживание для ликвидации аварийной ситуации).

Из ЗК удаляют хладоноситель, поднимают питающие трубы. По возможности (небольшие глубины) извлекают также замораживающие трубы с помощью домкратов, лебёдок и полиспастов. По вопросу об извлечении замораживающих труб имеются разные точки зрения. С экономической точки зрения извлечение труб является желательным (если они пригодны для повторного использования). Однако сам процесс извлечения происходит с большим трудом: колонна труб разрывается на отдельные части и теряется. После извлечения в массиве горных пород образуются пустоты, могут произойти смещения пород и негативно повлиять на крепь ствола. Поэтому при замораживании горных пород на большие глубины трубы из скважин не извлекаются.

В любом случае, извлекались ли замораживающие трубы или нет, пустоты под землёй должны быть ЗАТАМПОНИРОВАНЫ цементным или густым глинистым раствором с песком (хорошо воспринимается горное давление и не происходит смещения горных пород). А если замораживающие трубы извлечены, то желательно тампонаж выполнить с разделением водоносных горизонтов: водоупоры - глиной, водоносные породы - песком и щебнем (то есть полностью восстановить породный массив).

5. Особые случаи замораживания горных пород.

А. ЗАМОРАЖИВАНИЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД. Имеет ряд существенных особенностей. При обычном замораживании (пластовые воды неподвижны) внешний теплоприток из окружающих пород к образуемому ЛПО с течением времени уменьшается и к некоторому времени становится практически постоянным. При этом его распределение идёт равномерно как по периметру отдельных лёдопородных цилиндров до смыкания, так и после их смыкания в замкнутое кольцо. В результате образуется ЛПО правильной формы постоянной толщины E (рис.8.4.10).

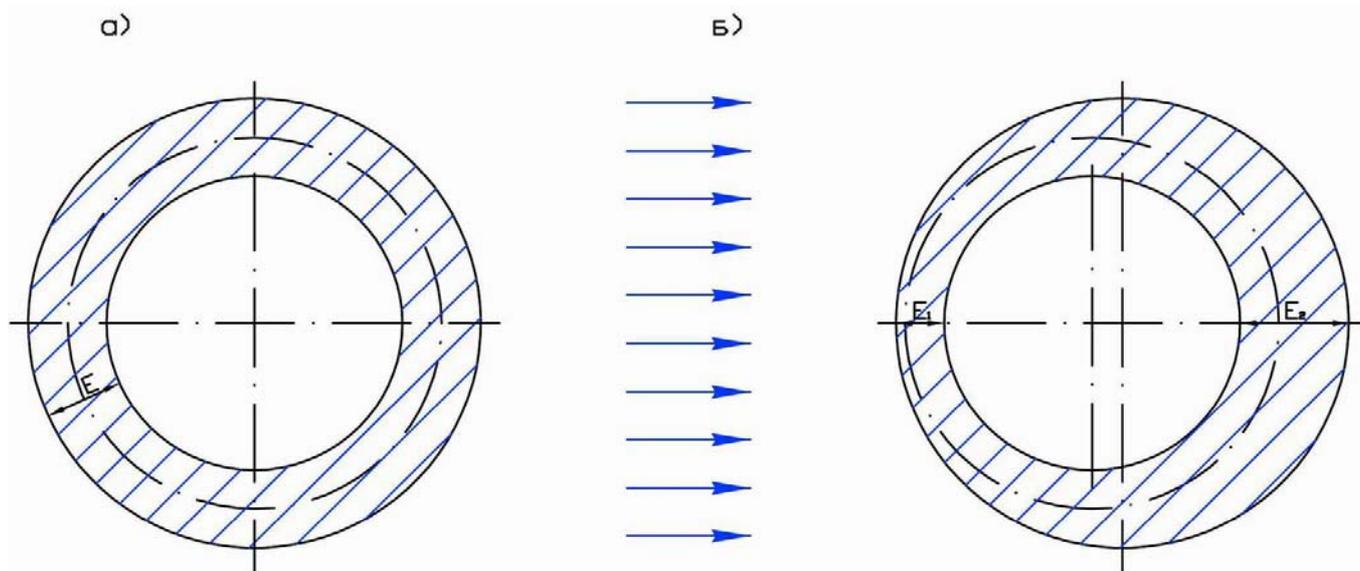


Рис.8.4.10. Форма ЛПО при неподвижных (а) и фильтрующих (б) водах.

При замораживании фильтрующих пород вследствие увеличения внешнего теплопритока по сравнению с обычными условиями замораживания и неравномерного распределения его по периметру ЛПО последнее имеет неправильную форму и

переменную толщину E_1 и E_2 (рис.8.4.10). Кроме того, по мере роста ЛПО в результате постоянного уменьшения теплопоглощения замораживающих колонок и увеличения внешнего теплопритока сравнительно быстро наступает состояние теплового равновесия. Рост ЛПО или отдельных цилиндров может прекратиться несмотря на непрерывную работу ЗС. При этом холод будет расходоваться на бесполезное охлаждение фильтрационного потока. Такое состояние может установиться до момента полного смыкания кольца ЛПО или до достижения им расчётной толщины.

Решающее значение при замораживании фильтрующих пород приобретает температура подземных вод и скорость фильтрации (при $V_f > 80$ м/сутки замораживание вообще невозможно).

Существуют специальные мероприятия по замораживанию фильтрующих горных пород. Это **КАСКАДНЫЙ СПОСОБ ЗАМОРАЖИВАНИЯ** и создание дополнительной **ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ЗАВЕСЫ** (рис.8.4.11 и 8.4.12).

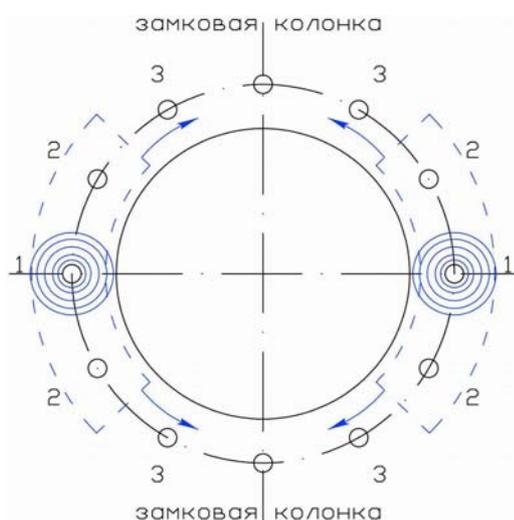


Рис.8.4.11. Каскадный способ замораживания

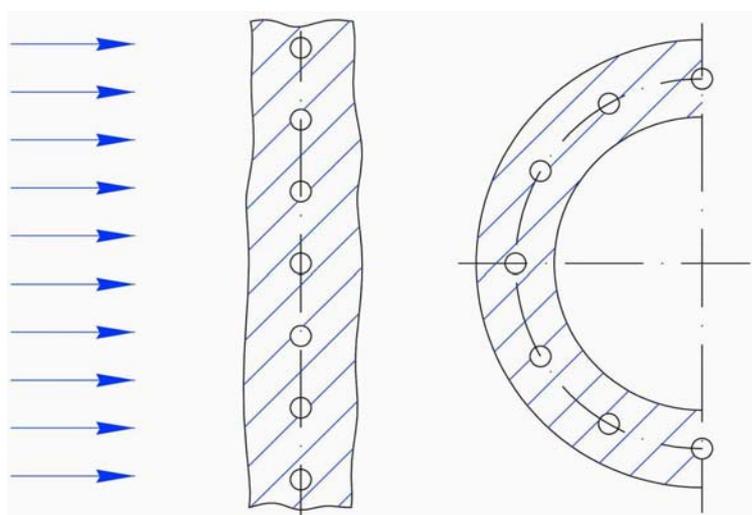


Рис.8.4.12. Создание противофильтрационной завесы.

Сущность каскадного способа состоит в том, что ЗК включают в работу не одновременно, а последовательными группами. В первую очередь в работу включают две диаметрально расположенные колонки 1 по диаметру, совпадающему с направлением движения потока подземных вод. После достижения в двух смежных парах колонок температуры 0°C включают в работу четыре фланговые колонки 2, а колонки 1 переводят в режим пассивного замораживания. Когда в других двух парах скважин 3 температура снизится до 0°C , подключают в работу и их и т.д. Таким образом, ЛПО нарастает непрерывно в четырёх направлениях. Последними включают в работу замковые колонки, и ЛПО формируется окончательно.

Достоинства каскадного способа:

- 1) более совершенный контроль и регулирование процесса замораживания путём точного измерения температуры пород на различной глубине через скважины, ещё не включённые в работу;
- 2) возможность форсировать работу отдельных скважин;
- 3) обеспечение свободного выхода воды во внешнюю толщу пород, что снимает возможное давление воды изнутри ЛПО;
- 4) можно вести замораживание при меньшей производительности ЗС, чем при обычном замораживании при данных условиях.

Недостатки каскадного способа:

- 1) большая продолжительность процесса замораживания горных пород;
- 2) сложность распределения рассола между колонками.

Противофильтрационная завеса (рис.8.4.12) создаётся на пути фильтрационного потока и служит для снижения его скорости в зоне замораживания горных пород, а также для дополнительного охлаждения подземных вод. Противофильтрационная завеса может быть создана замораживанием или тампонированием (только в трещиноватых породах).

Б. ЗАМОРАЖИВАНИЕ ВОДОНОСНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД С БОЛЬШИМ КОЛИЧЕСТВОМ РАСТВОРЁННЫХ СОЛЕЙ.

В этом случае применяют глубокое замораживание (t замораживания порядка -30 - 35 °С и ниже) с применением двухступенчатого (трёхступенчатого) сжатия хладагента и с применением низкотемпературных хладагентов с $t_{\text{замерзания}}$ -40 - 65 °С.

В. ЗАМОРАЖИВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ЖИДКИМИ И ТВЁРДЫМИ ХЛАДАГЕНТАМИ.

Замораживание пород жидкими хладагентами получило распространение в последние годы, особенно при ликвидации аварий. Процесс замораживания при этом осуществляется за счёт непосредственного испарения хладагента в ЗК. В качестве таких хладагентов могут применяться:

- | | |
|--|----------------------------|
| - жидкий азот с температурой испарения $-195,7$ °С | } при атмосферном давлении |
| - пропан -----"----- $-42,2$ °С; | |
| - фреон-22 -----"----- $-40,8$ °С; | |
| - аммиак -----"----- $-33,4$ °С. | |

Наибольшее распространение из всех получил жидкий азот, как хладагент, обладающий самой низкой температурой испарения.

АЗОТ (N_2) - газ без цвета, запаха и вкуса. В природе находится в свободном состоянии, в воздухе его содержится 78% по объёму. Жидкий азот является отходом кислородного производства и может быть получен на большинстве кислородных заводов. Его получают в результате ректификации - фракционной перегонки сжатого воздуха. Плотность азота при температуре кипения - 804 кг/м³. Стоимость 1 т жидкого азота около 50\$. От завода-изготовителя к пункту потребления жидкий азот доставляется в специальных ёмкостях - танках на шасси автомобилей КрАЗ и МАЗ, в ж/д цистернах (давление - 0,2 МПа).

Для замораживания пород жидким азотом используют ЗК такой же конструкции, как и при рассольном способе. Замораживающие трубы - стальные диаметром 60-72 мм. Питающие трубы - из нержавеющей стали диаметром 15-38 мм, и не входят до башмака ЗК на 150 мм.

Обычно при замораживании водоносных неустойчивых пород при сооружении вертикальных стволов ЗК соединяют по три последовательно, а группы колонок между собой параллельно (рис.8.4.13).

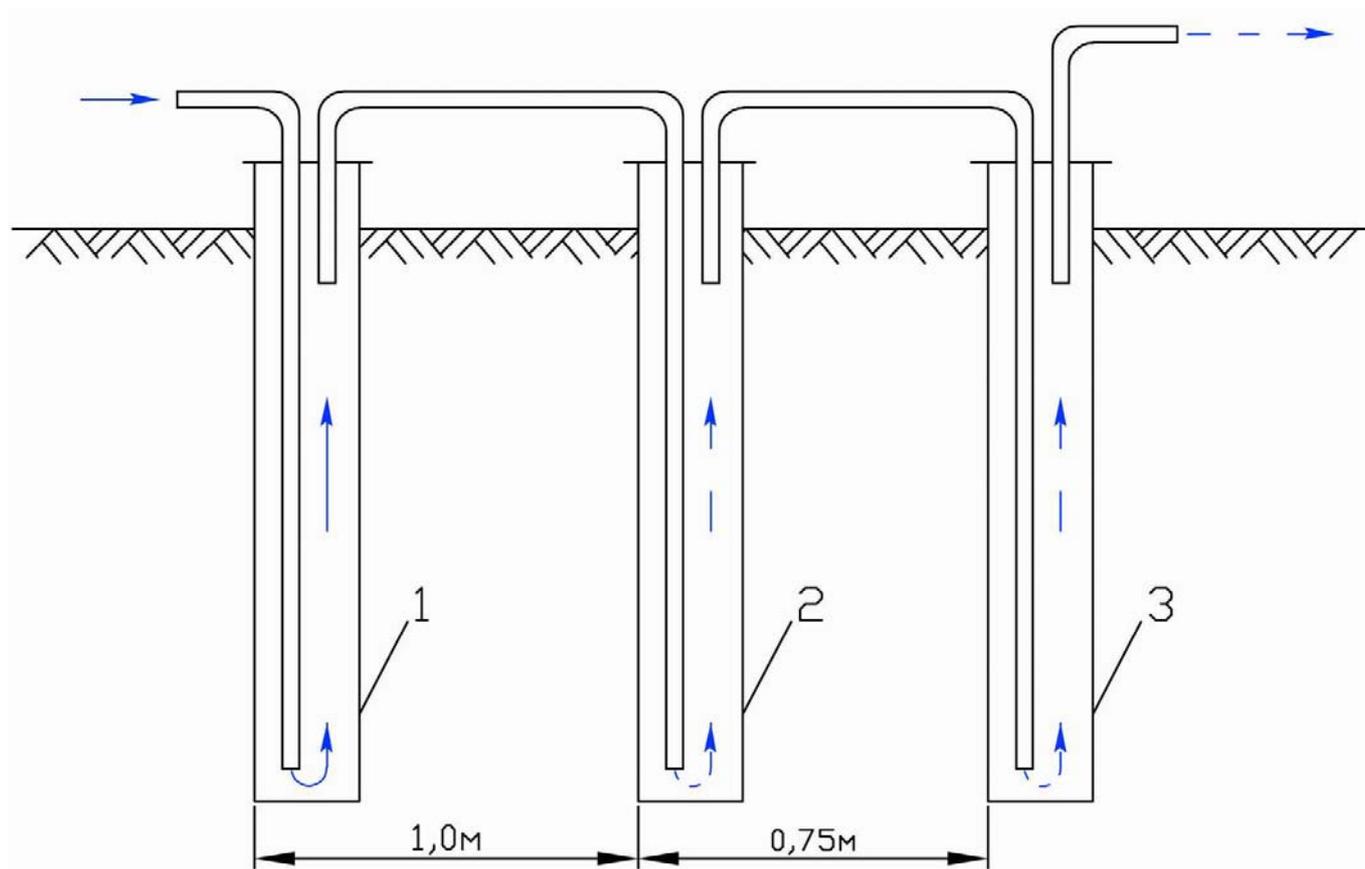


Рис.8.4.13. Схема соединения колонок при замораживании пород жидким азотом. 1 – жидкостная колонка; 2 – парожидкостная колонка; 3 – газовая колонка.

Жидкий азот от распределителя подаётся в питающую трубу первой ЗК. В результате теплообмена с окружающей породой жидкий азот начинает испаряться, забирая тепло у пород, и поднимается к устью колонки, затем поступает в питающую трубу соседней колонки, продолжает испаряться в ней, и уже в газообразном состоянии, но ещё с очень низкой температурой, проходит через третью колонку. Из последней колонки группы (№ 3 - газовой) азот удаляется в атмосферу через специальную трубку. Скорость прохождения азота через ЗК подбирается таким образом, чтобы при выпуске в атмосферу он имел температуру не ниже -60°C (более низкая температура выходящего газа нецелесообразна по экономическим соображениям).

Расстояние между осями ЗК принимают: между первой и второй - 1-1,1 м, между второй и третьей - 0,75 м.

Работы по замораживанию пород жидким азотом включают: бурение замораживающих скважин и монтаж ЗК (аналогично рассольному способу); монтаж азотной системы и её полное обезжиривание с помощью четырёххлористого углерода; создание ЛПО проектных размеров за счёт непрерывной подачи требуемого количества жидкого азота в замораживающую систему.

Средний расход жидкого азота на замораживание 1 м^3 пород - 0,7-1т.

Преимущества способа замораживания жидким азотом по сравнению с обычным рассольным способом:

- 1) не требуется применение специальных машин и установок. Применяется простое, компактное, легко транспортируемое оборудование;
- 2) упрощается организация работ и снижаются производственные затраты;
- 3) отсутствие рассольной системы и насосов исключает потери холода в них;
- 4) сокращается время на подготовительные работы;
- 5) низкая температура испарения жидкого азота обеспечивает минимальное время замораживания пород (в 5-6 раз быстрее, чем при рассольном способе);
- 6) азот - взрыво-, пожаро- и токсичнобезопасный хладагент.

Несмотря на преимущества, указанный способ применяют довольно редко из-за сравнительно высокой стоимости жидкого азота и несовершенства технологии замораживания (особенно на большие глубины). А сегодня данный способ незаменим при ликвидации аварий, связанных с прорывом воды или пльвуна в горные выработки, а также при выполнении срочных подземных работ в водонасыщенных породах в практике городского строительства.

Замораживание пород твёрдыми хладагентами основано на отборе тепла из окружающего массива пород через те же колонки, что и при рассольном замораживании, но не с помощью жидких хладоносителей, а с помощью твёрдых криоагентов, которые периодически загружают в ЗК до тех пор, пока не будет создано ЛПО требуемых размеров.

Твёрдый криоагент за счёт тепла, поступающего из породного массива, сублимирует, т.е. переходит из твёрдого состояния в газообразное, минуя жидкое. При этом в зависимости от типа и свойств твёрдого криоагента температура сублимации может быть от -50 до -264 °С. По мере сублимации в колонке интенсивно накапливается газообразный криоагент, который за счёт увеличения давления поднимается по ЗК на поверхность и уходит в атмосферу, осуществляя тем самым канализацию тепла из породного массива. Скорость сублимации твёрдого криоагента будет зависеть от теплопритока из окружающей среды.

Поддерживая заданный уровень криоагента, в колонке создают условия для непрерывного замораживания пород до заданных размеров.

В качестве твёрдых криоагентов для замораживания пород в принципе могут быть использованы любые химические вещества, обладающие свойством сублимации при низких отрицательных температурах. На сегодняшний день наиболее приемлемым для промышленного применения при замораживании пород с точки зрения технологии получения, дефицитности, безопасности, стоимости является диоксид углерода CO_2 , называемый иногда "сухим льдом".

Температура сублимации "сухого льда" при нормальном атмосферном давлении $-78,9$ °С. Стоимость - 60-90\$ за 1 т. Вырабатывается на специальных заводах и выпускается в виде брикетов массой до 120 кг. Расход при замораживании - 0,4-0,6 т на 1 м³ замораживаемой породы.

Основное преимущество способа - простота реализации.

Недостаточно хорошо в настоящее время отработана технология (особенно несовершенны способы герметизации устья колонки, которая периодически должна открываться для загрузки криоагента).

Применение сейчас ограничено, но теоретические перспективы хорошие.

8.5. СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПОРОД.

2 ЧАСА

ПЛАН.

1. Схемы замораживания.
2. Особенности бурения горизонтальных и наклонных замораживающих скважин.
3. Особенности горнопроходческих работ по замороженным породам при сооружении горизонтальных и наклонных выработок.

Л.1, с.146-158,
Л.5, с.116-122.

1. Схемы замораживания.

ЛПО вокруг горизонтальных или наклонных выработок могут быть созданы по одной из следующих схем:

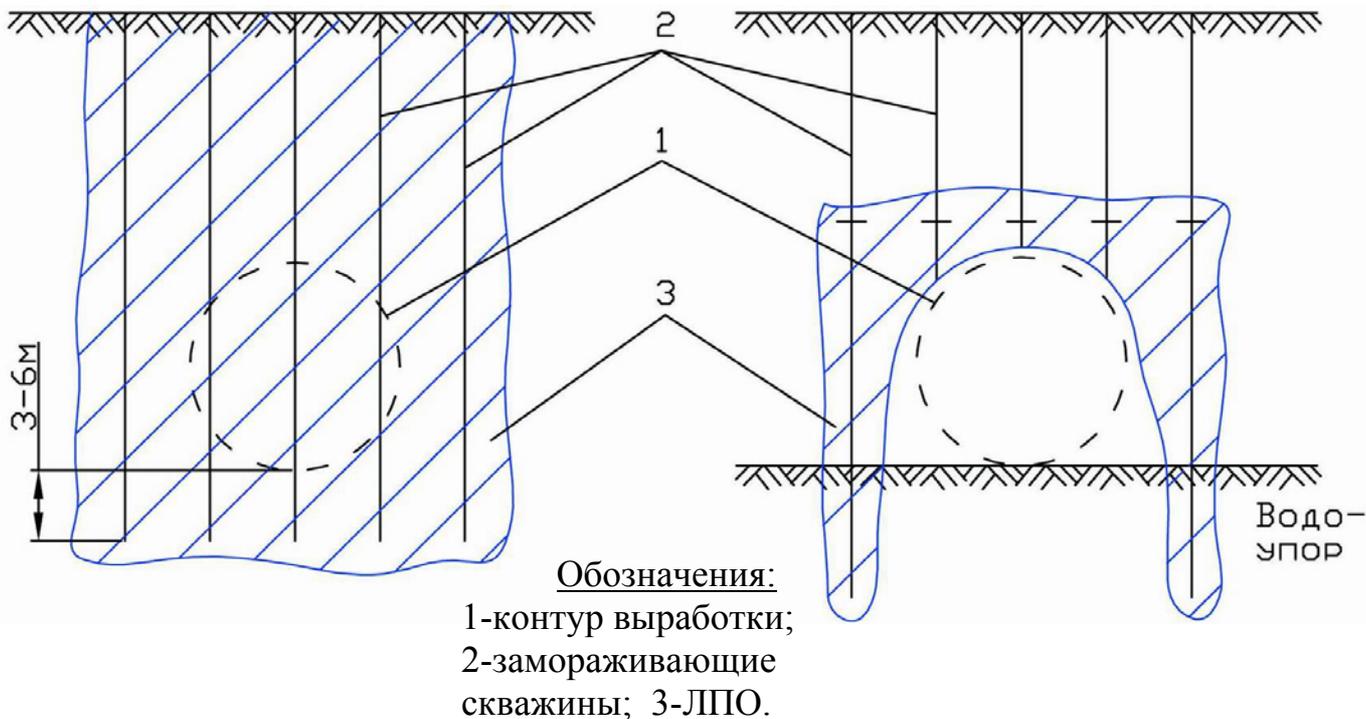
- 1-я схема** - вертикальными замораживающими скважинами, расположенными в несколько продольных рядов по всей трассе выработки;
- 2-я схема** - скважинами, расположенными параллельно оси выработки по её контуру или в пределах её сечения;
- 3-я схема** - комбинация первых двух схем.

По **первой схеме** вдоль трассы выработки бурят систему вертикальных замораживающих скважин, расположенных в несколько рядов по квадратной или ромбической сетке и создают сплошной лёдопородный массив, в пределах которого проводится горизонтальная или наклонная выработка (рис.8.5.1).

При наличии водоупора в почве выработки замораживающие скважины внутренних рядов недобуривают до контура выработки на 0,5 м, а скважины контурных рядов заглубляют в водоупор.

При строительстве подземных сооружений неглубокого заложения (приблизительно до 20 м) лёдопородные массивы образуют на всю глубину скважин. При глубине заложения выработки более 20 м предусматривается создание ЛПО ограниченных размеров по высоте с помощью колонок зонального замораживания. При наличии неустойчивых пород в кровле выработки предусматривают образование лёдопородной потолочины мощностью 4-6 м (рис.8.5.1).

В схемах первой группы крайние продольные ряды скважин называют **КОНТУРНЫМИ**, а ряды между ними **ВНУТРЕННИМИ** или **ЦЕНТРАЛЬНЫМИ**. Количество продольных рядов замораживающих скважин зависит от ширины или диаметра проектируемой выработки и составляет 2-9 и более рядов. Ряды замораживающих скважин, расположенные перпендикулярно осевой линии выработки, называются **ПОПЕРЕЧНЫМИ**. Их количество определяется в зависимости от длины сооружаемой выработки. В практике строительства расстояние между скважинами в контурных рядах принимают в пределах 1,3-2,2 м, а во внутренних рядах - 2,0-2,6 м. Расстояние между продольными рядами принимают в пределах 1,5-2,6 м. Чем ближе друг к другу расположены замораживающие скважины, тем быстрее протекает процесс замораживания.



При глубине заложения до 20 м.

При глубине заложения более 20 м.

Рис.8.5.1. Схема образования ЛПО вокруг горизонтальных выработок вертикальными замораживающими скважинами.

Схема создания ЛПО вертикальными скважинами применяется и при проведении протяжённых наклонных выработок с углом наклона менее 30° и длиной более 80-100 м.

НЕДОСТАТКИ 1-ой схемы:

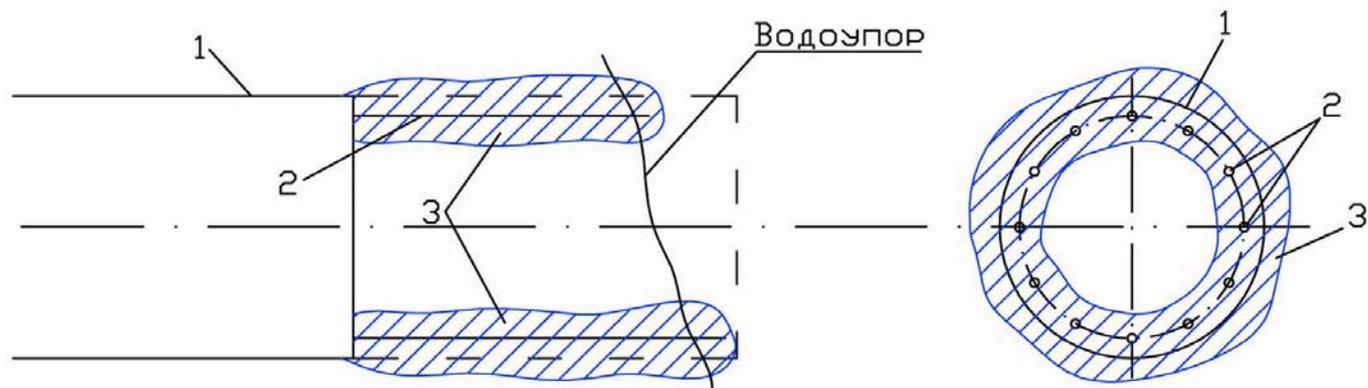
- 1) большой объём буровых работ;
- 2) большой объём работ по замораживанию горных пород;
- 3) большие сроки и стоимость;
- 4) дороже выемка породы, находящейся в замороженном состоянии;
- 5) необходимость удаления из сечения выработки замораживающих труб по мере подвигания забоя (обычно их вырезают огневыми работами).

ДОСТОИНСТВА 1-ой схемы:

- 1) простота работ по бурению (в водонасыщенных слабых породах бурить вертикальные скважины проще и удобнее, чем наклонные и горизонтальные);
- 2) простота работ по обсадке скважин (при обсадке вертикальной скважины практически отсутствуют силы трения между замораживающей трубой и стенками скважины).

Если позволяют местные условия, стремятся применять замораживание грунтов вертикальными скважинами, хотя с экономической точки зрения это не всегда оправдано. Выбор той или иной схемы должен быть основан на технико-экономических расчётах. Однако несмотря на то, что 1-я схема самая дорогая (даже без учёта удорожания стоимости выемки замороженных пород), на практике она получила наиболее широкое распространение.

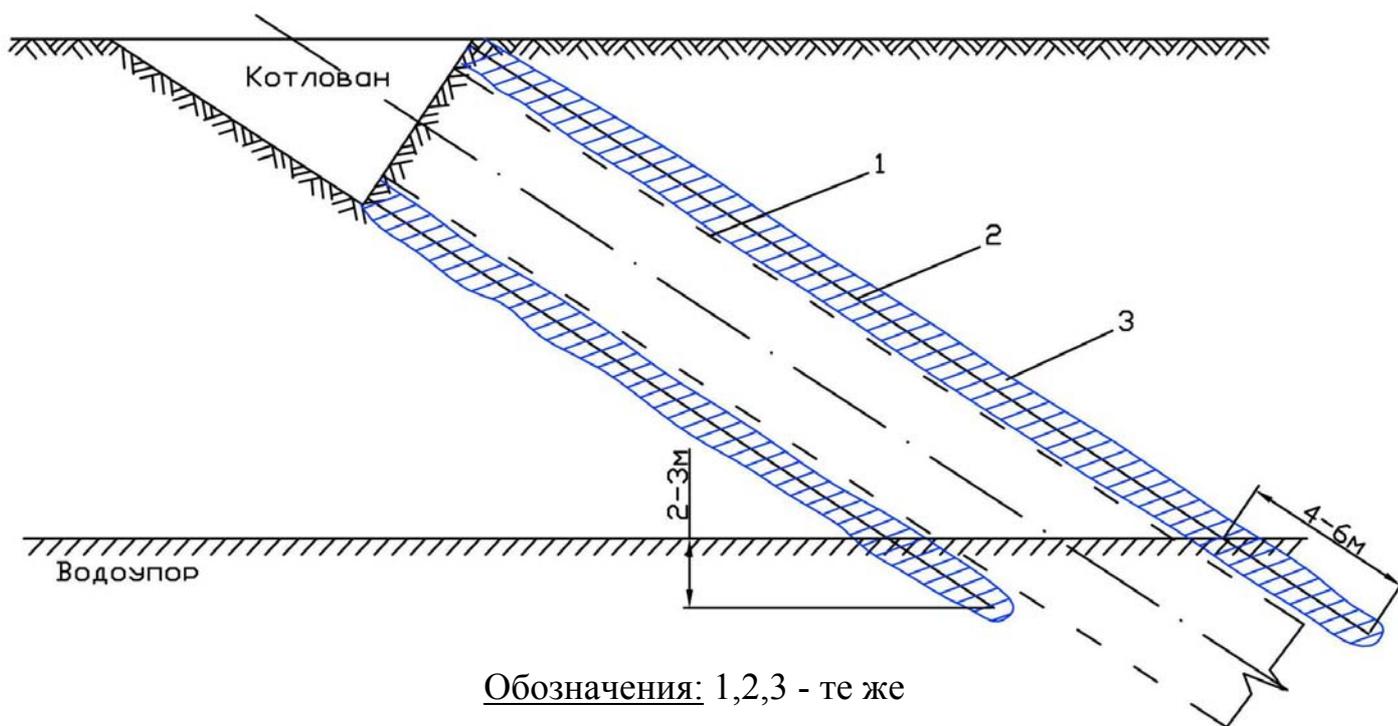
По **второй схеме** при проведении горизонтальных или наклонных горных выработок в неустойчивых породах ЛПО может быть создано или непосредственно из забоя выработки (при этом часть поперечного сечения находится в замороженном состоянии), или же из специальной выработки (ствола, котлована, камеры) (при этом поперечное сечение выработки полностью талое). Замораживающие скважины бурятся, как правило, вдоль продольной оси выработки или под небольшим углом к ней расходящимся веером (рис.8.5.2). При этом они должны быть заглублены в водоупор, в противном случае породу промораживают по всему сечению выработки.



Обозначения: 1,2,3 - те же

Рис.8.5.2. Схема образования ЛПО скважинами, параллельными оси горизонтальной выработки.

При строительстве наклонных выработок способом замораживания замораживающие скважины бурят наклонно параллельно оси выработки и располагают по её контуру (рис.8.5.3).



Обозначения: 1,2,3 - те же

Рис.8.5.3. Схема образования ЛПО вокруг наклонной выработки.

Замораживание породы в этих случаях производят с помощью передвижных ЗС (наземных или подземных). Толщина ЛПО определяется расчётом или назначается из конструктивных соображений в пределах 2-2,5 м. В зависимости от проектной толщины ЛПО скважины располагают на расстоянии 1,5-2 м от контура выработки в проходке при расстоянии между скважинами 0,9-1 м. Замораживающие скважины заглубляют в водоупорную породу на глубину 4-6 м по оси или 2-3 м по вертикали.

Рассмотренную схему преимущественно применяют при строительстве наклонных выработок с углом наклона 30° и длиной не более 80-100 м. По указанной схеме возводятся все эскалаторные тоннели метрополитенов.

ДОСТОИНСТВА 2-й схемы:

- 1) минимальный объём буровых работ;
- 2) создание минимально необходимого объёма замороженных пород;
- 3) минимальные затраты на производство работ.

НЕДОСТАТКИ 2-й схемы:

- 1) сложно бурить и контролировать направление наклонных и горизонтальных скважин;
- 2) сложно прокладывать наклонные и горизонтальные ЗК (горизонтальные прокладывают как правило не более, чем на 30 м).

С последним условием связан тот факт, что при сооружении горизонтальных выработок с помощью замораживания из забоя все работы ведут заходками по 30 м.

В рыхлых водонасыщенных породах ЗК непосредственно задавливают в массив с помощью гидродомкратов мощностью 1 700 кН.

Для замораживания пород вокруг горизонтальных выработок разработана ПРЯМОТОЧНАЯ схема горизонтального замораживания пород. Она заключается в том, что выработка между двумя соседними стволами окружается ЗК, рассол по которым движется: по одной ЗК - в прямом направлении, а по соседней - в обратном. Питающие трубы отсутствуют. Парные колонки между собой замыкаются U-образными трубами.

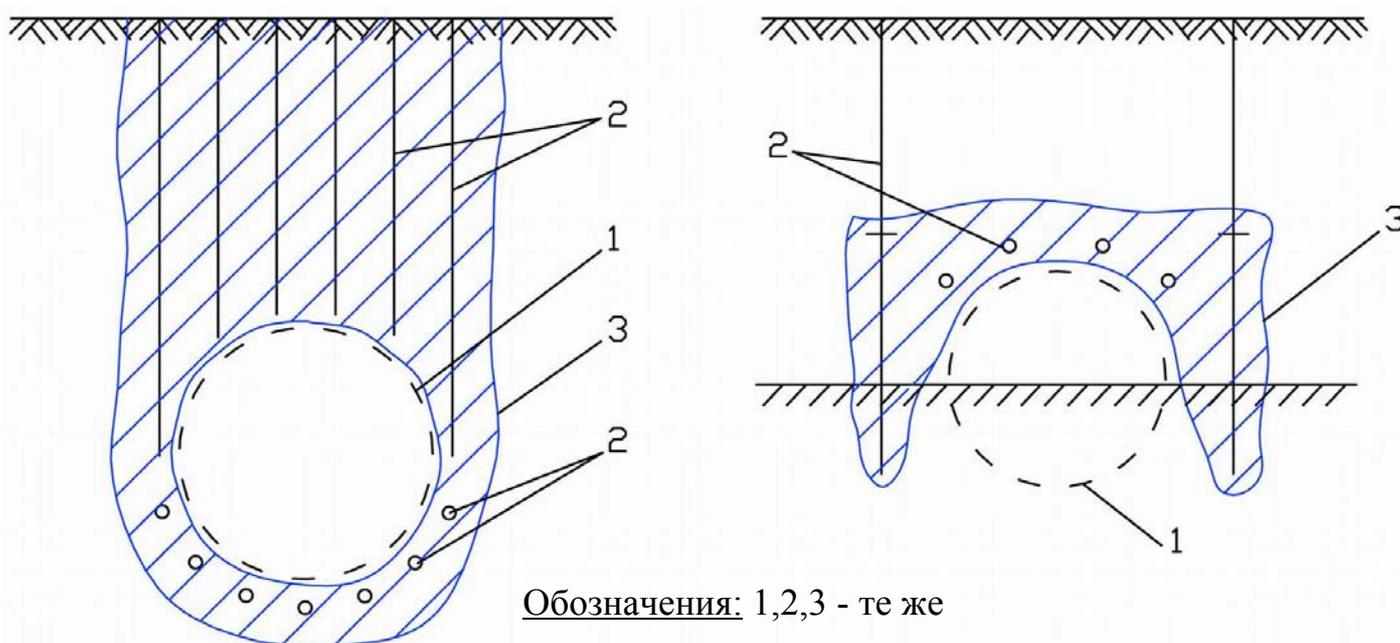


Рис.8.5.4. Комбинированная схема создания ЛПО.

Третью схему (комбинированную) применяют в особо сложных горно-геологических условиях, когда ЛПО вокруг наклонной выработки создаётся наклонными и вертикальными скважинами в различных вариантах (рис.8.5.4).

Если над горизонтальной выработкой на земной поверхности расположены здания и сооружения, то в этом случае ЛПО можно создать при помощи наклонно-направленных замораживающих скважин, забуренных с поверхности земли в стороне от существующих зданий (рис.8.5.5).

При этом в сечении выработки отсутствуют замораживающие трубы, что является преимуществом этой схемы.

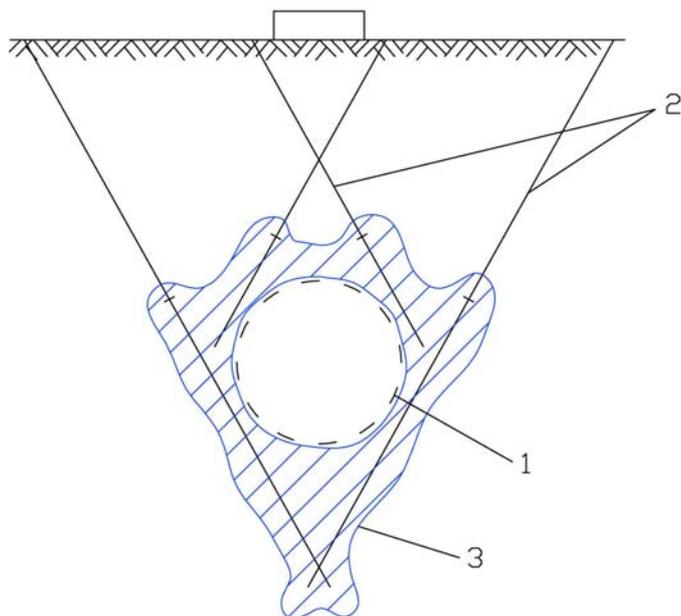


Рис.8.5.5. Схема расположения наклонно-направленных замораживающих скважин.

Выбор той или иной схемы замораживания должен базироваться на технико-экономических расчётах и обосновываться техническими возможностями исполнения.

Пункты, в которых необходимо производить замораживание пород в подземных условиях, зачастую находятся на больших расстояниях от ствола. При расположении ЗС на земной поверхности вследствие больших длин магистральных трубопроводов возрастают расходы по содержанию станции из-за больших потерь холода. С другой стороны, в связи с небольшими размерами участков для замораживания пород требуется относительно небольшая полезная холодопроизводительность станции.

Поэтому, в таких случаях целесообразно применять подземные передвижные ЗС конструкции института ВИОГЕМ (г.Белгород). Эти станции удовлетворяют следующим требованиям и условиям:

- 1) иметь небольшие габаритные размеры, массу, легко транспортироваться;
- 2) размеры отдельных частей ЗС не должны превышать габаритов клетки;
- 3) конструкция отдельных узлов должна гарантировать полную безопасность для здоровья людей, работающих в шахте;
- 4) сроки замораживания должны быть минимальными.

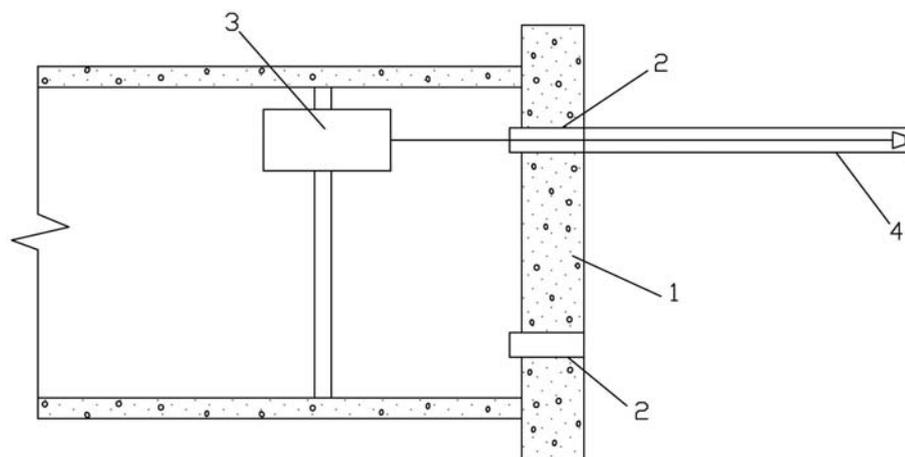
Режим работы ЗС и контроль за образованием ЛПО организуется и осуществляется аналогично замораживанию горных пород при строительстве стволов шахт.

2. Особенности бурения горизонтальных и наклонных замораживающих скважин.

Бурение вертикальных замораживающих скважин ничем не отличается от бурения вертикальных скважин при замораживании пород вокруг ствола. В неустойчивых породах мощностью до 20-30 м целесообразно применять СПОСОБ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПОГРУЖЕНИЯ В ГРУНТ замораживающих труб с подмывом

грунта струёй воды аналогично погружению свай, а также погружение при помощи механического молота или вибромолота.

Для бурения горизонтальных или наклонных скважин ИЗ ЗАБОЯ проходимой выработки применяют лёгкие буровые станки типа НКР-100м. При этом в забое устраиваются бетонные перемычки, в которые заделываются кондукторы (отрезки направляющих труб) (рис.8.5.6).



Обозначения:
1-бетонная перемычка;
2-кондукторы;
3-станок НКР;
4-замораживающая скважина.

Рис.8.5.6. Бурение горизонтальных замораживающих скважин из забоя.

Для бурения наклонных скважин С ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ используют станки вращательного действия марок КАМ-500, ЗИФ-650А, ТУНБ-150. Наиболее совершенным является ТУНБ-150, широко используемый в практике метростроя ($D_{\text{бурения}}$: начальный - 300 мм, конечный - 157 мм, $D_{\text{буровых труб}}$ - 63,5 мм, глубина бурения - до 150 м, угол наклона скважины к горизонту - 30-75 град., привод - электрический). Процесс бурения осуществляется с промывкой забоя скважины в неустойчивых породах - глинистым раствором, а в устойчивых породах - водой. Станок ТУНБ-150 позволяет вместо штанг для бурения применять насосно-компрессорные трубы, используемые по окончании бурения скважин как замораживающие. Управление работой буровой установки ТУНБ-150 сосредоточено на пульте управления. Установку и ориентирование бурового станка в заданном направлении с требуемой точностью производят с помощью оптического наклонометра ВУ-1, позволяющего осуществлять контроль за положением станка в процессе бурения и измерять отклонения скважин от заданного направления.

Скорость бурения наклонных скважин составляет 100-130 м/сут., а затраты на бурение 1 м скважины - 20 \$.

3. Особенности горнопроходческих работ по замороженным породам при сооружении горизонтальных и наклонных выработок.

Технология проведения горизонтальных и наклонных выработок под защитой ЛПО существенно не отличается от обычной. Однако имеются некоторые особенности:

1. Низкая температура воздуха в забое снижает комфортность условий труда. Применяется утеплённая спецодежда для рабочих.

2. Перебои в работе машин и механизмов из-за конденсации влаги в сжатом воздухе и загустевания смазки.
3. При температурах ниже $-10-15^{\circ}\text{C}$ чаще разрушаются нагруженные детали машин.
4. Возрастает трудоёмкость отбойки промороженной породы вплоть до применения БВР (особенно трудно разрабатывать замороженные глины).
5. Предъявляются дополнительные требования к конструкции постоянной крепи и технологии её возведения (водонепроницаемость, стойкость к пучению почвы (замороженная глина склонна к пучению)).
6. Устанавливается специальный контроль за состоянием пересекаемых замороженных пород.
7. Величина обнажения стен выработки - на ширину 2-3 колец крепи с последующим креплением и заполнением пространства между крепью и замороженной породой бетоном или цементным раствором.
8. Работы по выемке породы отбойными молотками или пневмомолотами начинают от центра выработки и слоями приближаются к периферии. ЗК, попадающие в сечение выработки, отключают от рассольной сети и вырезают.
9. При проведении горизонтальных и наклонных выработок по замороженным породам щитовым способом отличий в технологии от обычных условий нет.
10. В случае применения монолитной бетонной крепи предусматривают мероприятия по подогреву инертных заполнителей и добавку ускорителей твердения с тем, чтобы бетон успел набрать свою первоначальную прочность до того, как замёрзнет.
11. Оттаивание ЛПО вокруг горизонтальных и наклонных выработок осуществляется, как правило, естественным способом (от 6 месяцев до 2-3 лет) после закрепления постоянной крепью.
12. Замораживающие трубы из скважин могут по возможности извлекаться (вертикальные и наклонные скважины). Горизонтальные замораживающие трубы не извлекаются.
13. Скважины после извлечения замораживающих труб или сами замораживающие трубы, если они не извлекаются, должны быть затампонированы.

Тема 9. СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТАМПОНИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД.

14 ЧАСОВ

9.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СПОСОБЕ ТАМПОНИРОВАНИЯ.

2 ЧАСА

ПЛАН.

1. Сущность способа.
2. Краткая характеристика и область применения различных видов тампонирувания.
3. Комплексный метод тампонажа водоносных горных пород.

Л.1, с.191-194,
Л.5, с.123-130,
Л.8, с.7-21.

1. Сущность способа.

Технический прогресс в горном деле выдвинул за последние десятилетия на ведущие позиции среди специальных способов строительства наряду со способом искусственного замораживания также и методы тампонирувания горных пород, которые позволяют оперативно, в кратчайшие сроки и параллельно с подготовительным периодом выполнить эффективную защиту выработок от притоков напорных подземных вод.

Сущность способа тампонирувания заключается в искусственном заполнении пустот, трещин и пор массива горных пород материалом, способным со временем затвердевать, образуя завесу, и препятствовать тем самым движению по ним подземных вод (рис.9.1.1).

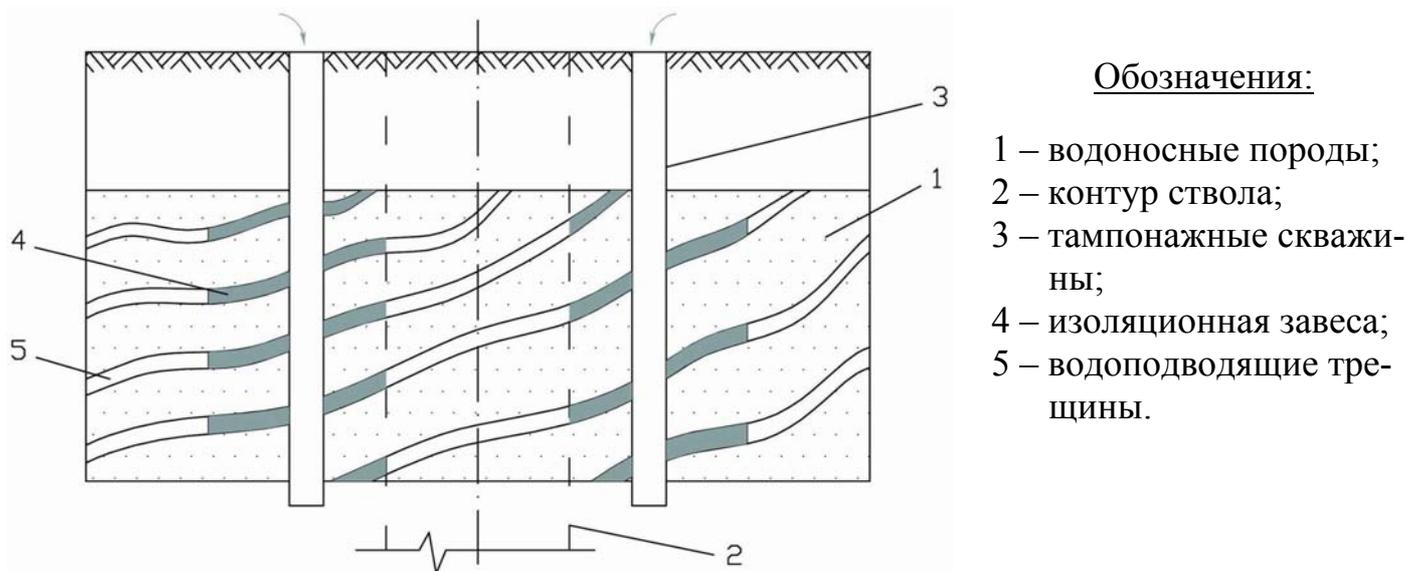


Рис.9.1.1. Схема тампонирувания водоносных пород.

Для этого в массиве горных пород бурят специальные (тампонажные) скважины, через которые нагнетают тампонажный раствор. Давление нагнетания принимают в 2-3 раза больше гидростатического напора подземных вод. Тампонажный

раствор, распространяясь на определённое расстояние от скважин, заполняет пустоты и трещины в породах, а после его затвердевания в значительной степени улучшается водонепроницаемость массива горных пород, массив стабилизируется, создаётся водонепроницаемая завеса, что даёт возможность под её защитой в относительно благоприятных, близких к обычным, гидрогеологических условиях выполнять горнопроходческие работы (выемку породы и возведение постоянной крепи) при сооружении подземных горных выработок.

В нашей стране с применением тампонирования горных пород проходят около 60% вертикальных стволов, на которых применяют специальные способы строительства.

По времени производства различают **ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ** и **ПОСЛЕДУЮЩИЙ** тампонаж горных пород.

Предварительный тампонаж осуществляют до начала сооружения выработки с целью создания благоприятных горно-геологических условий как при строительстве, так и при эксплуатации выработки (основной вид).

Последующий тампонаж проводится после завершения строительства горной выработки с целью создания благоприятных горно-геологических условий поддержания выработки на период её эксплуатации. Этот тампонаж применяется в тех случаях, когда после сооружения выработки остаточные притоки воды в неё превышают установленные нормы. При этом также уплотняется крепь, заполняются закрепные пустоты и водоподводящие трещины.

В зависимости от того, какой материал нагнетают в массив горных пород, различают следующие виды тампонирования:

ЦЕМЕНТАЦИЯ, ГЛИНИЗАЦИЯ, БИТУМИЗАЦИЯ, СИЛИКАТИЗАЦИЯ, СМОЛИЗАЦИЯ.

Как показывает практика применения тампонирования в горном деле многих стран, **основным способом активного водоподавления в настоящее время является ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ** обводнённых горных пород. Глубина предварительной цементации с поверхности земли колеблется в широких пределах: в США, Великобритании до 300 м, в Канаде, Германии и Бельгии 700-900 м, в Украине до 1 200 м, в ЮАР около 1 700 м. Предварительную цементацию из забоя обычно выполняют на любой глубине, как того требуют горно-геологические условия.

В целом все виды тампонажа целесообразно применять в скальных трещиноватых породах (песчаники, известняки, песчанистые сланцы, мергели, мел), в несвязных породах (каменная соль, гипс) и других трещиноватых либо крупнопористых водоносных породах изверженного и метаморфического происхождения (в тех породах, в которых есть водонасыщенные пустоты).

При оценке целесообразности применения того или иного вида тампонажа учитывают следующие основные факторы: раскрытие трещин, проницаемость горных пород, химический состав, напор и скорость движения подземных вод.

2. Краткая характеристика и область применения различных видов тампонирования.

Цементация это заполнение трещин и пор массива горных пород цементным раствором, который, затвердевая, уменьшает трещиноватость водоносных пород.

Цементацию применяют для: снижения притоков воды или газа при строительстве горных выработок в трещиноватых водоносных или газоносных породах; защиты бетонной крепи от действия агрессивных подземных вод; восстановления разрушенной крепи; усиления (упрочнения) массива горных пород, возведения противofильтрационных завес.

Область применения:

- 1) нижним пределом эффективного применения цементных растворов в крепких (скальных) трещиноватых горных породах принято считать минимальное раскрытие тампонируемых трещин 0,1 мм; в гравийно-галечниковых породах крупность зёрен гравия должна быть более 2 мм при условии, что поры между зёрнами свободны от песчано-глинистых примесей; в крупнозернистых песках диаметр зёрен должен быть более 0,8 мм. В зависимости от величины раскрытия трещин и крупности зёрен применяют цементные растворы различной концентрации;
- 2) скорость движения подземных вод должна быть не более 600 м/сут.

Глинизация состоит в том, что в горные породы вместо цементного раствора нагнетают водный раствор глины.

ДОСТОИНСТВА глинизации:

- 1) для тампонирования пород может быть использована дешёвая местная глина, следовательно этот вид дешевле цементации;
- 2) глинистые растворы способны противостоять действию агрессивных вод, разрушающих даже специальные цементы.

НЕДОСТАТКИ глинизации:

- 1) низкая пластическая прочность глинистого материала, и, как следствие, малая сопротивляемость тампонажного камня внешнему давлению;
- 2) значительное увеличение размеров завесы и расхода глины;
- 3) недолговечность глинистых изоляционных завес;
- 4) ненадёжность тампонирования тонкотрещиноватых горных пород.

При использовании тонкодисперсных глин **область применения** та же, что и при цементации.

Глинизацию целесообразно применять только в карстовых породах или в породах с весьма крупной трещиноватостью, а также при наличии агрессивных по отношению к цементу подземных вод. Применяют глинизацию и там, где нет большого гидростатического напора, например, при формировании водоизоляционных завес в основаниях плотин, дамб и других инженерных сооружений. Технология выполнения комплекса работ по глинизации существенно не отличается от предварительной цементации.

Битумизация подразделяется на ХОЛОДНУЮ и ГОРЯЧУЮ.

Холодную битумизацию применяют при создании завес в трещиноватых породах с незначительным раскрытием трещин посредством нагнетания тонкодисперсных жидких битумных эмульсий в скважины.

Горячую битумизацию осуществляют путём нагнетания разогретого в специальных котлах до +140-190 °С нефтяного битума и находящегося за счёт этого в расплавленном состоянии, в скважины, оборудованные электроподогревательными нагнетателями. Попадая в заполненные водой трещины или пустоты, горячий битум

в результате остывания отвердевает, что делает массив горных пород водонепроницаемым.

Область применения горячей битумизации:

- 1) при больших (практически неограниченных) скоростях движения подземных вод;
- 2) при высокой агрессивности подземных вод;
- 3) при раскрытии трещин более 0,6 мм;
- 4) при гидростатическом давлении подземных вод не более 0,2 МПа.

ДОСТОИНСТВА битумизации:

- 1) минимальные расходы тампонажного материала;
- 2) стойкость к агрессии подземных вод.

НЕДОСТАТКИ битумизации:

- 1) релаксация (способность течь) затвердевшего битума под действием внешних давлений более 0,3 МПа и выдавливаться из трещин;
- 2) производственные неудобства, связанные с применением расплавленного битума и необходимостью прогрева скважин при нагнетании;
- 3) необходимость проведения нагнетания битума в несколько циклов из-за уменьшения его объёма на 8-11% при охлаждении и твердении;
- 4) ограниченные возможности применения в шахтах, опасных по газу или пыли.

Из-за крупных недостатков способ битумизации не нашёл широкого применения в практике шахтного строительства. Целесообразно битумизацию применять для тампонирувания закрепного пространства.

Силикатизация заключается в применении неорганических высокомолекулярных соединений силикатных растворов силиката натрия («жидкого стекла») и его производных, которые при соединении с коагулянтom образуют ГЕЛЬ КРЕМНИЕВОЙ КИСЛОТЫ, цементирующей частицы грунта. В настоящее время различают следующие виды силикатизации: ДВУХРАСТВОРНАЯ, ОДНОРАСТВОРНАЯ и ГАЗОВАЯ.

При двухрастворном способе силикатизации через перфорированные трубы (инъекторы), погруженные в породу на заданную глубину, закачивают поочередно растворы силиката натрия и коагулянта (хлористого кальция). Образующийся в результате смешивания гель кремниевой кислоты придаёт грунту прочность при сжатии 1,5-5 МПа и водонепроницаемость.

При однорастворном способе силикатизации в грунт закачивается один гелеобразный раствор, приготовленный из смеси силиката натрия с коагулянтom (ортофосфорная, кремнефтористоводородная кислоты или алюминат натрия). При смешивании этих растворов образование геля кремниевой кислоты происходит в заданное время, зависящее от количества коагулянта. Закреплённый таким образом грунт имеет прочность на сжатие 2-5 МПа.

При газовой силикатизации в грунт, подлежащий закреплению, через инъекторы (забитые или установленные в скважинах) нагнетается углекислый газ для предварительной активизации грунта, затем раствор силиката натрия и, наконец, вторично углекислый газ для отверждения раствора силиката натрия. Породы приобретают прочность, водостойчивость и водонепроницаемость.

Область применения силикатизации:

- закрепление и придание водонепроницаемости песчаным и лёссовидным грунтам с коэффициентом фильтрации 0,5-80 м/сут, со скоростью движения подземных вод не более 5-8 м/сут и показателем кислотности $pH < 7$.

Смолизация заключается в том, что в массив горных пород нагнетают водные растворы высокомолекулярных органических соединений (смола) с добавками коагулянтов. В результате химических реакций, происходящих в массиве горных пород, смолы переходят из жидкого в твёрдое состояние. В результате этого горные породы упрочняются, уменьшается их водопроницаемость и увеличивается прочность. Так, пески, закреплённые синтетическими смолами, обладают прочностью на сжатие до 5 МПа в зависимости от типа песков и смол. Процесс полимеризации смолы протекает в три стадии: раствор густеет, переходит в гелеобразное, а затем в твёрдое состояние.

Область применения смолизации:

- трещиноватые и трещиновато-пористые породы с коэффициентом фильтрации 0,5-50 м/сут при минимальном размере частиц несвязанного массива 0,01-0,05 мм.

Смолизацию можно применить там, где цементация будет неэффективна – для водоизоляции тонкотрещиноватых и мелкопористых пород.

НЕДОСТАТКИ смолизации:

- 1) высокая стоимость материалов;
- 2) не отработана технология применения на больших глубинах.

По мере развития химической промышленности и удешевления производства синтетических смол способ смолизации будет применяться всё активнее. Уже сегодня он широко применяется в зарубежных странах (например Германия).

3. Комплексный метод тампонажа водоносных горных пород.

Комплексный метод тампонажа (КМТ) водоносных горных пород разработан специализированным производственным объединением "Спецтампонажгеология" (г. Антрацит, Украина) под руководством Лауреата Государственной премии СССР, доктора технических наук, профессора Кипко Э.Я. Как наиболее прогрессивный, высокоэффективный метод тампонажа широко применяется с конца 60-х годов при строительстве современных глубоких шахт, рудников, карьеров и разрезов в сложных горно-геологических условиях.

При применении КМТ сокращается продолжительность подготовительного периода строительства шахты вследствие выполнения тампонажа с поверхности заранее или параллельно с оснащением ствола (рис.9.1.2, плакат); уменьшается срок проходки стволов благодаря исключению работ по цементации из забоя на каждом водоносном горизонте; отпадает необходимость в выполнении последующей цементации, в перекачном и подвесном оборудовании водоотлива при проходке стволов; снижаются трудоёмкость и энергоёмкость работ; улучшаются условия работы проходчиков, что приводит к снижению травматизма, простудных заболеваний и повышению производительности труда.

Работы по предварительному тампонажу с применением КМТ успешно выполнены более чем на 200 объектах в нашей стране и за рубежом, в том числе при

проходке шахтных стволов глубиной свыше 1 200 м. Из стран дальнего зарубежья работы по тампонажу проводились в Румынии, Болгарии, Испании, Австралии, на Тайване и др.

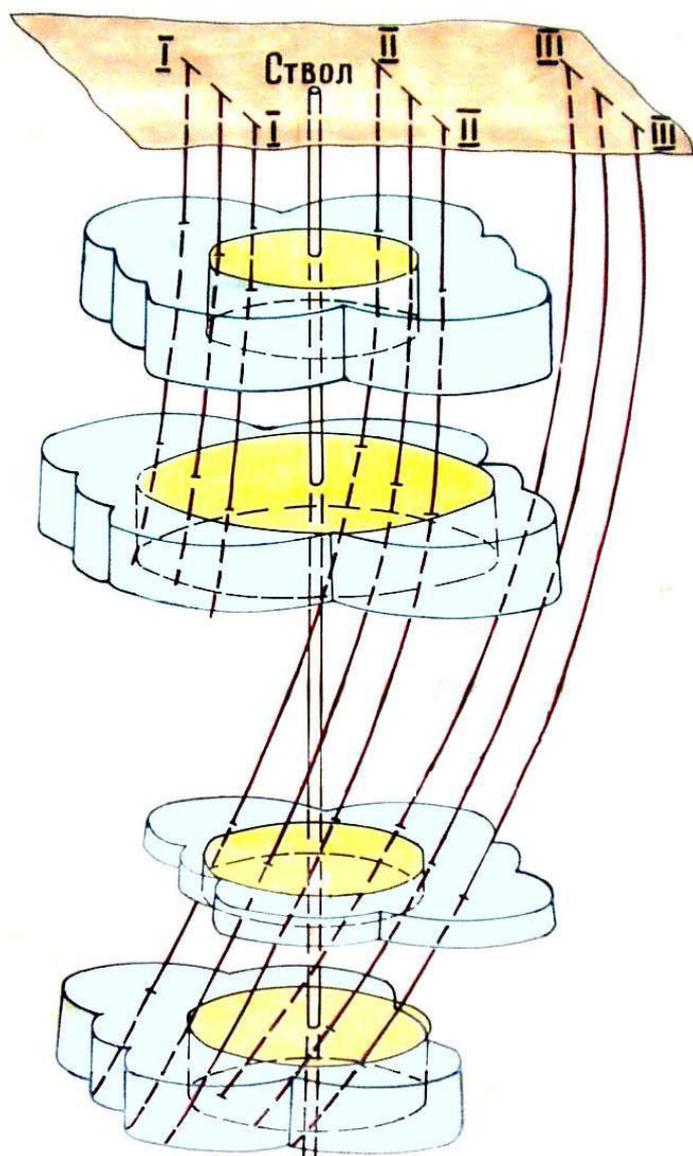


Рис.9.1.2. Схема расположения тампонажных скважин при комплексном методе тампонажа.

Основные отличия КМТ от традиционной цементации:

1) в основе инженерных расчётов лежит объективная информация о характере трещиноватости и фильтрационных свойствах горных пород, получаемая в результате непосредственных измерений и гидродинамических исследований в скважинах, а также в результате анализа и обобщения геологических материалов = *оригинальная методика сбора исходных данных для проектирования процесса тампонажа*;

2) КМТ базируется на научно обоснованном инженерном расчёте всего процесса тампонажа обводнённых горных пород от размеров изоляционной завесы вокруг выработки, выбора числа скважин и режимов нагнетания до контроля качества выполненных тампонажных работ = *оригинальная методика проектирования процесса тампонажа*;

3) тампонаж выполняют новыми высокоэффективными и недорогими глиноцементными тампонажными растворами. Глиноцементные растворы, имея высокую консистенцию, практически не вымываются подземными водами, не расслаиваются при упрочнении, не стабилизируются до тех пор, пока происходит их движение по трубам и трещинам, но очень резко набирают пластическую прочность после прекращения движения. От взрывов растворы только уплотняются. Конечная пластическая прочность 0,5-0,8 МПа = *применение глино-цементных тампонажных растворов*;

4) для тампонажа обводнённых горных пород при проходке шахтных стволов используют наклонно направленные скважины (рис.9.1.2). Применение таких скважин позволяет, с одной стороны, увеличить число подсечённых трещин, а с другой получить значительный выигрыш во времени благодаря совмещению тампонажных работ с подготовительным периодом строительства шахты = *применение наклонно направленных тампонажных скважин*;

5) результаты предварительного тампонажа объективно оценивают до начала горнопроходческих работ по специальной и *оригинальной методике контроля качества*.

Наряду с водоподавлением при сооружении шахтных стволов КМТ успешно применялся для постановки изоляционных завес с целью: 1) в зонах тектонических нарушений для обеспечения развития очистных работ; 2) подавления водопритоков при проведении горизонтальных и наклонных капитальных и подготовительных горных выработок; 3) предупреждения осложнений и ликвидации поглощений промывочного раствора при бурении стволов и скважин большого диаметра (что позволило упростить конструкцию скважин и отказаться от промежуточных обсадных колонн); 4) подавления водопритоков при сооружении околоствольных дворов шахт; 5) подавления остаточных водопритоков в стволы; 6) ликвидации аварийных прорывов воды из старых горных выработок; 7) укрепления неустойчивых горных пород; 8) ремонта плотин и т.д.

9.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТАМПОНАЖА.

2 ЧАСА

ПЛАН.

1. Общие сведения.
2. Визуальные методы сбора исходных данных.
3. Гидродинамические прямые исследования в скважинах.
4. Гидродинамические косвенные исследования в скважинах.
5. Геофизические методы сбора исходных данных.

Л.1, с.194-200,
Л.5, с.131-138.
Л.8, с.22-72.

1. Общие сведения.

Исследования массивов горных пород – важнейшая и неотъемлемая часть тампонажных работ. Обоснованность инженерных решений, а следовательно и эффективность тампонажа, всецело зависят от точности и полноты исходной информации о гидрогеологических свойствах обводнённых горных пород, на базе которых рассчитывают параметры формирования изоляционных завес, принимают технологические режимы нагнетания, состав и свойства тампонажных растворов, технику и технологию производства работ.

Для проектирования и производства тампонажа необходимо знать целый комплекс ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ и ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ горных пород по каждому водоносному горизонту, основными из которых являются:

- 1) статический уровень подземных вод $P_{ст}$;
- 2) размеры трещин (их раскрытие) δ ;
- 3) коэффициент проницаемости массива K_T ;
- 4) комплексный параметр трещиноватости β_i ;
- 5) модуль Юнга (модуль упругости) E ;
- 6) коэффициент Пуассона η ;
- 7) трещинная пустотность (скважность) $m_T = \frac{V_{пустот}}{V_{породы}}$;
- 8) местоположение трещин и пустот;
- 9) направление и скорость течения подземных вод;
- 10) коэффициент трещинной анизотропии \mathcal{E}
и некоторые другие характеристики.

ОСНОВНОЕ ФИЛЬТРАЦИОННОЕ СВОЙСТВО горных пород применительно к теории тампонажа – это ПРОНИЦАЕМОСТЬ.

ПРОНИЦАЕМОСТЬ – есть свойство пористой (трещиноватой) среды пропускать через себя жидкость или газ под воздействием приложенного перепада давления. Проницаемость аналогична электрической проводимости, только относительно жидкости или газа.

За ЕДИНИЦУ ПРОНИЦАЕМОСТИ среды принимается величина, равная в Международной системе единиц (СИ) 1 Дарси = $1,02 * 10^{-12} \text{ м}^2$.

Любой фильтрационный процесс подчиняется ЗАКОНУ ДАРСИ:
"Скорость фильтрации пропорциональна градиенту давления", то есть:

$$V_{\phi} = K_{\phi} \cdot i \quad (9.2.1)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации;
 i - гидравлический уклон.

Объём и число одновременно используемых методов определения исходных данных, то есть комплексность испытаний, определяются целью тампонирувания, а также наличием соответствующего оборудования. Полный комплекс наблюдений и испытаний целесообразно проводить на разведочных скважинах, пробуренных до начала горно-строительных работ, а также на всех тампонажных скважинах в случае тампонирувания с поверхности. При тампонирувании пород из забоя выработки можно ограничиться детальными гидродинамическими исследованиями отдельных скважин, дополняя их результатами визуальных наблюдений на стенках выработки.

Все испытания и исследования по определению исходных данных для проектирования процесса тампонажа подразделяются на следующие группы:

1. Визуальные методы.
2. Гидродинамические прямые методы.
3. Гидродинамические косвенные методы.
4. Геофизические методы.

Рассмотрим их несколько подробнее.

2. Визуальные методы сбора исходных данных.

Визуальные наблюдения проводятся непосредственно на обнажениях горных пород в горных выработках, в скважинах и при изучении кернов. Все эти наблюдения основываются на методе массовых замеров. В пористых породах ввиду их однородности визуальная оценка не имеет самостоятельного значения и носит вспомогательный характер, в то время как визуальные наблюдения в трещиноватых породах дают возможность получить ряд важных данных: *установить системы трещин, элементы их залегания, среднее раскрытие трещин, степень их заполнения вторичными материалами, интенсивность трещиноватости.*

Среди визуальных методов оценки породного массива особо перспективными считаются методы просмотра стен скважин перископическими приборами, их фотографирование (фотокаротаж), а также использование специальных подземных телевизионных камер типа ТУ, ФТСУ, УТФ-1 и др.

ДОСТОИНСТВА визуальных методов:

- 1) быстрое выполнение исследований;
- 2) отсутствие сложного оборудования.

НЕДОСТАТКИ визуальных методов:

- 1) низкая точность;
- 2) большая трудоёмкость исследований;
- 3) затруднения при экстраполяции полученных результатов в любом направлении горного массива.

Визуальные методы сбора исходных данных позволяют производить непосредственные наблюдения внутри массива, однако их использование сопровождается значительными трудностями, а достоверность получаемой информации невелика. Поэтому эти методы в настоящее время не используются самостоятельно, а применяются для подтверждения результатов других (основных) методов исследований.

Пористые среды можно считать однородными, и процессы фильтрации в них (движение воды и тампонажного раствора) изучены достаточно хорошо. Вопросы же движения жидкости в трещиноватых горных породах во многих случаях не имеют однозначных решений.

Анализ имеющегося опыта по визуальному наблюдению и изучению трещиноватых горных пород позволяет отметить ряд важных для практики ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ, которые сводятся к следующему:

I. Наличие ОСНОВНЫХ СИСТЕМ ТРЕЩИН, в которые группируется большинство трещин независимо от возраста пород. Под системой понимается совокупность трещин, направление которых подчиняется законам нормального распределения. Системы в трещиноватых породах представлены участками размером от нескольких метров до сотен и тысяч метров, трещиноватость на которых характеризуется близкими параметрами. Трещины в системе распределяются не хаотично, а образуют относительно правильные геометрические сетки, имеющие определённые ориентировки в пространстве, раскрытие и величину нормальной густоты.

II. Трещиноватые породы обладают ярко выраженной АНИЗОТРОПИЕЙ, то есть различием свойств трещиноватого массива в зависимости от направления. Поэтому при наличии двух систем трещиноватости (а самый распространённый случай - это присутствие основной и подчинённой систем трещин) распространение жидкости вокруг скважины в каждой отдельно взятой плоскости в любой момент времени будет определяться эллипсом с осями в направлении систем трещин (основная система - большая ось, подчинённая - малая) (рис.9.2.1, плакат).

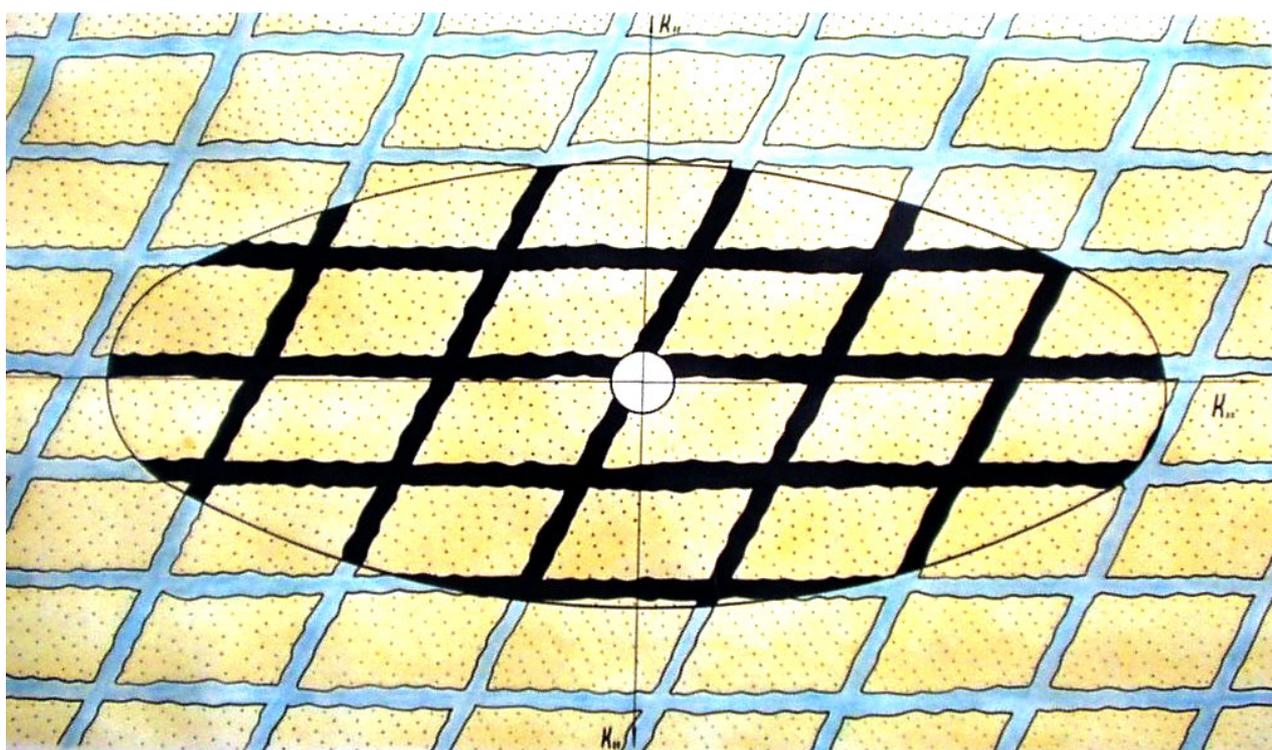


Рис.9.2.1. Форма распространения тампонажного раствора из отдельной скважины.

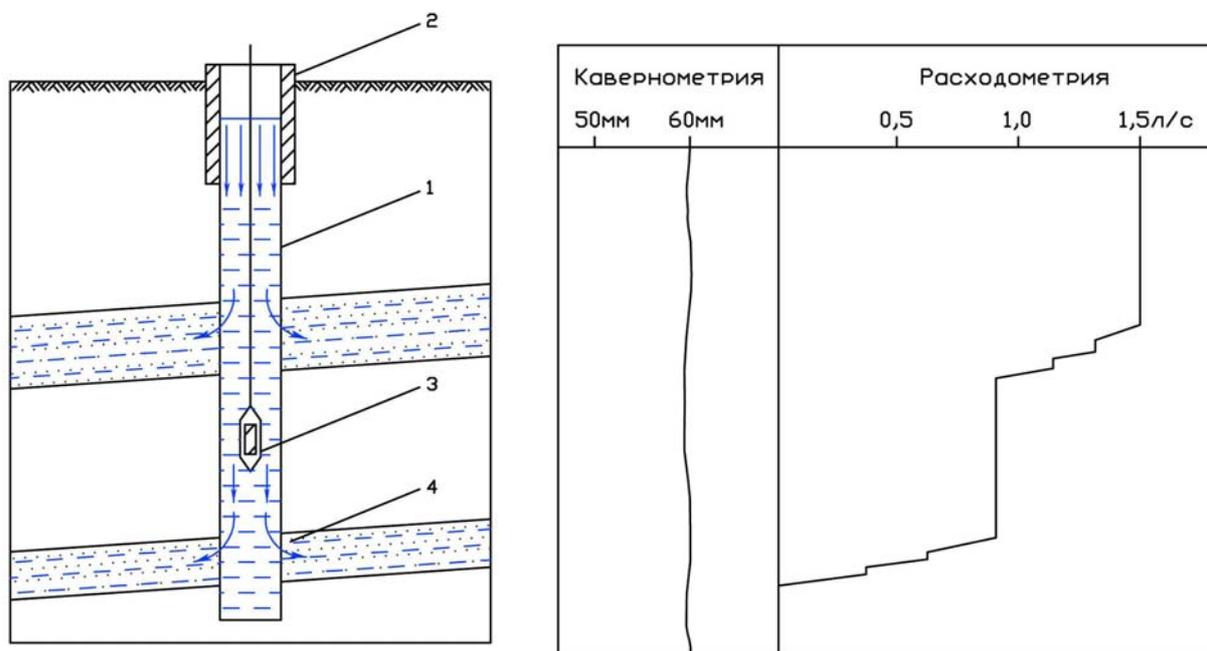
III. ОБРАЗОВАНИЕ ТРЕЩИН ЗАВИСИТ от мощности, плотности и угла падения пласта. Чем больше плотность, меньше мощность и больше угол падения пласта пород, тем больше в нём образуется трещин.

IV. ОРИЕНТИРОВКА основных систем трещин сохраняется с глубиной в рассматриваемых пластах и во вмещающих породах. ВЕЛИЧИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН уменьшается с глубиной.

3. Гидродинамические прямые исследования в скважинах.

Для проведения исследований в скважинах используются следующие приборы: расходомеры типа ДАУ-3М (с наружным диаметром 44,57,73,108 мм) для вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин; различные электроуровнемеры (в том числе ДАУ-4); приборы для определения направления и скорости течения подземных вод соответственно ДАУ-6 и СТГ-С, а также различные одинарные и двойные пакеры типа ДАУ для осуществления поинтервальных откачек, наливов и расходометрических исследований. Комплекс перечисленных приборов позволяет производить производственные исследования каждого в отдельности водоносного горизонта без крепления скважин обсадными трубами.

Метод расходографии основан на поинтервальном измерении расхода жидкости по стволу скважины при нарушении статического равновесия в системе "скважина-водоносный горизонт" (рис.9.2.2). Полученные при исследованиях индикаторные зависимости перепада давления от дебита водоносного горизонта служат основой для расчёта гидродинамических параметров.



Обозначения: 1-скважина; 2-кондуктор; 3-расходомер; 4-водоносный горизонт.

Рис.9.2.2. Расходометрические исследования в скважине.

Расходомер ДАУ-3М (рис.9.2.3, плакат) состоит из наземного пульта и датчика, опускаемого в скважину на каротажном кабеле. Рабочим элементом датчика расходомера является многолопастная крыльчатка. В зависимости от скорости враще-

ния крыльчатки вырабатывается соответствующий электрический импульс, который по кабелю передается на наземный пульт. Расход жидкости через датчик определяется по известной для каждого расходомера зависимости от частоты вращения крыльчатки.

Перед проведением расходомерии с целью определения фактического диаметра скважины проводят КА-ВЕРНОМЕТРИЮ (уточнение фактического $D_{\text{скважины}}$).

Расходомер перемещается по скважине с помощью бурильных труб, и в процессе этого перемещения постоянно снимаются показания датчика. На основании показаний расходомера и кавернограммы строят расходограмму по всей скважине (рис.9.2.2).

Анализируя расходограмму, возможно определить следующие исходные данные для тампонирования: число водоносных горизонтов; глубину залегания и мощность водоносных горизонтов; характер трещиноватости горных пород; величину и направление перетока воды по скважине между горизонтами и косвенно оценить проницаемость массива горных пород.

Уровень подземных вод (статический и динамический) в скважинах определяется при помощи переносных или стационарных уровнемеров. К переносным уровнемерам относятся мерные тросы, рулетки с хлопущками (на глубину до 50 м), электроуровнемеры (до 200 м). Принцип действия последних основан на замыкании электрической цепи между спускаемым наконечником и водой, которое определяют по индикатору.

В объединении "Спецтампонажгеология" (СТГ) разработан более совершенный электроуровнемер для непрерывной автоматической регистрации

уровня жидкости в скважине ДАУ-4 (рис.9.2.4). Прибор состоит из скважинной и поверхностной частей.

Скважинная часть, опущенная на кабеле, представляет собой перфорированную трубу, сквозь которую пропущена гирлянда постоянных сопротивлений.

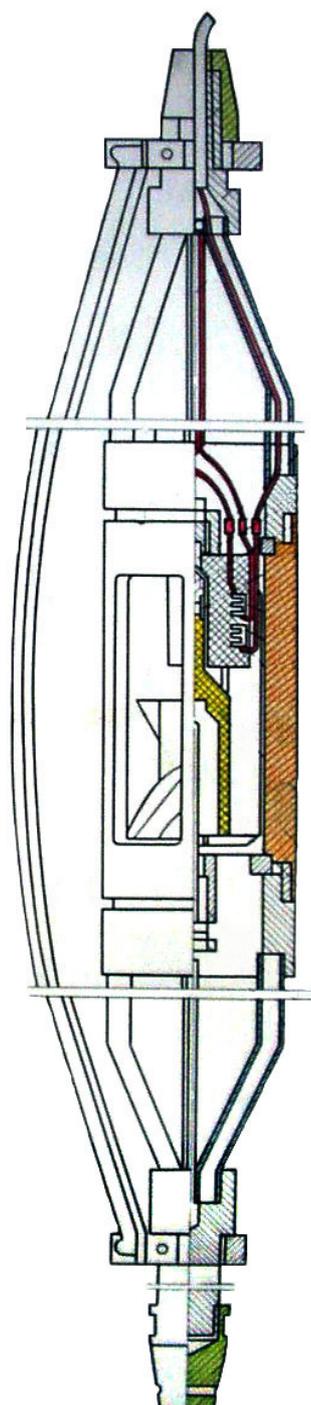
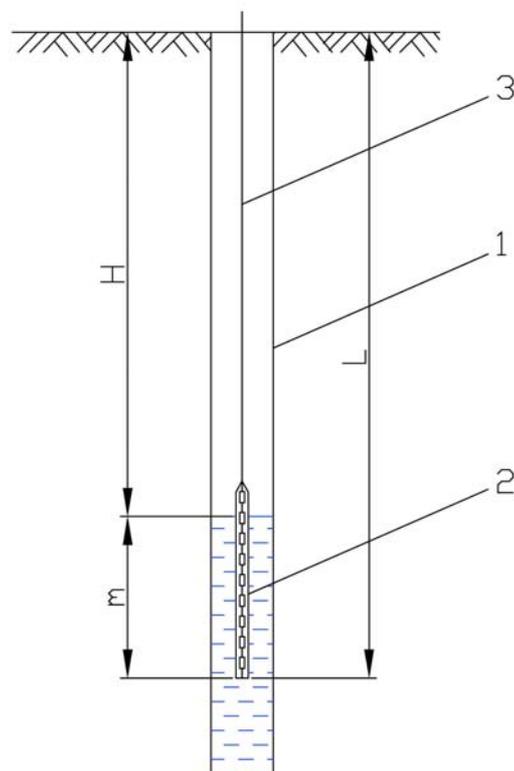


Рис.9.2.3. Общий вид датчика расходомера ДАУ-3М.



Обозначения:

- 1-скважина;
- 2-датчик уровнемера;
- 3-тарированный кабель.

Рис. 9.2.4. Уровнемер ДАУ-4.

Уровень жидкости в скважине определяется по известной длине опущенного в скважину кабеля вместе с датчиком (L) за вычетом длины погружённой части датчика (m), т.е.

$$H = L - m, \text{ м} \quad (9.2.2)$$

Длина погружённой части датчика, в свою очередь, определяется по величине постоянного напряжения на выходе преобразователя.

Направление потока подземных вод определяется при помощи прибора ДАУ-6 (плакат). Основными конструктивными элементами прибора являются две магнитные буссоли. Верхняя буссоль постоянно ориентирована на север. Нижняя буссоль жёстко связана с флюгером, который потоком подземных вод проницаемого горизонта разворачивается в направлении их движения. Разность замеров верхней и нижней буссолей соответствует азимуту направления потока подземных вод данного горизонта.

Скорость течения подземных вод определяется при помощи прибора СТГ-С, который состоит из скважинного датчика и измерительного блока. Чувствительным элементом датчика является турбинка, лопасти которой параллельны оси её вращения, то есть вертикальны. В районе проницаемого горизонта турбинка начинает вращаться, а частота её вращения снимается на измерительный блок. Величину скорости движения подземных вод определяют в зависимости от частоты вращения турбинки по тарировочному графику, характерному для каждого прибора.

4. Гидродинамические косвенные исследования в скважинах.

Метод удельного водопоглощения до недавнего времени был одним из основных при определении исходных данных для тампонажа. Этот метод заключается в том, что участок, подлежащий тампонируемому, испытывают на его проницаемость путём закачки чистой воды при давлении, большем, чем гидростатическое. При этом, насколько хорошо породы будут принимать закачиваемую воду, настолько же хорошо они должны будут принимать тампонажный раствор. Скважину на высоту испытываемой проницаемой зоны отделяют от вышележащих зон тампоном. Расход воды, выраженный в л/мин, приведенный к напору и к 1 м длины (высоты) зоны, называют **УДЕЛЬНЫМ ВОДОПОГЛОЩЕНИЕМ**:

$$q = \frac{Q}{H \cdot h}, \text{ л/мин*м*м} \quad (9.2.3)$$

где Q - расход воды в испытываемой зоне при принятом давлении нагнетания, л/мин;
 H - напор, при котором вода нагнетается в испытываемую зону, м вод.ст. ;
 h - высота испытываемой зоны, м.

Удельное водопоглощение является условной характеристикой степени водопроницаемости (трещиноватости) горных пород. Этот метод, несмотря на простоту его проведения, что в немалой степени способствовало его широкому использованию, является относительной характеристикой горных пород, которая не отражает ни истинной проницаемости пласта, ни ожидаемого водопритока, ни величины и характера трещиноватости.

В зависимости от величины удельного водопоглощения все горные породы по водопроницаемости условно разделяют на 7 категорий:

I	$q < 0,001$ л/мин*м*м	– водонепроницаемые,
II	$q = 0,001-0,01$ л/мин*м*м	– слабоводопроницаемые,
III	$q = 0,01-0,1$ л/мин*м*м	– водопроницаемые,
IV	$q = 0,1-1$ л/мин*м*м	– средней водопроницаемости,
V	$q = 1-10$ л/мин*м*м	– высокой водопроницаемости,
VI	$q = 10-100$ л/мин*м*м	– весьма высокой водопроницаемости,
VII	$q > 100$ л/мин*м*м	– исключительно высокой водопроницаемости.

В Донбассе чаще всего встречаются породы III, IV, V категорий.

Метод восстановления пластового давления основан на возбуждении водоносного горизонта откачкой или наливом в течение длительного времени и измерении процесса восстановления пластового давления во времени после прекращения откачки (нагнетания). При этом исследуемый горизонт изолируется от вышележащих пластов с помощью специального устройства (пакера). Продолжительность возбуждения горизонта должна быть ориентировочно равной или больше времени восстановления пластового давления.

По данным изменения динамического уровня во времени строится график зависимости $P_i = f \cdot (\ln t_i / (T + t_i))$, где P_i - уровень воды, соответствующий текущему времени t_i , а T - время нагнетания.

Подробный анализ этого и некоторых других графиков, построенных по данным натурных наблюдений, позволяет определить коэффициенты проницаемости водоносных горизонтов, гидростатический напор подземных вод, коэффициенты пьезопроводности и упругоёмкости, ожидаемый водоприток в горную выработку.

Метод определения коэффициента трещинной анизотропии основан на проведении гидродинамических исследований в кусте скважин и построении по данным исследований карты гидроизогипс. Такие исследования проводятся после окончания бурения всех тампонажных скважин вокруг ствола. Исследования заключаются в осуществлении нагнетания или откачки воды в одной из скважин и измерении положения динамического уровня воды в других скважинах. Полученные значения динамического уровня для каждого водоносного горизонта наносятся на

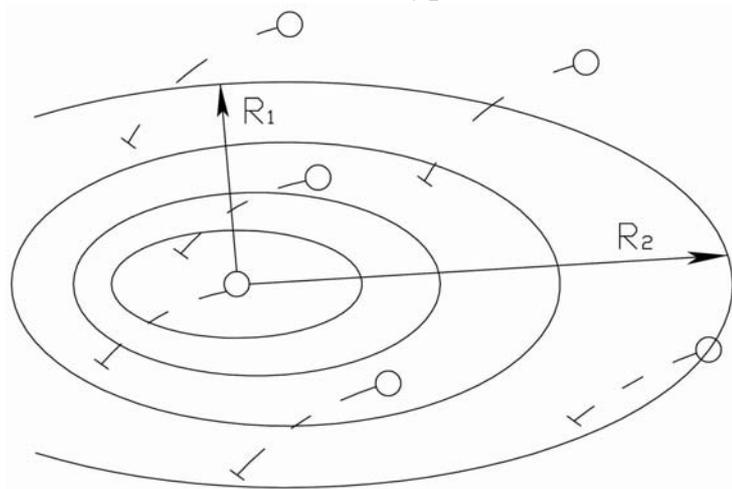


Рис.9.2.5. План гидроизогипс при возбуждении скважины.

горизонтальные проекции профилей скважин, что является основой для построения гидроизогипс (рис.9.2.5).

Коэффициент трещинной анизотропии (ε) определяется следующим образом:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{k_{11}}{k_{22}}} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (9.2.4)$$

где k_{11} , k_{22} - проницаемость пород в направлении главных осей депрессионной воронки;

R_1 , R_2 - радиусы депрессионной воронки в плане.

5. Геофизические методы сбора исходных данных.

Наряду с гидродинамическими методами для определения ёмкостных и фильтрационных свойств горных пород, а также для привязки результатов гидродинамических исследований в скважинах к литологии разреза необходимо предусматривать проведение некоторых геофизических методов исследований, которые могут быть применены к любому специальному способу водоподавления и входят в комплексный метод тампонажа. Сюда относятся:

1. Электрокаротаж сопротивления.
2. Радиоактивный каротаж.
3. Акустические и сейсмоакустические методы.
4. Ультразвуковые методы.

Изучение горных пород геофизическими методами проводится с земной поверхности, через скважины и непосредственно из горных выработок. Наиболее достоверные результаты получают при геофизическом исследовании массива через скважины. Для этого разработан комплекс специального геофизического оборудования. Спуск и подъём приборов и зондов в скважину производят на геофизическом кабеле с помощью каротажной станции и подъёмника или каротажной лаборатории, которые оборудованы измерительной и регистрирующей аппаратурой. Каротажный подъёмник устанавливают на отдельном автомобиле (на шасси ГАЗ-66 или ЗИЛ-131) в кузове. Он работает совместно с самоходной лабораторией. Кузов автомобиля разделяют перегородкой с окном на две секции:

- передняя - рабочее место и вся аппаратура;
- задняя - спуско-подъёмный агрегат и другое каротажное оборудование.

Привод барабана каротажных подъёмников осуществляют от двигателя автомобиля.

9.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТАМПОНАЖНЫХ РАБОТ.

2 ЧАСА

ПЛАН.

1. Проектирование предварительной цементации с поверхности при сооружении шахтных стволов.
2. Проектирование предварительной цементации из забоев вертикальных стволов.
3. Проектирование последующей цементации вертикальных стволов.
4. Проектирование тампонажных работ по комплексному методу.

Л.1, с.250-256,
Л.5, с.139-150,
Л.7, с.171-176.

В комплексе работ по проектированию процесса формирования водоизоляционных завес вокруг горных выработок, сооружаемых в сложных горно-геологических условиях, целесообразно предусматривать выполнение следующих этапов:

I - сбор, обобщение и обработка геологической информации о характере трещиноватости или закарстованности обводнённых горных пород.

II - расчёт необходимых размеров изоляционных завес по каждому водоносному горизонту (интервалу), контуров распространения тампонажного раствора из отдельных скважин, выбор мест заложения, расчёт оптимального числа скважин и объёма тампонажного раствора для формирования тампонажных завес. Следует иметь в виду, что расчёт геометрических размеров тампонажных завес в известной мере является условным, так как тампонажный раствор по трещинам горных пород распространяется на различные расстояния от скважины по-разному в зависимости от величины раскрытия, направления и извилистости трещин, состава и концентрации тампонажного раствора.

III - выбор и разработка рецептуры тампонажного раствора для конкретных условий.

Проектирование процесса формирования водоизоляционных завес вокруг горных выработок осуществляют в зависимости от применяемого специального способа и технологической схемы производства тампонажных работ.

1. Проектирование предварительной цементации с поверхности при сооружении шахтных стволов.

При проектировании работ по предварительной цементации через скважины, пробуренные с поверхности, определяют свойства изолируемого массива, рассчитывают размеры цементационной завесы, выбирают длину цементационных заходов, схему расположения и число цементационных скважин, рассчитывают давление нагнетания и необходимый объём цементного раствора.

- 1.1. Расчёт геометрических размеров цементационной завесы.

Применительно к стволам круглого сечения параметры тампонажной завесы могут быть определены по методике **Е.П.Калмыкова**, согласно которой считается,

что вокруг ствола формируется тампонажная завеса кольцевой формы с внутренним диаметром $D_{св}$ и наружным D_2 . Внутри этой зоны существует зона растрескивания диаметром D_1 , образующаяся за счёт ведения взрывных работ (рис. 9.3.1).

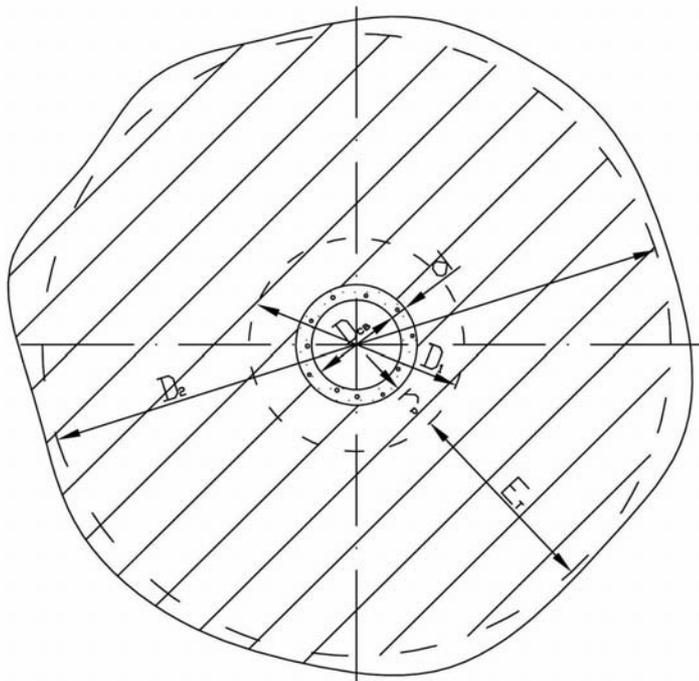


Рис.9.3.1. Схема к определению геометрических размеров завесы.

- k - коэффициент работоспособности ВВ относительно тротила;
- $r = 0,1-0,4$ м - радиус камуфлетной полости для 1 кг тротила, м;
- $q_{ВВ}$ - масса заряда ВВ в одном оконтуривающем шпуре, кг;
- $D_{св}$ - диаметр ствола в свету, м;
- d - толщина крепи ствола, м;
- $\psi = 1,07-1,1$ - коэффициент перебора породы по сечению ствола;
- $m = 0,6-0,7$ коэффициент условий работы для этого случая;
- R_n - предел прочности на одноосное сжатие зацементированных пород, МПа;
- $\lambda = 1,25-1,35$ - коэффициент перегрузки;
- P_2 - гидростатическое давление подземных вод, МПа.

1.2. Выбор длины цементационных заходок.

При цементации обводнённые горные породы целесообразно разделять на отдельные заходки. Длина цементационных заходок обусловлена рядом факторов и на практике колеблется от 10 до 100 м.

При наличии в разрезе проектируемого ствола водоносных горизонтов с различными фильтрационными свойствами цементацию следует производить короткими заходками, обеспечивающими изоляцию отдельных или нескольких близких по проницаемости горизонтов. Цементацию соседних водоносных горизонтов с близкими значениями коэффициентов проницаемости целесообразно осуществлять одной заходкой.

Преимуществами цементации короткими заходками являются меньший расход цементного раствора, обусловленный низкими давлениями нагнетания, простота контроля за процессом цементации, обеспечение качественной водоизоляции благо-

Толщина кольцевой завесы E_T определяется по формуле ЛЯМЕ:

$$E_T = \frac{D_1}{2} \cdot \left(\sqrt{\frac{m \cdot R_n}{m \cdot R_n - 2 \cdot \lambda \cdot P_2}} - 1 \right), \text{ м} \quad (9.3.1)$$

где D_1 - диаметр зоны растрескивания пород, м

$$D_1 = (D_{св} + 2 \cdot d) \cdot \psi + 2 \cdot r_p, \text{ м} \quad (9.3.2)$$

r_p - глубина зоны растрескивания пород от действия взрывных работ;

$$r_p = 4 \cdot k \cdot r \cdot \sqrt[3]{q_{ВВ}}, \text{ м} \quad (9.3.3)$$

даря более равномерной цементации водоносных пород. Основным недостатком цементации короткими заходками - длительность выполнения во времени. Преимущества и недостатки цементации длинными заходками с точностью до наоборот повторяют указанные выше.

Итак, вначале определяют длину цементационной заходки с учётом геологических, организационно-технических и экономических факторов, а затем подбирают насос с подачей, обеспечивающей нормальные условия цементации по всей длине заходки. Если такого насоса не существует, то окончательную (допустимую) длину заходки рекомендуется принимать с учётом фактической максимальной подачи насоса и фильтрационных свойств цементируемых горных пород. Для приближённых расчётов здесь можно использовать формулу Е.П.Калмыкова:

$$l = \frac{k_k \cdot \theta \cdot Q_n}{q \cdot P_n \cdot n_T}, \text{ м} \quad (9.3.4)$$

где l - допустимая длина заходки, м;

k_k - коэффициент, учитывающий концентрацию раствора;

θ - коэффициент, учитывающий способ нагнетания раствора в скважину;

Q_n - подача (производительность) цементирующего насоса, м³/с;

q - удельное водопоглощение пород, м³/с*м*МПа;

P_n - давление нагнетания тампонажного раствора в скважину, МПа;

n_T - число скважин, одновременно тампонируемых одним насосом.

1.3. Схемы расположения и расчёт числа тампонажных скважин.

При цементации с поверхности земли расположение, число цементационных скважин и расстояние между ними во многом зависят от ряда горно-геологических, технологических и организационно-технических факторов, а именно: фильтрационных параметров обводнённого массива, величины радиуса распространения раствора, давления нагнетания, состава и концентрации раствора и др. Но в любом случае расположение тампонажных скважин, их число и расстояние между ними должны обеспечивать сплошность и максимальную плотность тампонажной завесы.

При строительстве шахтных стволов с применением предварительной цементации с поверхности земли тампонажные скважины чаще всего располагают на одной окружности, диаметр которой на 12-20 м больше диаметра ствола в свету. При этом радиус распространения раствора из одной скважины (r_T) можно определить из выражения Н.И.Веригина:

$$r_T = \sqrt{\frac{Q_{ск} \cdot t}{\pi \cdot H_T \cdot m_T \cdot K_H}}, \text{ м} \quad (9.3.5)$$

где $Q_{ск}$ - расход цементного раствора, нагнетаемого в скважину, м³/час;

t - продолжительность нагнетания, час;

H_T - мощность тампонируемого водоносного горизонта, м;

m_T - трещинная пустотность (скважность) горных пород;

$K_H = 1,25-1,35$ - коэффициент неравномерности распространения пустот и трещин в горных породах.

На основании практики строительства стволов с применением цементации с земной поверхности расстояние между тампонажными скважинами ($l_{ск}$) принимают:

- 5-7 м при преобладании в породах мелких ($\delta=1-5$ мм) и тонких ($\delta=0,1-1$ мм) трещин;
- 7-9 м при преобладании пород со средней ($\delta=5-20$ мм) трещиноватостью;
- 9-12 м и более при преобладании пород с крупной трещиноватостью ($\delta=20-100$ мм).

Наибольшее допустимое расстояние между тампонажными скважинами [$l_{ск}$] можно определить по формуле:

$$[l_{ск}] = \sqrt{4 \cdot r_T^2 - E_T^2}, \text{ м} \quad (9.3.6)$$

Исходя из этого, число тампонажных скважин (N_T) без учёта контрольных и резервных будет:

$$N_T = \frac{\pi \cdot D_T}{l_{ск}}, \text{ шт.} \quad (9.3.7)$$

где D_T - диаметр расположения тампонажных скважин, м.

$$D_T = \sqrt{D_1^2 + 2 \cdot E_T \cdot (D_1 + E_T)}, \text{ м} \quad (9.3.8)$$

1.4. Расчёт давления нагнетания.

Давление нагнетания цементного раствора является одним из основных технологических параметров процесса предварительной цементации с поверхности, определяющим в значительной степени её конечный результат. Величина давления нагнетания может изменяться в широких пределах (от 0 до 70 МПа) и зависит от δ и P_z , состава и концентрации цементных растворов, радиусов их распространения из отдельных скважин, принятой технологической схемы нагнетания и других факторов, учитываемых при проектировании и производстве цементационных работ.

От правильно выбранного конечного давления нагнетания в значительной мере зависят качество цементационной завесы и расход тампонажных материалов, продолжительность и стоимость цементационных работ.

При ведении работ с поверхности земли давление нагнетания должно быть таким, чтобы обеспечить проникновение тампонажного раствора в трещины и поры горных пород на заданное расстояние от тампонажных скважин и вместе с тем исключить возможность деформации пород и гидроразрывы пластов.

В первой вышележащей заходке давление нагнетания должно быть не более допустимого P_D :

$$P_D = \frac{\gamma_n \cdot h_o}{100 \cdot m}, \text{ МПа} \quad (9.3.9)$$

где γ_n - плотность пород, т/м³;

h_o - глубина заделки кондуктора или установки пакера в скважине, м;

$m = 0,4-0,5$ - коэффициент, учитывающий сопротивление при движении тампонажного раствора по трещинам и порам горных пород.

При тампонировании горных пород при строительстве глубоких шахтных стволов:

- в ЮАР принимают давление нагнетания тампонажного раствора из расчёта 0,023 МПа на 1 м глубины ствола, но не менее 3,5 МПа;
- в Великобритании - 0,025-0,045 МПа на 1 м.

В нашей стране рекомендуется ИЗБЫТОЧНОЕ давление нагнетания цементационного раствора (т.е. давление, превышающее естественный гидростатический напор подземных вод) для средних условий при тампонировании однородных трещиноватых горных пород принимать в зависимости от максимальной высоты одновременно тампонируемой зоны (высоты заходки) (табл.9.3.1):

Таблица 9.3.1. Определение избыточного давления ΔP .

Высота заходки, H_T , м	50	100	200	300	400	500	600	700
Изб. давление ΔP , МПа	1-2	3-4	5-6	7-9	10-12	13-14	15-17	18-20

При нагнетании тампонажного раствора с поверхности земли насосами с давлением нагнетания P_n давление тампонажного раствора составит:

- в кровле тампонируемого водоносного горизонта P_1 :

$$P_1 = P_n + \frac{\gamma_p \cdot h}{100}, \text{ МПа} \quad (9.3.10)$$

- в почве тампонируемого водоносного горизонта P_2 :

$$P_2 = P_n + \frac{\gamma_p \cdot h + (\gamma_p - \gamma_в) \cdot H_T}{100}, \text{ МПа} \quad (9.3.11)$$

где γ_p - плотность тампонажного раствора, т/м³;
 h - глубина от поверхности до уровня подземных вод, м;
 $\gamma_в$ - плотность подземных вод, т/м³;
 H_T - мощность тампонируемого водоносного горизонта, м.

1.5. Расчёт необходимого объёма цементного раствора.

В практике производства цементационных работ при сооружении шахтных стволов в обводнённых трещиноватых породах расход тампонажных материалов определяют, исходя из условия формирования изоляционной завесы вокруг ствола в виде сплошного цилиндра, высота которого равна общей мощности цементируемых горных пород.

Объём пустот в горных породах, подлежащих заполнению тампонажным материалом, составляет:

$$Q_n = 0,25 \cdot \pi \cdot D_2^2 \cdot H_T \cdot m_T \cdot K_n, \text{ м}^3 \quad (9.3.12)$$

где $D_2 = D_1 + 2 \cdot E_T$, м (9.3.13)

D_2 - внешний диаметр кольцевой цементационной завесы, м.

В процессе производства цементационных работ необходимо осуществлять корректировку основных параметров цементации для каждой скважины и заходки.

2. Проектирование предварительной цементации из забоев вертикальных стволов.

Отличительной особенностью проектирования предварительной цементации из забоев вертикальных стволов является расчёт предохранительных тампонажных перемычек (подушек) или предохранительных породных целиков, которые предназначены для восприятия и передачи вмещающим породам гидростатического давления подземных вод и давления нагнетания тампонажного раствора. Существует 4 основных вида предохранительных перемычек (рис.9.3.2):

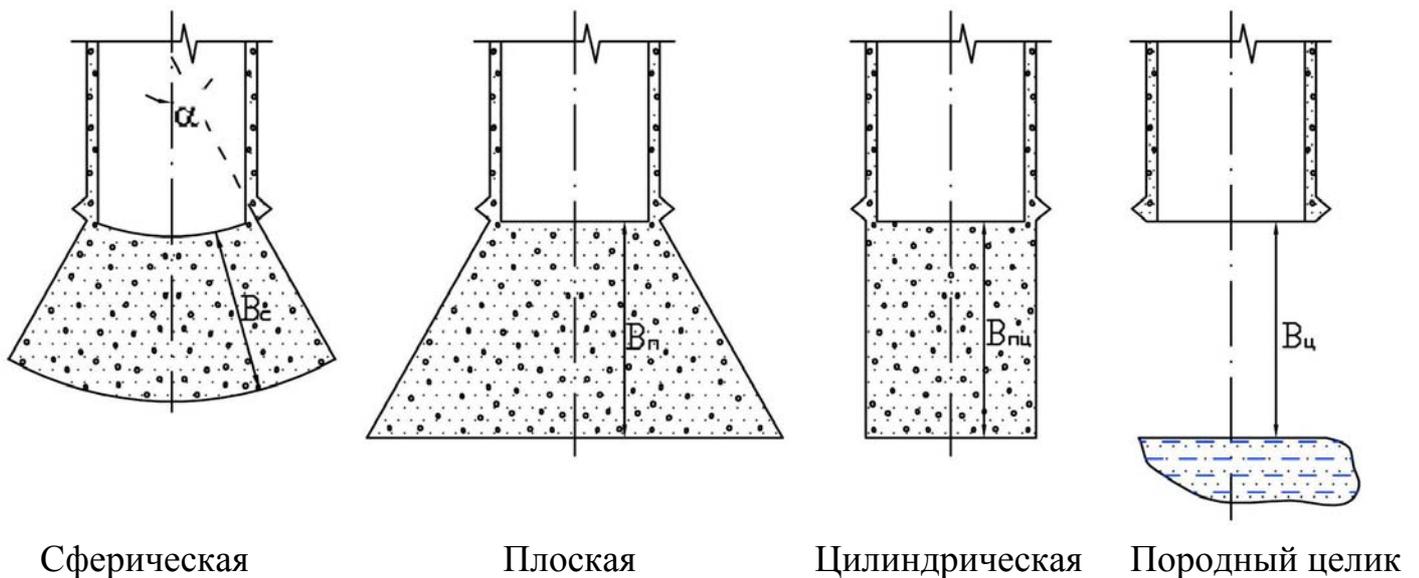


Рис.9.3.2. Виды тампонажных предохранительных перемычек.

Расчёт тампонажных подушек и предохранительных породных целиков производят по методике Е.П.Калмыкова. Толщина сферической одноступенчатой тампонажной подушки (B_c), передающей давление на горные породы, определяется по формуле:

$$B_c = \frac{\lambda \cdot P_n \cdot (r^2 + h^2)^2}{4 \cdot r^2 \cdot h \cdot m \cdot R_6}, \text{ м} \quad (9.3.14)$$

где $\lambda = 1,1-1,2$ - коэффициент перегрузки;

P_n - давление нагнетания тампонажного раствора, МПа;

r - радиус ствола в проходке, м;

$h = 0,15 \cdot D_{np}$ - высота сферической поверхности перемычки, м;

$m = 0,7-0,8$ - коэффициент условий работы;

$R_6 = n_6 \cdot R_{28}$ - расчётное сопротивление бетона на сжатие в раннем возрасте, МПа;

D_{np} - диаметр ствола в проходке, м;

n_6 - коэффициент относительной прочности бетона в раннем возрасте (из таблиц);

R_{28} - сопротивление бетона в 28-суточном возрасте (марка), МПа.

Толщина плоской одноступенчатой тампонажной подушки (B_n) равна:

$$B_n = \frac{\lambda \cdot P_n \cdot (r^2 + h^2)^2}{4 \cdot r^2 \cdot h \cdot m \cdot R_0} + h, \text{ м} \quad (9.3.15)$$

При расчётной толщине тампонажной подушки более 2,5 м целесообразно применение многоступенчатых конструкций. Число ступеней находится из выражения:

$$n = \frac{B_M}{B_{cm}} \quad (9.3.16)$$

где B_M - необходимая толщина подушки, м;

$B_{cm} = 1,5-2,5$ м - рекомендуемая толщина одной ступени.

Если предварительную цементацию из забоя ствола осуществляют под защитой предохранительного породного целика, то его толщину определяют по формуле:

$$B_{ц} \geq \frac{\lambda \cdot P_n \cdot D_{np}}{4 \cdot m_1 \cdot \tau}, \text{ м} \quad (9.3.17)$$

где m_1 - коэффициент условий работы;

τ - допускаемое напряжение срезу (скалыванию) горных пород.

Необходимый размер изоляционной завесы, число, схему расположения цементационных скважин, давление нагнетания и необходимый объём цементного раствора определяют по той же методике, что и при цементации с поверхности. Исключением является определение диаметра расположения тампонажных скважин D_T , который зависит от габаритов бурового оборудования:

$$D_T = D_{ce} - (0,6...1,5), \text{ м} \quad (9.3.18)$$

В отечественной практике цементации из забоев стволов начальное давление на устье цементационных скважин принимают на 0,1-0,2 МПа выше гидростатического давления подземных вод, а конечное избыточное давление нагнетания составляет 2-5 МПа.

3. Проектирование последующей цементации вертикальных стволов.

При выполнении работ по последующей цементации при сооружении вертикальных стволов в зависимости от цели и технологической схемы тампонажные скважины располагают параллельными рядами, в шахматном порядке или по спиральной линии. Длина цементационных скважин в зависимости от поставленной задачи может изменяться от 0,5 м при укреплении крепи до 10 м при цементации трещиноватых пород за крепью ствола.

В зависимости от направления трещиноватости скважины бурят горизонтальными (при вертикальной, крутой и наклонной трещиноватости) или наклонными (при пологой и горизонтальной трещиноватости пород). В зависимости от гидрогеологических условий расстояние между скважинами в ярусах колеблется от 1 до 3 м, расстояние между ярусами цементируемого участка от 1 до 4 м. Максимальное расстояние принимают при ликвидации остаточных притоков из водоносных горизон-

тов с низкими напорами подземных вод и со средней или крупной трещиноватостью пород. Минимальное расстояние принимают при укрепительной цементации и подавлении водопритоков из тонкотрещиноватых пород при высоких гидростатических давлениях подземных вод.

Давление нагнетания цементного раствора при последующей цементации вертикальных стволов зависит от допустимой нагрузки на крепь ствола, степени трещиноватости цементируемых пород, состояния крепи, применяемой технологии, глубины заделки кондуктора.

Допустимое давление цементного раствора на бетонную крепь ствола следует определять по формуле Е.П.Калмыкова:

$$P = \frac{(D_{св} + d_{кр}) \cdot d_{кр} \cdot R_n}{2 \cdot (D_{св} / 2 + d_{кр})^2}, \text{ МПа} \quad (9.3.19)$$

где $D_{св}$ - диаметр ствола в свету, м;

$d_{кр}$ - толщина крепи, м;

R_n - нормативное сопротивление бетонной крепи сжимающим усилиям, МПа, для бетона М200 $R_n = 18$ МПа.

Максимальное допустимое давление нагнетания цементного раствора на устье скважины определяется по формуле Е.П.Калмыкова:

$$P_{max} = P + \Delta P_1 \cdot l_n + \Delta P_2, \text{ МПа} \quad (9.3.20)$$

где ΔP_1 - удельные потери давления на 1 м трещиноватых пород при движении раствора от забоя кондуктора (пакера) к крепи. Значения ΔP_1 следует принимать следующие:

- при тонкой трещиноватости ($\delta = 0,1-1$ мм) - 1-0,5 МПа/м;
- при мелкой ----- " ----- ($\delta = 1 - 5$ мм) - 0,5-0,1 МПа/м;
- при средней ----- " ----- ($\delta = 5-20$ мм) - 0,1-0,02 МПа/м;
- при крупной ----- " ----- ($\delta = 20-100$ мм)- 0,02-0,005 МПа/м;

l_n - глубина заделки кондуктора или пакера в породу, м;

ΔP_2 - потери давления раствора при фильтрации через крепь ствола.

$\Delta P_2 = 0,2-0,6$ МПа.

Если получается, что P_{max} менее P_z (гидростатического напора), то необходимо увеличивать глубину заделки кондуктора или сближать скважины.

Расчёты объёмов нагнетаемого раствора аналогичны предыдущему.

4. Проектирование тампонажных работ по комплексному методу.

Проектирование процесса формирования изоляционных завес производят раздельно по каждому водоносному горизонту. Допускается объединение в одну тампонажную заходку соседних водоносных горизонтов при близких значениях гидростатических напоров и различии коэффициентов проницаемости не более чем в 2,5 раза.

4.1. Расчёт размеров изоляционной завесы вокруг шахтного ствола.

Форма и размеры изоляционной завесы, создаваемой вокруг шахтного ствола, определяются параметрами трещиноватости водоносных горных пород, перепадом давлений в системе "ствол - водоносный горизонт" и структурно-механическими свойствами тампонажного раствора.

Размеры тампонажной завесы определяются по формулам:

- в направлении основной системы трещин

$$R_2 = \frac{\alpha \cdot \delta_{\max} \cdot P_z}{2 \cdot [P_T]} + R_{np}, \text{ м} \quad (9.3.21)$$

- в направлении подчинённой системы трещин

$$R_1 = \varepsilon \cdot (R_2 - R_{np}) + R_{np}, \text{ м} \quad (9.3.22)$$

где δ_{\max} - максимально наблюдаемое раскрытие трещин на участке, м;
 $[P_T] = P_T/n$ - допустимая пластическая прочность тампонажного раствора, МПа;
 P_T - пластическая прочность тампонажного раствора, МПа;
 $n = 5-10$ - коэффициент запаса прочности для тампонажного раствора;
 $\alpha = 2-5$ - коэффициент запаса прочности завесы.

Форма изоляционной завесы, создаваемой вокруг ствола в анизотропных трещиноватых горных породах - эллипс с полуосями R_1 и R_2 (рис.8.2.1, плакат).

4.2. Расчёт оптимального числа скважин и выбор рациональных мест их заложения.

Максимально возможные контуры распространения тампонажного раствора из одиночной скважины определяются по следующим формулам:

$$r_1 = \frac{\delta_{11} \cdot \Delta P_{mp}}{2 \cdot \tau_0}, \text{ м} \quad \text{и} \quad r_2 = \frac{\delta_{22} \cdot \Delta P_{mp}}{2 \cdot \tau_0}, \text{ м} \quad (9.3.23)$$

где r_1 и r_2 - полуоси эллиптического контура распространения раствора, м;
 δ_{11} и δ_{22} - средние раскрытия трещин по основному и подчинённому направлениям, м;
 ΔP_{mp} - перепад давления при течении тампонажного раствора в трещинах водоносного горизонта, соответствующий максимально возможному радиусу распространения раствора из одиночной скважины, МПа;
 τ_0 - динамическое напряжение сдвига тампонажного раствора, МПа.

Перепад давления ΔP_{mp} определяется следующим образом:

$$\Delta P_{mp} = P_n - \Delta P_m - P_z + P_p, \text{ МПа} \quad (9.3.24)$$

где P_n - давление, развиваемое насосом в принятом оптимальном режиме, МПа
 (Например: цементировочный агрегат ЦА-320, работая на 3-й скорости, обеспечивает подачу 4,4 л/с с давлением нагнетания 18,2 МПа);
 ΔP_m - потери давления в нагнетательном трубопроводе, МПа (из табл.);
 P_p - гидростатическое давление столба тампонажного раствора.

$$P_p = \rho \cdot g \cdot H / 10^6, \text{ МПа}, \quad (9.3.25)$$

где ρ - плотность тампонажного раствора (1180-1230 кг/м³);
 $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения;
 H - расстояние от устья скважины до кровли тампонажной заходки, м.

Необходимое число точек нагнетания и их рациональное расположение для каждой тампонажной заходки определяют графическим методом, начиная с нижнего водоносного горизонта. Для этого накладывают контуры изоляционных завес из одиночных скважин на общую завесу вокруг ствола (рис.8.3.3).

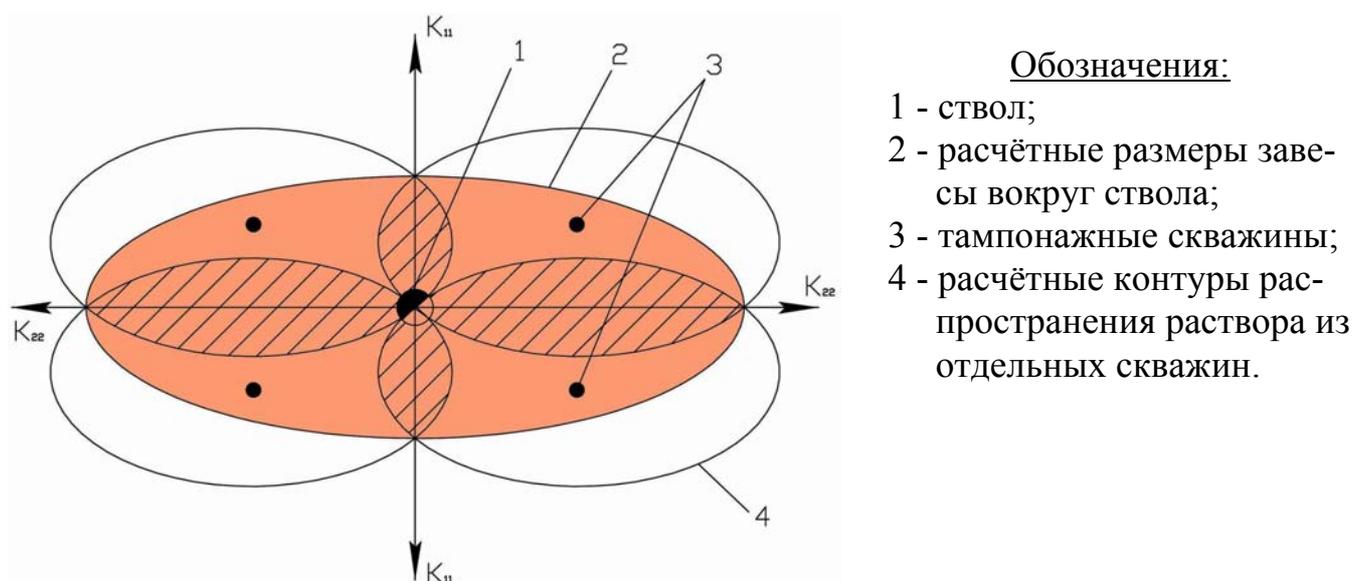


Рис.9.3.3. Графическое определение числа тампонажных скважин.

Допускается некоторое наложение одиночных контуров друг на друга, которое должно соответствовать по площади или быть немного больше просветов между ними в пределах общей изоляционной завесы. Полученные таким образом рациональные точки нагнетания для каждой заходки проецируют на поверхность по принятому профилю тампонажных скважин, и группируют их с учётом наиболее эффективного тампонирования водоносных горизонтов (плакат).

С использованием полученных результатов рассчитывают проектный профиль тампонажной скважины на всю глубину тампонажа. Обычно скважины располагают несколькими рядами по простиранию пород. Одновременно определяют рациональные глубины бурения скважин каждого ряда и выбирают скважины, через которые будет осуществляться формирование изоляционной завесы в каждой конкретной тампонажной заходке (рис.9.1.2).

4.3. Расчёт объёмов тампонажного раствора и выбор режимов нагнетания.

Объём тампонажного раствора, необходимый для формирования завесы вокруг ствола, определяют как сумму объёмов раствора из отдельных скважин, так как контуры распространения раствора из них не везде совпадают с общим эллиптическим цилиндром изоляционной завесы вокруг ствола. Объём тампонажного раствора, нагнетаемого в отдельную скважину, составляет:

$$V_k = \pi \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot M \cdot m_T, \text{ м}^3 \quad (9.3.26)$$

где M - мощность водоносного горизонта, м;
 m_T - скважность (трещинная пустотность).

Общий объём раствора для формирования изоляционной завесы в отдельной заходке:

$$V_i = \sum_{k=1}^n V_k, \text{ м}^3 \quad (9.3.27)$$

где n - число точек нагнетания.

Общий объём раствора для выполнения комплекса тампонажных работ вокруг ствола определяется как сумма объёмов, необходимых для изоляции отдельных горизонтов:

$$V_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^m V_i, \text{ м}^3 \quad (9.3.28)$$

где m - число тампонажных заходов.

Давление насоса выбирается по его технической характеристике, чем фактически сразу обуславливается режим нагнетания. В процессе нагнетания давление поднимается постепенно по мере увеличения размеров контура распространения.

Конечное давление нагнетания, обеспечивающее достижение проектных контуров распространения раствора из отдельной скважины, определяют по следующей формуле:

$$P_n = \Delta P_m + \Delta P_{mp} + P_z - P_p, \text{ МПа} \quad (9.3.29)$$

Приведенная выше методика расчёта тампонажных работ по КМТ существует также в виде компьютерной программы.

9.4. РАСТВОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТАМПОНИРОВАНИЯ.

2 ЧАСА

ПЛАН.

1. Основные свойства тампонажных растворов.
2. Тампонажные материалы и растворы.
3. Оборудование для тампонирувания.

Л.1, с.200-224,
Л.5, с.151-161.

1. Основные свойства тампонажных растворов.

Существует многолетний опыт тампонажа как в нашей стране, так и за рубежом. Следует отметить, что успех тампонирувания горных пород во многом определяется производственным опытом и навыками подбора тампонажных растворов, придания им таких свойств, которые наиболее полно соответствовали бы основным требованиям, предъявляемым к ним.

Основные требования к тампонажным растворам:

1. Быть устойчивыми к агрессивному воздействию подземных вод.
2. Не фильтровать через себя воду после затвердевания.
3. Схватываться в определённые сроки, предусмотренные режимом и условиями тампонирувания.
4. Плотно заполнять все пустоты и трещины в горных породах.
5. Не выдавливаться из трещин под воздействием гидростатического напора подземных вод.
6. Легко перекачиваться насосами.
7. Быть подвижными, легко проникать в мелкие поры и трещины.
8. При необходимости должны легко разбуриваться.
9. Должны обеспечивать тампонажные работы с минимальными затратами средств и времени.

Тампонажные растворы - это системы особого рода. Первоначально они представляют собой МЕХАНИЧЕСКИЕ СМЕСИ, затем после затворения водой они переходят в ПЛАСТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ и далее после нагнетания в массив и по прошествии определённого времени превращаются в ТАМПОНАЖНЫЙ КАМЕНЬ.

Поэтому при проектировании и подборе тампонажных растворов необходимо знать их свойства как в пластичном, так и в затвердевшем состоянии (см. схему).

Рассмотрим эти свойства и характеристики по порядку.

Условная **ВЯЗКОСТЬ** определяется полевым вискозиметром СВП-5. Наряду с ней текучесть растворов и возможность перекачивания их насосами характеризуется и РАСПЛЫВОМ тампонажного раствора, который определяется при помощи конуса АзНИИ. Растворонасосы, применяемые в настоящее время, могут перекачивать тампонажные растворы с минимальной условной вязкостью 40-50 с и минимальным распылом 16-20 см.

Свойства и характеристики тампонажных материалов

В пластическом состоянии	В затвердевшем состоянии
<ol style="list-style-type: none"> 1. Вязкость. 2. Стабильность. 3. Тиксотропность. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сроки схватывания. 2. Выход тампонажного камня. 3. Содержание воды в тампонажном камне 4. Водопроницаемость. 5. Прочность.

Для расчёта параметров нагнетания и режимов движения в тампонируемых породах необходимо знать *РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА* тампонажных растворов. Реология - наука о течении вещества.

Однофазные (силикатные, химические) тампонажные растворы обладают, как и вода, свойствами ньютоновских (бесструктурных) жидкостей, движение которых описывается уравнением Ньютона:

$$\tau = \mu \cdot \frac{dU}{dy}, \quad (9.4.1)$$

где τ - касательное напряжение (напряжение сдвига), МПа;

dU/dy - градиент скорости, 1/с;

μ - коэффициент внутреннего трения или динамической (абсолютной) вязкости, МПа*с.

Графически вышеприведенное уравнение представляет собой прямую, проходящую через начало координат с угловым коэффициентом, равным μ (график *a* на рис.9.4.1).

Законы движения неоднородных дисперсных тампонажных растворов (сюда относятся глинистый, цементный и другие растворы, так как глина, цемент - дисперсные фазы) значительно отличаются от законов движения ньютоновских жидкостей. В спокойном состоянии под воздействием взаимодействия частиц дисперсной фазы между собой, а также с молекулами дисперсной среды в системе образуется структура, что внешне проявляется в застудневании раствора. Вследствие этого глинистые растворы напоминают пластичные тела, которые обладают определённой упругой деформацией и занимают промежуточное положение между твёрдыми и жидкими телами.

Прочность структуры пластичных тел характеризуется величиной касательного напряжения, при котором тела выводятся из состояния равновесия и начинают двигаться. Эта величина называется статическим напряжением сдвига (θ). Подоб-

ного рода жидкости или тела подчиняются зависимости Бингама (график б на рис.9.4.1):

$$\tau = \eta \cdot \frac{dU}{dy} + \theta, \quad (9.4.2)$$

где η - коэффициент структурной вязкости;
 θ - статическое напряжение сдвига, МПа.

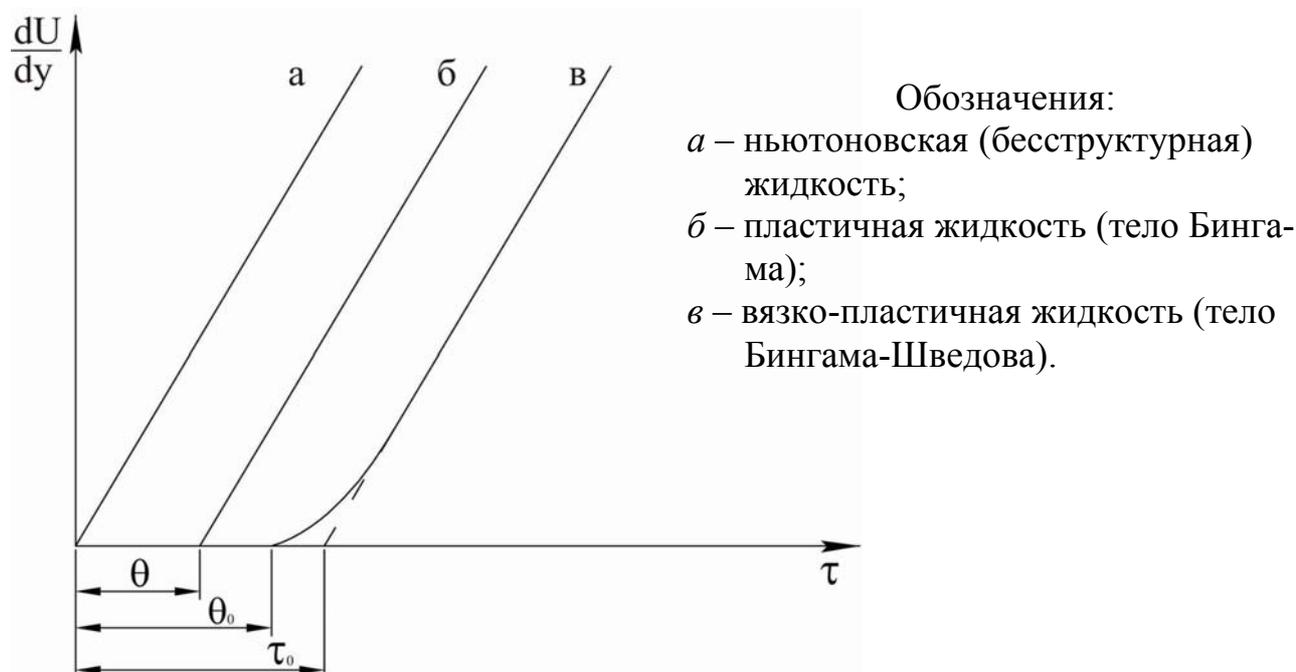


Рис.9.4.1. Характеристики движения тампонажных растворов.

Для характеристики вязко-пластичных жидкостей (сюда относится глино-цементный тампонажный раствор) предложена зависимость Бингама-Шведова (график в на рис.9.4.1):

$$\tau = \eta \cdot \frac{dU}{dy} + \tau_0, \quad (9.4.3)$$

где τ_0 - динамическое напряжение сдвига (условная величина), МПа.

При движении вязко-пластичного раствора полного разрушения его структуры не происходит (остаётся ЯДРО ПОТОКА в его центральной части). Это объясняется тем, что некоторая доля связей, образующих пространственную структуру раствора, успевает обратно восстановиться в потоке даже при очень больших скоростях течения.

Структурная вязкость растворов, особенно в период их схватывания, резко увеличивается. Тампонажный раствор приобретает пластическую прочность, которая характеризуется величиной ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА. Для измерения μ и τ_0 используют вискозиметры различных конструкций.

СТАБИЛЬНОСТЬ - это способность раствора удерживать твёрдые частицы во взвешенном состоянии. Это свойство связано с седиментацией (осаждением) час-

тиц цемента. Показателем стабильности (S) служит отношение объёма осадка V_o к первоначальному объёму раствора в мерном цилиндре V_p через 24 часа после его приготовления, т.е.

$$S = \frac{V_o}{V_p}, \quad (9.4.4)$$

Чем ближе показатель S к 1, тем стабильней раствор. Это означает, что объём раствора со временем уменьшается незначительно, и следовательно, водоотделение из системы тоже невелико. Скорость седиментации зависит от размеров частиц цемента, водоцементного отношения, времени нахождения раствора в состоянии покоя, давления нагнетания. Чем меньше размеры частиц, В:Ц, тем более стабильны растворы.

При применении более стабильных растворов имеет место более полное заполнение трещин и пустот в массиве. Тампонажный камень получается однородным с большим выходом. Если использовать нестабильные растворы, то для полного заполнения трещин тампонажным камнем приходится проводить многократные за- качки раствора в породы, что снижает качество тампонажных работ, так как при этом тампонажный камень в трещинах получается неоднородным по высоте.

ТИКСОТРОПНОСТЬ. Подробно это свойство растворов было рассмотрено в Теме 3. Применительно к теории тампонажа следует отметить, что в процессе на- гнетания тиксотропные растворы, снижая статическое напряжение сдвига (θ), легко перекачиваются насосами и легко распространяются по трещинам. После прекраще- ния нагнетания, в состоянии покоя такие растворы быстро загустевают, восстанав- ливая первоначальное значение статического напряжения сдвига (θ).

В наибольшей степени этим свойством обладают сложные растворы. Простые или чистые цементные растворы почти не обладают свойствами тиксотропности.

СРОК СХВАТЫВАНИЯ раствора является весьма важной величиной, от ко- торой во многом зависит качество тампонажных работ. При малых сроках схваты- вания растворов существует опасность преждевременной закупорки мелких трещин и невозможность достижения тампонажной завесы требуемых размеров. При боль- ших сроках схватывания раствора наблюдается его вымывание из массива подзем- ными водами, что приводит к перерасходу тампонажного материала и увеличению времени производства работ.

Сроки схватывания растворов зависят от минералогического состава и марки цемента, количества воды затворения, вида и количества вводимых в раствор доба- вок, температуры окружающей среды и давления нагнетания. Наиболее благоприят- ной для твердения раствора является температура в пределах $17-25^{\circ}\text{C}$ (при $+2-0^{\circ}\text{C}$ процессы гидратации цемента практически прекращаются). Поэтому для регулиро- вания сроков схватывания применяются добавки, ускоряющие процессы гидратации цемента и противоморозные: хлористый кальций, хлорное железо, нитрат натрия и другие.

ВЫХОД ТАМПОНАЖНОГО КАМНЯ характеризуется процентным отно- шением объёма тампонажного раствора в твёрдом состоянии к его первоначально-

му. Цементные растворы, как правило, дают усадку. Её величина зависит от вида и концентрации твёрдых составляющих, вида и количества добавок-активаторов. Меры, направленные на увеличение выхода тампонажного камня, имеют большое практическое значение для эффективного выполнения тампонажных работ.

Содержание песка в составе тампонажных растворов значительно увеличивает выход тампонажного камня. При применении глинистых и глиноцементных растворов выход тампонажного камня близок к 100%.

СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ. В порах и капиллярах тампонажного камня практически всегда в свободном и молекулярно-связанном состоянии находится вода, содержание которой зависит от исходного значения водоцементного отношения раствора. Поэтому тампонажный камень всё же остаётся водопроницаемым.

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ отвердевших тампонажных растворов в основном определяется составом раствора, сроком твердения и свойствами среды. Для снижения водопроницаемости в состав раствора вводят в различном количестве добавки: бентониты, глины, хлорное железо, хлористый алюминий, алюминат натрия и другие.

ПРОЧНОСТЬ ТАМПОНАЖНОГО КАМНЯ имеет особое значение для тех случаев, когда с помощью тампонажных работ проводится закрепление рыхлых, малоустойчивых пород с целью придания им более высокой прочности. В скальных же трещиноватых породах прочность тампонажного камня не имеет столь существенного значения, но в любом случае должна превышать гидростатический напор подземных вод.

2. Тампонажные материалы и растворы.

При **цементации** различают простые и сложные растворы. Простые растворы включают в себя два компонента - вяжущее вещество и воду. А сложным считается любой цементный раствор, в который кроме цемента и воды входит ещё хотя бы один компонент (а могут входить и несколько).

Простой цементный раствор

1. Цемент
2. Вода

Сложный цементный раствор

1. Цемент
2. Вода
3. Инертные наполнители
4. Активные наполнители
5. Добавки для изменения свойств

При цементации горных пород в качестве ВЯЖУЩЕГО применяют ПОРТ-ЛАНДЦЕМЕНТ с удельной поверхностью частиц 3000-3500 см²/г. Кроме портландцемента в особых случаях применяют пуццолановый (при кислотной агрессии подземных вод), глинозёмистый (при низких температурах горных пород), сульфатостойкий (при сульфатной агрессии вод), магнезиальный, тампонажный, шлакопортландцемент и другие цементы марки не ниже 400.

В качестве ИНЕРТНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ (для заполнения объёма и удешевления способа) применяются молотые известняки, песчаники, граниты, гнейсы, сиениты, пески, древесные опилки, различные волокнистые материалы - хлопковые и кожаные волокна, измельченный асбест, шелуху и др.

В качестве АКТИВНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ (для частичной замены цемента в качестве вяжущего вещества и удешевления способа) применяются диатомиты, трепелы, опоки, вулканические пеплы, туфы, пемзы, доменные гранулированные шлаки, нефелиновый шлам, зола уноса и др. Применение активных наполнителей несколько снижает стоимость способа, но необходимо также учитывать, что одновременно снижается прочность тампонажного камня.

Для регулирования свойств тампонажных растворов, изменения сроков схватывания, улучшения реологических параметров, повышения седиментационной устойчивости и водонепроницаемости в тампонажные растворы вводятся различные химические реагенты и минеральные ДОБАВКИ, так называемые АКТИВАТОРЫ.

Пластифицирующие добавки: бентониты, глины, известковое тесто, сульфитно-дрожжевая барда и др.

Добавки, регулирующие время схватывания: ускорители - хлористый кальций, хлорное железо, алюминат натрия, хлористый алюминий, каустическая сода, жидкое стекло, нитраты калия, кальция, натрия и др.; замедлители - животный клей, сахар, крахмал, хлористый аммоний, углекислый калий и др.

Противоморозные добавки = добавки - ускорители схватывания.

Добавки, повышающие водонепроницаемость тампонажного камня: тонкомолотый трепел и диатомит, алюминат натрия, поташ, хлорное железо, хлористый алюминий и др.

На практике обычно применяют комплексные добавки, сочетающие в себе несколько вышеперечисленных.

На свойства цементных растворов значительное влияние оказывает их КОНЦЕНТРАЦИЯ. Опыт и исследования показали нецелесообразность применения для цементации трещиноватых скальных водоносных пород цементных растворов с водоцементным отношением более 2 ($V:Ц > 2$), так как в этом случае из раствора интенсивно выпадает осадок цемента, снижаются выход камня, прочность и плотность, увеличивается пористость.

Выбор концентрации и состава цементных растворов применительно к конкретным условиям должен производиться экспериментальным путём в лабораторных условиях с последующим уточнением при опытных нагнетаниях.

Несмотря на большой положительный эффект, достигаемый при цементации, водонепроницаемость зацементированных горных пород вокруг выработок зачастую оказывается недостаточной и легко нарушается ввиду следующих причин:

1. Даже весьма незначительные смещения горных пород приводят к появлению трещин в цементном камне. Его разрушению способствуют и взрывные работы при проходке горных выработок.

2. При поступлении агрессивных вод по образовавшимся трещинам в цементном камне усугубляется процесс разрушения как изоляционной завесы, так и крепи ствола.

3. Свойство цементного раствора давать значительную усадку при твердении существенно влияет на качество цементации. Это требует неоднократного нагнета-

ния раствора в одну и ту же заходку, что приводит к большому расходу цемента, повышенным затратам времени на цементацию и удорожанию строительства в целом.

При **глинизации** горных пород для приготовления глинистых растворов наиболее целесообразно применять бентонитовые глины, обладающие хорошими тампонажными свойствами (после затворения водой бентониты переходят в твердое состояние с увеличением своего объёма). Бентонит - это тонкодисперсная глина, состоящая в основном из минералов группы монтмориллонита. Состав бентонитовых глин очень сложный и зависит от условий их образования. Бентониты могут быть дороже цемента. С их помощью нередко производится гидроизоляция подземных сооружений даже в тех случаях, когда применение цементных растворов не даёт желаемых результатов. Соотношение бентонита и воды в растворе от 1:3 до 1:8, плотность 1,075-1,19 г/см³, содержание сухого бентонита в 1 м³ раствора - 119-289 кг.

Также возможно применение пластичных глин с числом пластичности 20-30 и со следующим соотношением составных частей:

- песчаные частицы размером более 0,05 мм - 5-6%;
- пылевато-глинистые частицы размером 0,05-0,005 мм - 70-75%;
- глинистые частицы размером менее 0,005 мм - не менее 20%.

Для ускорения осаждения глинистых частиц из раствора вводят добавки-коагуляторы: хлористый кальций, хлористый магний, известь, жидкое стекло и др.

В последние годы для тампонажа трещиноватых горных пород широкое применение (в комплексном методе тампонажа = КМТ) нашли *глиноцементные растворы*, которые приготавливаются путём добавления в исходный глинистый раствор сухого цемента и реагента-структурообразователя.

Исходный глинистый раствор должен иметь плотность 1,18-1,23 г/см³ и статическое напряжение сдвига - 10-15 Па через 1 минуту. Для приготовления такого раствора используются каолиновые или полиминеральные глины и суглинки с преобладающим содержанием среды глинистой фракции каолинита. Цемент используется марки не ниже 400, а в качестве реагента-структурообразователя применяется натриевое жидкое стекло с модулем 2,8-3,2. На приготовление 1 м³ глиноцементного тампонажного раствора плотностью 1,2 г/см³ расходуется: глины - 380 кг, цемента - 105 кг, воды - 0,806 м³, жидкого стекла - 10 кг.

Глиноцементные растворы по сравнению с цементными имеют значительные **ПРЕИМУЩЕСТВА**:

- 1) высокие структурно-механические свойства в начальный период времени стабилизации препятствуют вымыванию растворов из трещин пластовыми водами;
- 2) высокие тиксотропные свойства обеспечивают растворам хорошую прокачиваемость по трубам и проникновение в трещины с малым раскрытием;
- 3) пластичность, обеспеченная наличием глинистой фракции в тампонажном растворе, стабилизированного раствора исключает возможность растрескивания при ведении взрывных работ во время проходки горных выработок в затампонированной зоне;
- 4) низкий коэффициент проницаемости стабилизированного тампонажного раствора гарантирует водонепроницаемость изоляционной завесы вокруг выработки в течение всего времени её эксплуатации.

ГЛИНОЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫЕ РАСТВОРЫ являются промежуточными между глиноцементными и цементно-песчаными. Эти растворы после затвердения обладают необходимой водонепроницаемостью (за счёт содержания глин) и повышенной механической прочностью по сравнению с глиноцементными (за счёт содержания цемента и песка).

Для **битумизации** применяют нефтяные битумы марок БН-II-У, БН-III и БН-III-У с температурой вспышки не ниже 200°C . Для увеличения механической прочности битума в раствор добавляют технический парафин в количестве до 25%.

При **силикатизации** применяют силикат натрия (жидкое стекло) в качестве основного компонента, а в качестве коагулянтов используют хлористый кальций, ортофосфорную кислоту, кремнефтористоводородную кислоту, алюминат натрия, углекислый газ. В зависимости от исходных материалов силикат натрия выпускается двух модификаций - содовый и содово-сульфатный. Плотность его раствора принимается от 1,35 до $1,44\text{ г/см}^3$ в зависимости от коэффициента фильтрации горных пород.

При **смолизации** для приготовления тампонажных растворов используют различного рода смолы и отвердители. Смолы: карбамидные, бакелитовые, фурфуроловые, фенолформальдегидные, полиуретановые, полиэфирные, акриламидные, эпоксидные и другие.

Наиболее распространены карбамидные смолы марок: МФ-17, КМ, КМ-3, М, МФФА и др. Это связано с тем, что они легко разбавляются водой до любой концентрации, их растворы обладают малой вязкостью, допускают регулирование в широком диапазоне сроков схватывания, слаботоксичны, взрывобезопасны.

Для отверждения карбамидных смол применяют водные растворы соляной, щавелевой, фосфорной кислот, хлористый аммоний, аммиак и другие.

НЕДОСТАТКИ растворов на основе карбамидных смол:

- 1) их отверждение происходит только в кислой среде (при $\text{pH} < 5$);
- 2) при разбавлении растворов водой и снижении их вязкости одновременно ухудшаются физико-механические характеристики отвердевшего геля тампонажного раствора.

3. Оборудование для тампонирувания.

Для выполнения комплекса работ по тампонажу горных пород используется следующее оборудование:

1. Буровое оборудование для бурения тампонажных скважин.
2. Оборудование для приготовления тампонажного раствора.
3. Оборудование для нагнетания тампонажного раствора.
4. Вспомогательное оборудование (контрольно-измерительная, запорная и другая аппаратура).

Буровые установки должны обеспечить заданное направление скважин, высокую скорость бурения при минимальной стоимости буровых работ, минимальное зашламовывание трещин раздробленной породой, ровную поверхность скважин для установки пакеров.

Выбор типа буровой установки определяется мощностью, глубиной залегания и механическими свойствами горных пород, принятыми методами и технологическими схемами тампонирования, основными размерами и условиями размещения (на поверхности земли или в забое подземной выработки).

При бурении тампонажных скважин С ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ могут применяться следующие буровые установки:

- $d_{скв} = 40-150$ мм, $L_{скв} < 100$ м - самоходные установки шнекового бурения БСН-241, БТС-150, ШБУ, УГБ-50А, самоходные буровые установки УРБ-50М;
- $d_{скв} = 46-151$ мм, $L_{скв} = 100-300$ м - установки колонкового бурения ЗИФ-300М, УКБ-200/300, ЗИВ-150А, самоходные буровые установки УРБ-ЗАМ и СБУ-300М;
- $d_{скв} = 59-200$ мм, $L_{скв} = 300-500$ м - установки колонкового бурения ЗИФ-650, СБА-500;
- $d_{скв} = 93-250$ мм, $L_{скв} = 500-1500$ м - установки колонкового бурения ЗИФ-1200А, ЗИФ-1200МР, а $d_{скв} = 76-350$ мм – полупередвижные роторные установки УРБ-4ПМ, УРБ-4М.

При бурении тампонажных скважин ИЗ ЗАБОЯ ВЫРАБОТКИ может применяться следующее буровое оборудование:

- $d_{скв} = 35-52$ мм, $L_{скв} = 6-8$ м - пневматические бурильные молотки ПП-63С, ПР-25ЛБ, ПР-30Б;
- $d_{скв} = 40-85$ мм, $L_{скв} = 20-30$ м - тяжёлые колонковые перфораторы ПК-60, ПК-75;
- $d_{скв} = 60-105$ мм, $L_{скв} = 20-50$ м - буровые установки НКР-100М, БУ-70 и др.;
- $d_{скв} = 36-92$ мм, $L_{скв} = 50-100$ м - буровые установки для подземного бурения ГП-1, БСК-2А-100, "Алтай" и др.

Для приготовления тампонажного раствора (на основе цемента) устраиваются растворосмесительные узлы, которые в зависимости от условий производства работ могут быть стационарные или передвижные. **СТАЦИОНАРНЫЕ** растворосмесительные узлы устраивают при больших расходах раствора и больших объёмах тампонажных работ. **ПЕРЕДВИЖНЫЕ** растворосмесительные установки применяются в стеснённых условиях и при небольших объёмах тампонажа.

Для приготовления тампонажных растворов на стационарных узлах необходимы склады цемента и сыпучих материалов, дозаторы сыпучих и жидких материалов, сита и смесительное оборудование (плакат).

Для приготовления тампонажных растворов в больших количествах получили распространение самоходные цементосмесительные машины ("смесители") 2СМН-20, СМ-10, СМП-20. Они позволяют готовить тампонажный раствор непрерывно с высокой производительностью (36-120 м³/час).

Оборудование для приготовления **ГЛИНОЦЕМЕНТНЫХ** тампонажных растворов состоит из двух независимых технологических комплексов:

- 1) оборудование для приготовления исходного глинистого раствора;
- 2) оборудование по приготовлению глиноцементного раствора.

Исходный глинистый раствор готовится на глиностанции, оборудованной фрезерно-струйными мельницами ФСМ-7 с полной механизацией всего процесса

(плакат). Глиноцементный раствор готовится непосредственно перед его нагнетанием в тампонажную скважину. Для этого исходный глинистый раствор из бункера-накопителя насосом подают к смесителю 2СМН-20, в котором происходит добавление в раствор цемента (плакат). Глиноцементный раствор сливается в ёмкость, из которой всасывается цементационным насосом для нагнетания. Жидкое стекло в состав раствора вводится с помощью шестерёнчатого насоса из специальной ёмкости непосредственно в цементировочную головку, расположенную над скважиной.

Насосы для нагнетания тампонажного раствора в массив горных пород должны удовлетворять следующим ТРЕБОВАНИЯМ:

- 1) распределительное устройство должно быть простым с минимальным количеством каналов и "мёртвых" пространств, где мог бы застаиваться и затвердевать тампонажный раствор;
- 2) обеспечивать непрерывность в работе;
- 3) легко регулироваться по производительности и напору;
- 4) обеспечивать простоту и доступность чистки и промывки;
- 5) обладать достаточной износостойкостью против истирания раствором;
- 6) производительность насоса должна быть равна проектному потреблению тампонажного раствора сразу несколькими скважинами;
- 7) развивать напор, в 3-4 раза больший максимального гидростатического давления подземных вод.

Наиболее полно этим требованиям отвечают поршневые и плунжерные насосы с шаровыми клапанами. Специальных тампонажных насосов в нашей стране не изготавливают. Для нагнетания цементных растворов используют насосы, предназначенные для перекачки вязких и густых жидкостей. Наиболее распространены и могут применяться в подземных условиях насосы: ГР-16/40 (развивает давление до 4 МПа), НГР-250/50 (5 МПа), 9МГР (16МПа).

Для предварительного тампонирувания водоносных горных пород с поверхности земли при строительстве вертикальных стволов глубиной до 1 200 м получили широкое распространение самоходные цементационные агрегаты ЦА-320М (плакат) в комплексе с 2СМН-20. В состав ЦА-320М входит цементационный насос 9Т (подача 8-82 м³/час, давление до 40 МПа). Кроме ЦА-320М существуют также цементационные агрегаты ЭЦА-400, 4АН-700и другие.

Для механизации тампонажных работ на базе имеющегося оборудования предложен ряд КОМПЛЕКСОВ, предназначенных для цементации пород из забоя ствола КЦТ-1М, КЦЗ-2М (плакат), из забоя горизонтальной выработки КТГ-1 (плакат) и с поверхности земли КЦП-1, КЦП-2М (плакат).

8.5. ПРОИЗВОДСТВО ТАМПОНАЖНЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ.

4 ЧАСА

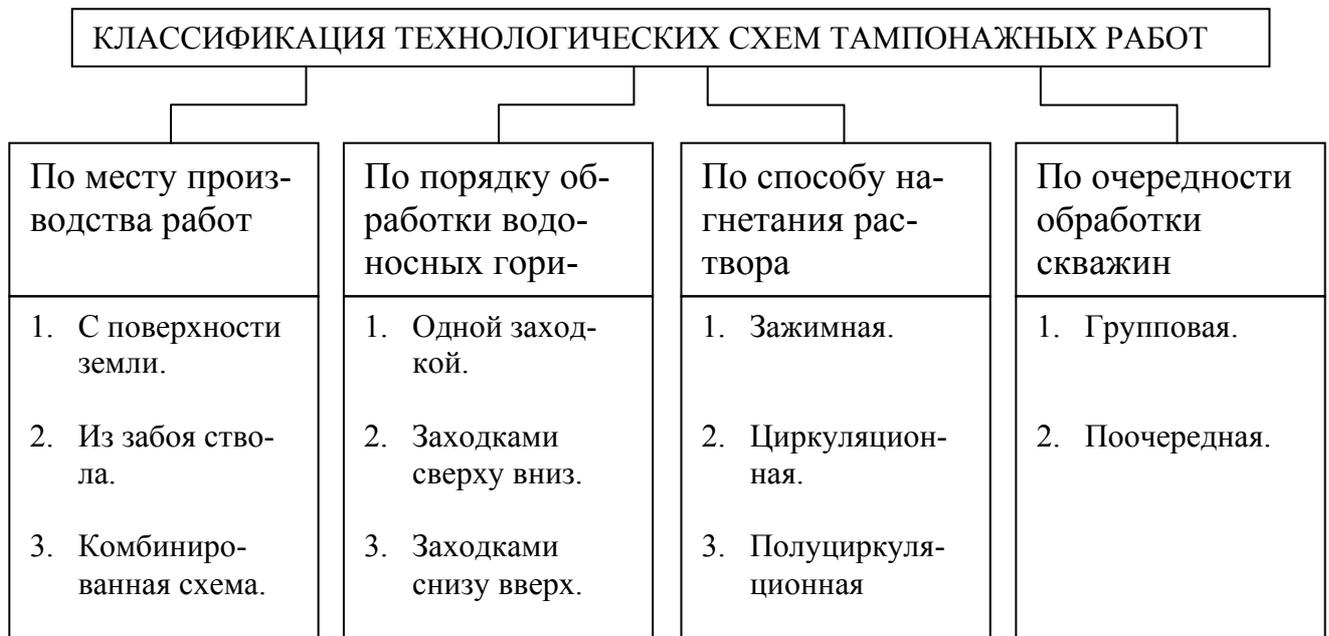
ПЛАН.

1. Технологические схемы тампонирования.
2. Тампонирование горных пород с земной поверхности.
3. Тампонирование горных пород из забоя ствола.
4. Последующий тампонаж.
5. Контроль за производством и оценка качества тампонажных работ.

Л.1, с.224-249,
Л.5, с.162-181.

1. Технологические схемы тампонирования.

В зависимости от места производства работ, порядка бурения скважин и нагнетания в них раствора, способа нагнетания и его очередности различают следующие схемы тампонажных работ.



Рассмотрим по порядку все технологические схемы.

I. По месту производства работ.

Тампонирование горных пород с поверхности земли производится в подготовительный период строительства до начала всех видов горнопроходческих работ (см.рис.9.1.1). **Область применения:** 1) при большой мощности трещиноватых водоносных пород, залегающих на сравнительно небольшой глубине от поверхности земли; 2) при неглубоком залегании маломощных водоносных пород; 3) при сравнительно равномерном распределении пластов водоносных пород в геологическом разрезе будущего ствола.

Тампонирование пород из забоя ствола производится непосредственно из горной выработки с полной остановкой всех горнопроходческих работ. Забой ствола останавливают, не доходя до кровли водоносного горизонта, в забое возводят там-

понажную перемычку (подушку), через которую бурят скважины для нагнетания раствора (рис.9.5.1). **Область применения:** 1) при глубоком залегании водоносных пород любой мощности, когда бурить с поверхности земли экономически нецелесообразно; 2) в случае, когда между водоносными породами существуют мощные толщи пород, не требующих тампонажа.

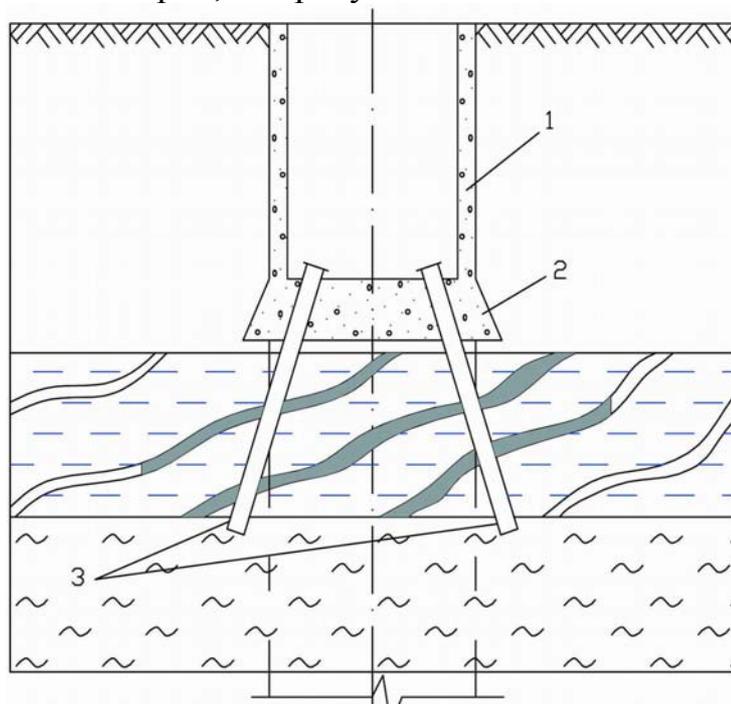


Рис.9.5.1. Схема тампонирувания из забоя ствола.

1 – ствол; 2 – тампонажная перемычка (подушка); 3 – тампонажные скважины.

ную глубину, тампонируют наиболее крупные трещины и пустоты, дающие основной приток воды. На втором этапе тампонирувание производится из забоя ствола при вскрытии мелкотрещиноватых пород, которые не были затампованы с поверхности земли.

II. По порядку обработки водоносных горизонтов.

Тампонирувание одной заходкой (сразу на всю проектную глубину) выполняется наиболее просто, так как не требует дополнительных времени и специальных технических средств. Однако **область применения** такой схемы ограничена: 1) сравнительно небольшой мощностью водоносных горных пород (чтобы были меньше перепады давления раствора в породах); 2) близкими показателями трещиноватости и фильтрационных свойств различных пластов (допускается расхождение до 2 раз, не более).

Давление нагнетания и расход раствора по глубине скважин всегда, а особенно при большой мощности и неравномерной трещиноватости пород, будут различны, а следовательно условия тампонажа массива горных пород и качество работ по глубине будут неодинаковыми.

Поэтому массив горных пород целесообразно предварительно разбить на отдельные заходки. Высота заходки зависит от горно-геологических условий и колеблется от 15 до 50 м. Породы в пределах каждой заходки должны иметь равномерную трещиноватость и близкие фильтрационные характеристики.

Тампонаж из забоя ствола существенно влияет на увеличение общих сроков строительства выработки. Например, на осуществление всех работ по тампонажу затрачивается от 35 до 50% общего времени, необходимого для проходки ствола по водоносным породам (из них 30-40% всего времени тампонажа приходится на возведение, твердение и разборку тампонажных подушек).

Комбинированная схема

предполагает чередование обеих вышеописанных технологий. Например: мощный водоносный горизонт, залегающий неглубоко, тампонируется с поверхности, а остальные, залегающие на значительной глубине, - из забоя. Или: вначале с поверхности при помощи малого числа тампонажных скважин, пробуренных на полную

Тампони́рование горных пород заходками сверху вниз (нисходящими) осуществляется в следующей последовательности. Вначале бурятся скважины на глубину первой заходки. После промывки в скважины нагнетают тампонажный раствор. После набора тампонажным материалом требуемой прочности скважины разбуривают по тампонажному камню и бурят на глубину второй заходки. Повторяют работы по нагнетанию раствора. Чередую таким образом бурение скважин и нагнетание в них раствора, осуществляют работы до тех пор, пока породный массив не будет затампони́рован на всю глубину.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ: при большой мощности и неглубоком залегании водоносных пород.

ДОСТОИНСТВА: 1) простота операций по герметизации устьев скважин; 2) высокое качество тампонажа из-за многократной обработки верхних зон; 3) минимальное зашламование трещин в горных породах в процессе бурения скважин.

НЕДОСТАТКИ: 1) необходимость многократного перемещения бурового станка; 2) значительные объёмы работ по разбуриванию тампонажного камня в пределах вышележащих тампонажных заходов.

Тампони́рование горных пород заходками снизу вверх (восходящими) заключается в том, что вначале сразу же на полную глубину трещиноватых пород бурят тампонажные скважины, а нагнетание раствора осуществляют отдельными заходками снизу вверх. Для разделения заходов применяют специальные уплотнительные устройства - ПАКЕРЫ.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ: 1) при пологом расположении трещин (должны полностью отсутствовать вертикальные трещины и каналы); 2) при наличии между трещиноватыми водоносными породами водоупорных слоёв, служащих естественными перемычками между заходками.

ДОСТОИНСТВА: 1) резкое снижение объёма буровых работ; 2) более простая организация работ.

НЕДОСТАТКИ: 1) сложность работ по установке и демонтажу уплотнительных устройств.

Уплотнительное устройство (пакер) предназначено для герметизации зазора между нагнетательной трубой и стенкой скважины. Его крепят к концу нагнетательной трубы и устанавливают в скважине выше участка, подлежащего тампони́рованию (над кровлей заходки). Герметизация зазора достигается путём деформации резинового или кожного уплотнительного элемента, что может осуществляться различными способами: механическим, гидравлическим, гидравлично-механическим.

В ПО "Спецтампонажгеология" разработаны и нашли применение для тампони́рования пород на любых глубинах следующие виды пакеров:

- механический пакер ДАУ-1;
- двойной механический пакер ДАУ-1-2;
- гидромеханическая пробка ДАУ-2.

Диаметры пакеров типизированы для различных диаметров скважин и составляют 59, 76, 92, 112, 132 и 152 мм. (По плакатам и рис.9.5.2 рассказать об устройстве и принципе действия механического пакера ДАУ-1).

Для осуществления последующего тампони́рования нашли широкое распространение кондукторы или винтовые пакеры, устанавливаемые в скважинах-шпурах, которые пробурены сквозь крепь выработки (рис.9.5.3).

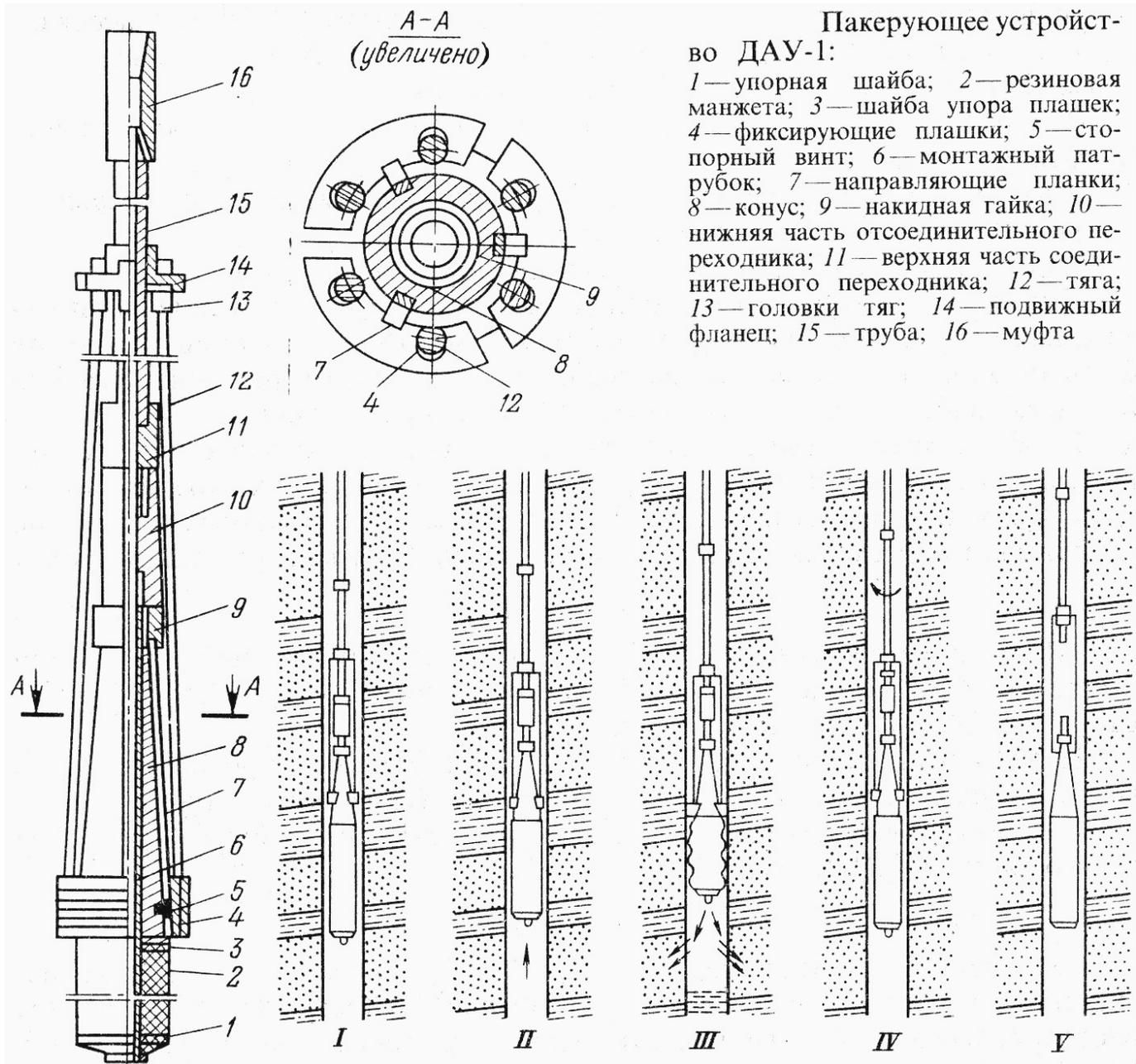


Рис.9.5.2. Принцип действия механического пакера ДАУ-1.

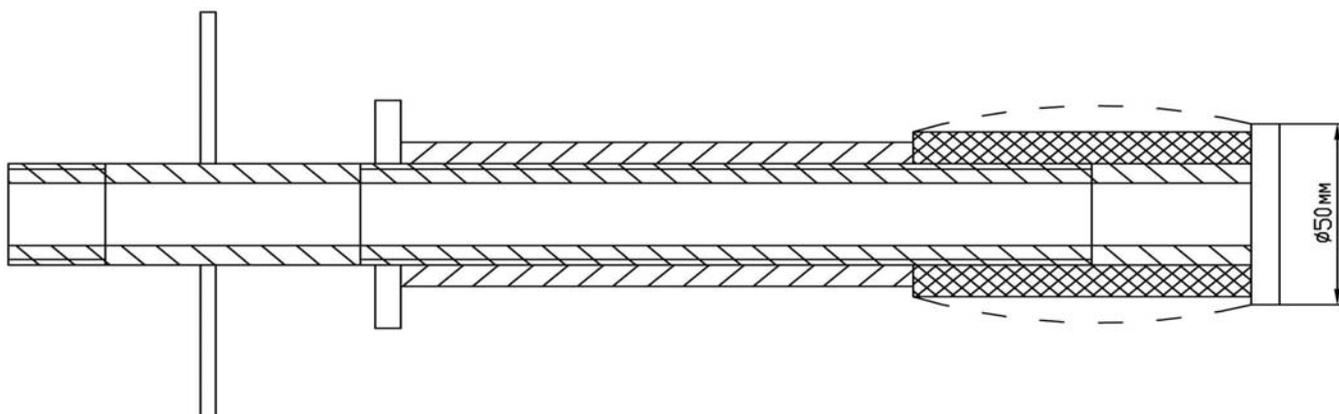


Рис.9.5.3. Общий вид винтового пакера.

III. По способу нагнетания раствора.

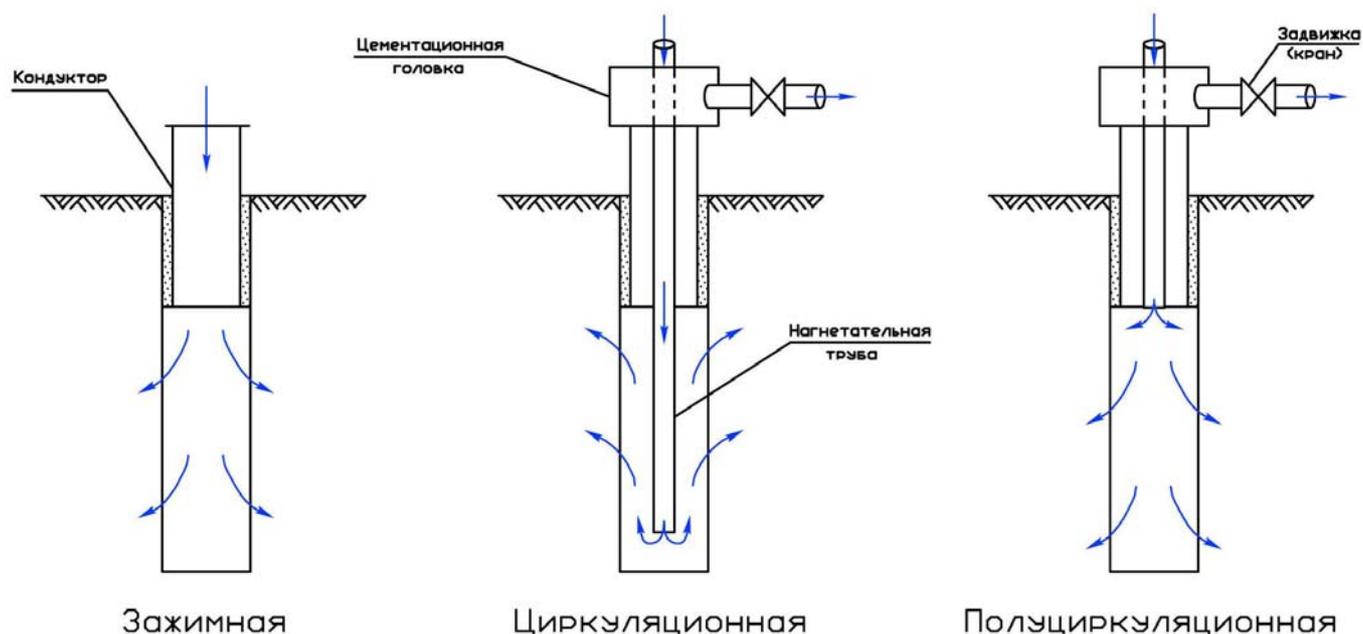


Рис.9.5.4. Технологические схемы нагнетания тампонажного раствора.

Зажимная схема нагнетания раствора предусматривает подачу тампонажного раствора при постоянном расходе, соответствующем производительности принятого насоса. Давление нагнетания при этом по мере заполнения трещин тампонажным раствором возрастает, а по достижении расчётного давления нагнетание прекращают (рис.9.5.4).

Эту схему применяют при тампонировании горных пород средней крепости и крепких со средней, мелкой и тонкой трещиноватостью, не склонных к деформации, при повышенных давлениях тампонажного раствора, а также при больших гидростатических давлениях подземных вод. В этом случае тампонажный раствор должен обладать высокой стабильностью с выходом тампонажного камня не менее 96%.

ДОСТОИНСТВА: 1) простота оборудования тампонажных скважин; 2) возможность использования для тампонирования скважин минимального диаметра, что увеличивает скорость бурения.

НЕДОСТАТКИ: 1) невозможность регулирования давления нагнетания; 2) при малых расходах скорость движения тампонажного раствора в скважине незначительна, что может привести к расслоению раствора и закупорке трещин и самой скважины в нижней её части.

Циркуляционная схема нагнетания раствора предусматривает спуск нагнетательной трубы в тампонажную скважину до самого её забоя. Тампонажный раствор подаётся по трубе в количестве большем, чем могут поглотить породы при заданном давлении нагнетания. Избыток раствора по межтрубному пространству поднимается вверх и через цементационную головку возвращается в расходную ёмкость или растворосмеситель. Давление нагнетания регулируется при помощи крана. При этой схеме тампонирование горных пород осуществляется при постоянном расходе и регулируемом давлении нагнетания раствора (рис.9.5.4).

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ: 1) тампонаж крупных трещин, когда нужны ограниченные контуры распространения раствора за счёт небольших давлений нагнетания; 2) при тампонаже тонкотрещиноватых пород, когда требуется продолжительное нагнетание при малых расходах и постоянном давлении.

ДОСТОИНСТВА: 1) более совершенное управление процессом нагнетания и регулирование концентрации раствора; 2) исключена возможность осаждения твёрдой фазы из раствора в нижней части скважины и её закупорка.

НЕДОСТАТКИ: 1) сложность оборудования скважин; 2) необходимость обеспечения непрерывной эффективной циркуляции раствора в течении всего времени его нагнетания. Даже кратковременные остановки (более 15 минут) могут привести к прихвату нагнетательной трубы.

Полуциркуляционная схема нагнетания раствора предусматривает циркуляцию тампонажного раствора только в наземных трубопроводах (между насосом и цементационной головкой). Нагнетательная труба заканчивается на кондукторе. В скважине раствор перемещается, как и при зажимной схеме, в направлении сверху вниз. Давление нагнетания и расход раствора, как и при циркуляционной схеме, регулируются краном (рис.9.5.4).

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ: при любой инженерно-геологической характеристике пород.

ДОСТОИНСТВА: 1) сравнительная простота оборудования скважин; 2) возможность регулирования режима нагнетания раствора в скважину.

НЕДОСТАТКИ: 1) возможность закупорки нижней части тампонажной скважины за счёт выпадения осадка из раствора.

IV. По очередности обработки скважин.

Групповая схема предусматривает одновременное бурение и нагнетание раствора в группу скважин. При этом возможны два варианта:

А. Бурятся все тампонажные скважины. После промывки и определения притока воды из них тампонируют скважину с максимальным притоком. Очередность тампонирования остальных скважин принимается согласно размерам притоков воды из них в нисходящем порядке.

Б. Бурят первую половину скважин, после промывки в них одновременно нагнетают тампонажный раствор. По окончании тампонажа этих скважин бурят и тампонируют остальные скважины.

Поочерёдная схема предусматривает последовательное бурение скважин и нагнетание в них тампонажного раствора. Наибольшее распространение получил так называемый МЕТОД СБЛИЖЕНИЯ СКВАЖИН (рис.9.5.5).

При этом методе вначале бурят и тампонируют две диаметрально противоположные скважины (очередь I). Затем бурят и тампонируют следующую пару скважин - II, расположенную на диаметре, перпендикулярном первой. После этого бурят и нагнетают следующие скважины - III, расположенные на диаметре под 45 град. к первым двум. И так далее, пока не будет достигнута требуемая плотность тампонажной завесы.

Данный порядок бурения и тампонирования уменьшает до минимума вероятность проникновения тампонажного раствора в соседние скважины вследствие зна-

чительных расстояний между ними. Через первые две скважины тампонируется большинство крупных трещин, при тампонировании последующих скважин

перекрываются более мелкие трещины.

ВЫБОР рациональной технологической схемы тампонажных работ в каждом конкретном случае зависит от горно-геологических и гидро-геологических условий сооружения горной выработки: 1) числа, мощности и местоположения водоносных горизонтов в разрезе; 2) дебита, гидростатического напора каждого горизонта и гидравлической связи между ними; 3) физико-механических и фильтрационных свойств водоносных горных пород; 4) трудоёмкости и стоимости тампонажных работ, затрат времени на их производство.

Каждый вид тампонажных работ может быть выполнен по нескольким технологическим схемам. Оптимальную схему выбирают путём технико-экономического сравнения.

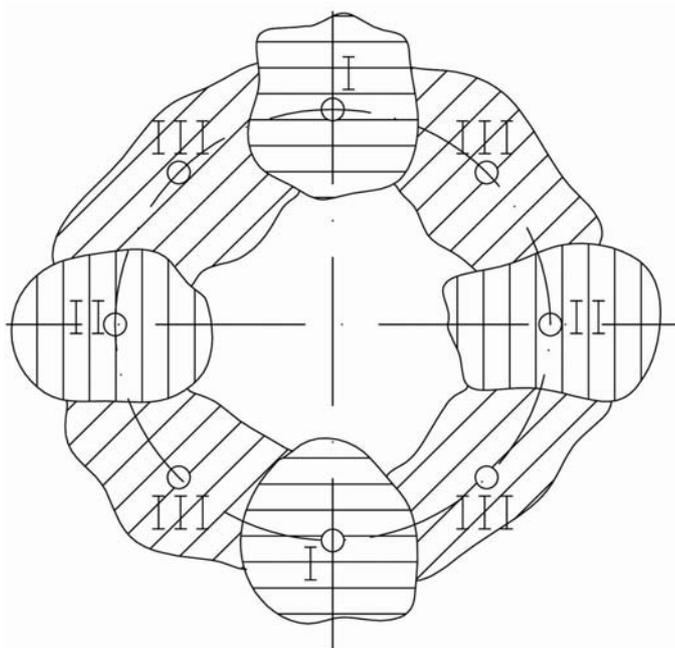


Рис.9.5.5. Очередность тампонирования скважин по методу сближения.

Технологические схемы по комплексному методу тампонажа.

КМТ предусматривает производство работ с поверхности земли и во всех случаях предполагает раздельное зажимное нагнетание тампонажного раствора в каждый водоносный горизонт по одной из 4-х технологических схем (рис.9.5.6, плакат):

1-я - снизу вверх восходящими заходками (основная). Для герметизации применяется пакер ДАУ-1. Эту схему можно применять практически во всех случаях, и в первую очередь для изоляции водоносных горизонтов при проходке глубоких шахтных стволов.

2-я - сверху вниз нисходящими заходками через загерметизированное устье скважины. Применяется на глубинах до 200 м.

3-я и 4-я - выборочное тампонирование отдельных водоносных горизонтов. Например, в пробуренной на полную глубину скважине требуется в первую очередь затампонировать верхние водоносные горизонты для обеспечения начала проходки ствола. В этом случае,

- если $M < 5$ м, то применяют 3-ю схему с ДАУ-1-2;
- если $M > 5$ м, то применяют 4-ю схему с ДАУ-1 и ДАУ-2.

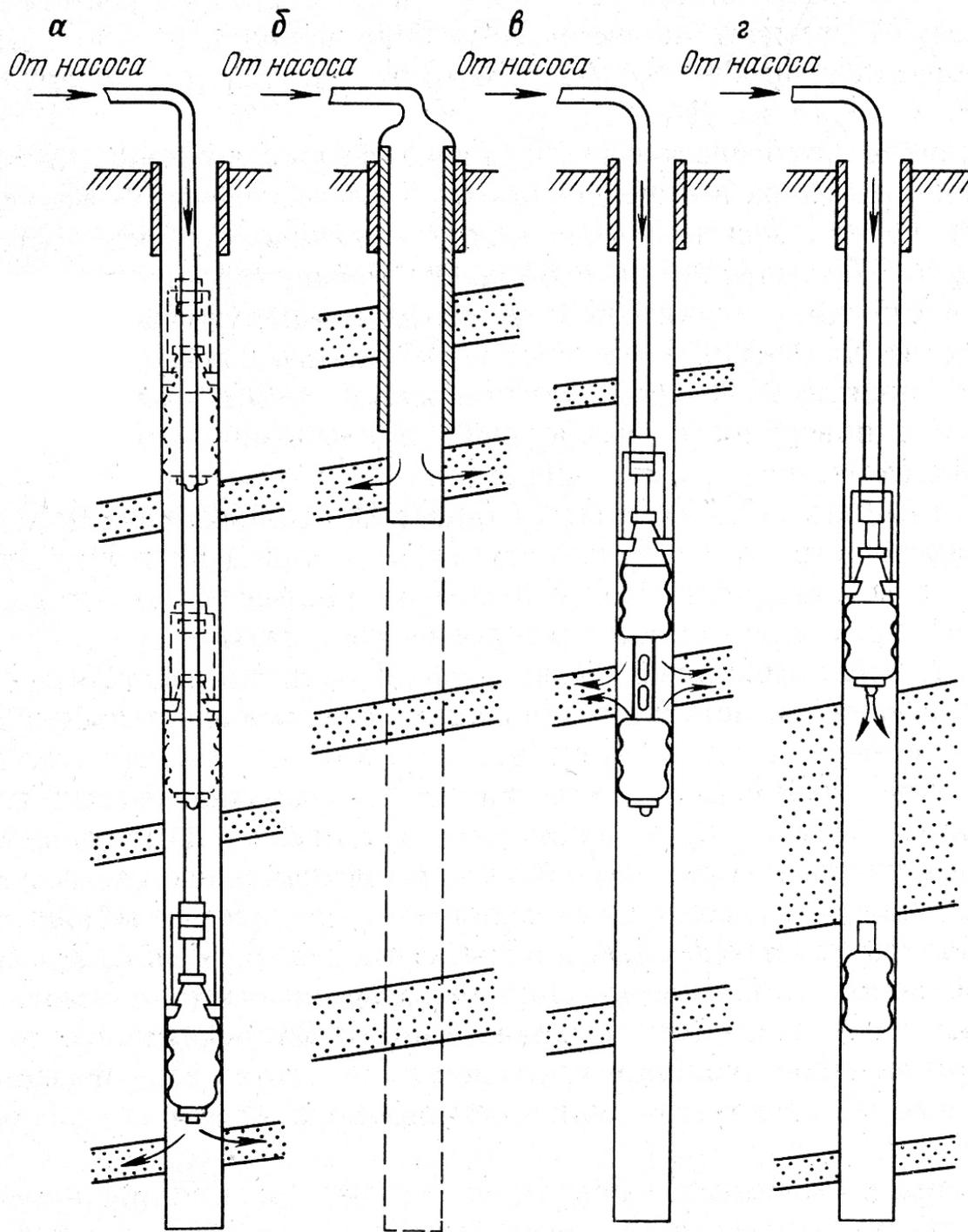


Рис. 9.5.6. Технологические методы тампонажа по комплексному методу:

- а) – восходящими заходками снизу вверх;
- б) – нисходящими заходками сверху вниз;
- в) – выборочный тампонаж маломощного горизонта при $M < 5$ м;
- г) – выборочный тампонаж мощного горизонта при $M > 5$ м.

2. Тампонирувание горных пород с земной поверхности.

Производство тампонажных работ в водоносных горных породах представляет собой комплексный процесс последовательного выполнения следующих основных мероприятий:

1. Исследовательские работы с целью сбора (определения) исходных данных для расчёта процесса тампонажа. Рассмотрены в теме 9.2.

2. Проектирование тампонажных работ с определением рабочих параметров тампонажа. Рассмотрено в теме 9.3.

3. Бурение тампонажных скважин, их оборудование в зависимости от схемы нагнетания.

4. Исследования в тампонажных скважинах с целью оперативной корректировки проектных решений.

5. Приготовление тампонажного раствора.

6. Нагнетание тампонажного раствора с постоянно действующим контролем.

7. Оценка качества выполненных тампонажных работ.

8. Проходка ствола по затампонированным породам.

Тампонажные скважины относятся к классу специальных технических скважин. Оборудование, предназначенное для их бурения, должно обеспечивать:

1) направленное забуривание скважин и возможность их бурения в сложных горно-геологических условиях;

2) возможность выполнения в скважинах специальных работ - гидродинамических и расходометрических исследований, установку и снятие отклоняющих устройств, пакеров, тампонажных пробок и т.д.

Оборудование для бурения тампонажных скважин подробно было рассмотрено в теме 9.4. В основном, это установки колонкового бурения. Турбинное бурение может быть применено только при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Выбор конструкции тампонажных скважин определяется горно-геологическими условиями на объекте работ. Конструкция тампонажной скважины должна быть предельно простой. При этом за основу может быть принята следующая (самая простая и распространённая):

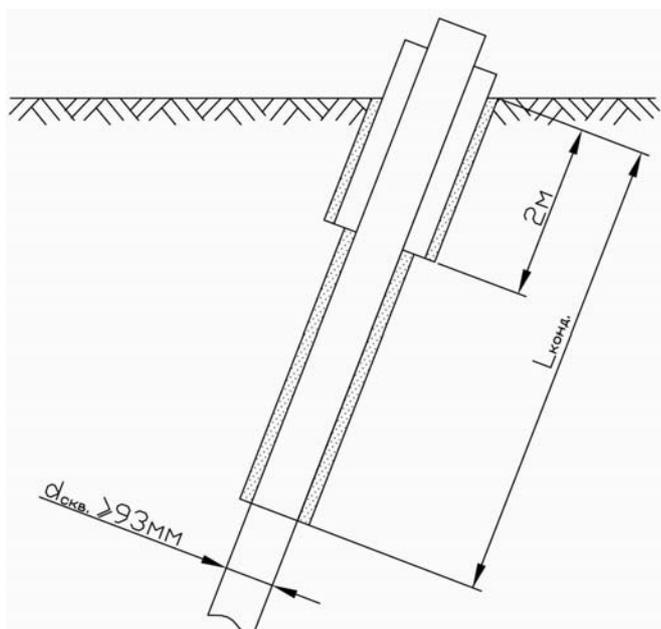


Рис.9.5.7. Конструкция тампонажной скважины.

- устье скважины должно быть оборудовано направляющей трубой длиной не менее 2 м и наружным $D=219-234$ мм;
- верхняя часть скважины должна быть закреплена кондуктором из обсадных труб с $D=108-146$ мм (рис.8.5.4).

Длину кондуктора L определяют расчётным путём:

$$L = \frac{\lambda \cdot P_y \cdot D}{4 \cdot m \cdot \tau_c}, \text{ м} \quad (9.5.1)$$

где

$\lambda=1,1-1,2$ - коэффициент перегрузки;

P_y - давление тампонажного раствора на устье скважины при нагнетании, МПа;

D - наружный диаметр труб кондуктора, м;

$m = 0,6-0,7$ - коэффициент условий работы;

$\tau_c = 0,1$ МПа - величина сцепления цементного камня с кондуктором.

Тампонажную скважину от башмака кондуктора до проектной глубины следует бурить диаметром 93 мм и более для возможности проведения исследований в скважине и постановки пакеров. При бурении по слабым неустойчивым породам следует предусматривать крепление стен скважин в этом интервале обсадными металлическими трубами с надёжной цементацией обсадных колонн. Это в дальнейшем обеспечит возможность нагнетания тампонажного раствора по зажимной схеме при высоких давлениях. Если необходимо нагнетать тампонажный раствор в породы, скважина в пределах которых закреплена обсадной колонной, то последняя предварительно перфорируется либо взрыванием кумулятивного заряда ВВ, либо пескоструйной установкой.

Во избежание КОЛЬМАТАЦИИ слабопроницаемых водоносных горизонтов скважины желательно бурить с промывкой водой. Однако в тех случаях, когда стенки скважины неустойчивы, не исключена возможность бурения с промывкой специальным глинистым раствором.

При наличии в породах, пересекаемых стволом, вертикальных и крутопадающих трещин (с углами наклона более 60-70 град.) необходимо предусматривать бурение наклонно-направленных скважин.

Заданное направление скважины выдерживается при помощи специальных технических средств. Контроль за отклонением направления скважин от проектного производится каждые 30 м при помощи ИНКЛИНОМЕТРОВ ИШ-2, ИШ-4, ИК. Допустимые отклонения от заданного направления:

- при глубине скважины $H < 100$ м допускается отклонение 3%;
- при глубине скважины $H = 100 \dots 300$ м допускается отклонение 1,5%;
- при глубине скважины $H > 300$ м допускается отклонение 1%.

Для упрощения технологии буровых работ проектное искривление скважин принимают соответствующим их естественному искривлению по данным статистической обработки фактических профилей по группе близлежащих разведочных скважин.

В целом весь комплекс технологических процессов при бурении не отличается от общепринятого в разведочном бурении.

По окончании буровых работ для очистки от буровой мелочи (шлама) каждая скважина и прилегающие к ней водоносные породы промываются путём нагнетания или откачки воды из скважины. Лучший эффект наблюдается при групповой схеме промывки, когда в одну из скважин нагнетают воду или воду вместе со сжатым воздухом, а через соседние скважины они изливаются. Промывку осуществляют до выхода из скважин чистой воды.

На следующем этапе производятся **исследования в скважинах** с целью проверки проектных решений и при необходимости проведения оперативной корректировки параметров тампонажа (P_n и Q). Как и при первоначальном сборе исходных данных, на этой стадии аналогично определяются глубина, мощность, количество, проницаемость, пустотность водоносных горизонтов, ожидаемый приток и другие величины.

Технологию **приготовления и нагнетания тампонажного раствора** рассмотрим на примере комплексного метода тампонажа (КМТ), как случай наиболее сложный и продолжительный.

1. Приготовление глинистого раствора.

Технологический комплекс по приготовлению глинистых растворов представляет собой сборно-разборную глиностанцию, оборудованную высокопроизводительными глиномешалками ФСМ с полной механизацией процесса приготовления глинистого раствора и дистанционным управлением основным технологическим оборудованием (плакат).

Приготовление глинистого раствора осуществляют в следующей последовательности: В промежуточную ёмкость заливается вода, с помощью пневмогрейфера КС-3 в бункер ФСМ загружается глина с одновременной подачей к мельнице воды из промежуточной ёмкости; фрезерно-струйной мельницей производится дробление глины и перемешивание её с водой, то есть непосредственно идёт приготовление глинистого раствора, который после приготовления насосом ШН-270/40 через дезинтегратор ДС-1 перекачивается из промежуточной ёмкости в ёмкость-накопитель.

2. Приготовление глиноцементного тампонажного раствора.

Одним из существенных факторов, определяющих качество выполнения тампонажа, является непрерывность процесса нагнетания, что обуславливает необходимость в сравнительно короткое время осуществить приготовление большого количества тампонажного раствора. Расход тампонажного раствора на одном объекте нередко достигает 250-300 м³/сутки.

Приготовленный на первом этапе исходный глинистый раствор с требуемыми параметрами накапливают на объекте работ в бункере накопителе в значительных объёмах.

На втором этапе осуществляют приготовление уже собственно тампонажного раствора путём введения цемента и реагентов-структурообразователей в исходный глинистый раствор (рис.9.5.8).

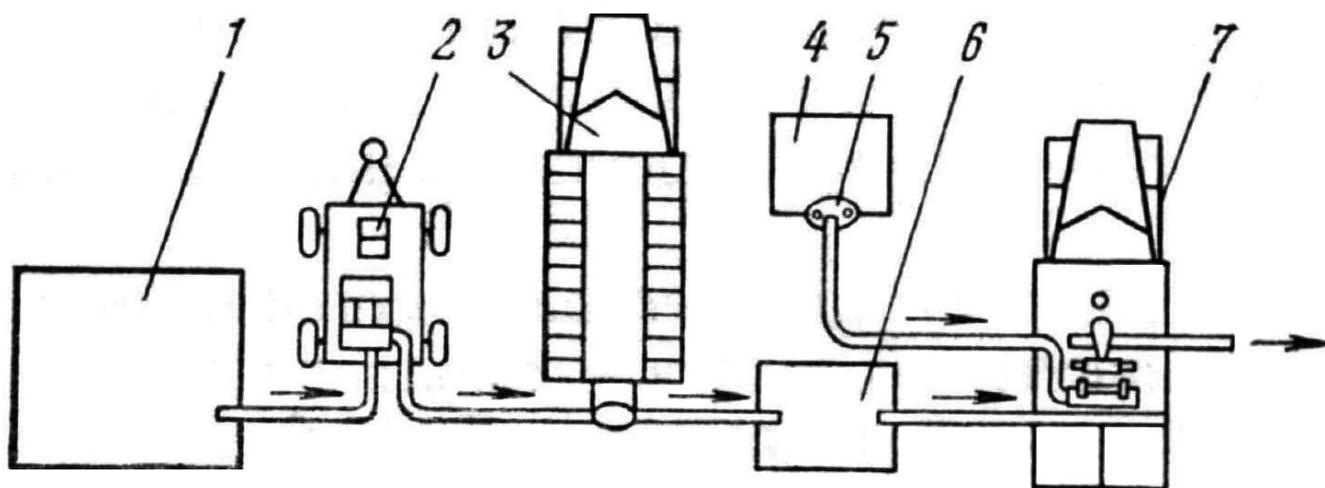


Рис.9.5.8. Схема приготовления и нагнетания глиноцементного раствора по КМТ.

1 – бункер-накопитель; 2 – насос 9МГР; 3 – цементосмесительная машина 2СМН-20; 4 – ёмкость с жидким стеклом; 5 – шестерёнчатый насос; 6 – промежуточная ёмкость; 7 – цементационный агрегат ЦА-320.

Первоначально с помощью цементосмесительной машины 2СМН-20 приготавливается смесь глинистого раствора с цементом, которая затем из специальной промежуточной ёмкости всасывается насосом 9Т цементировочного агрегата

ЦА-320. Жидкое стекло при этом из специальной ёмкости шестерёнчатым насосом вводят в необходимом количестве непосредственно в коллектор насоса 9Т. Не успевая прореагировать с жидким стеклом, раствор легко всасывается насосом и нагнетается в манифольдную линию, где и происходит его полное перемешивание.

Для приготовления и нагнетания глиноцементного тампонажного раствора применяется КОМПЛЕКС следующего ОБОРУДОВАНИЯ (плакат):

- 2 агрегата ЦА-320М;
- 2 насоса 9МГР;
- 2 манифольдных блока 2БМ-700;
- 2 машины 2СМН-20;
- 2 шестерёнчатых насоса;
- станция контроля цементации СКЦ-2М.

3. Нагнетание глиноцементного тампонажного раствора.

Осуществляется цементирующими агрегатами ЦА-320М, а конкретно насосами высокого давления 9Т, которые из промежуточной ёмкости подают раствор по нагнетательному трубопроводу в скважину через манифольдный блок 2БМ-700 станции контроля цементации СКЦ-2М (плакат).

Во избежание схватывания тампонажного раствора в трубах и вывода из строя нагнетательного трубопровода при производстве тампонажных работ необходимо предусматривать промывку нагнетательного трубопровода как по окончании нагнетания расчётного количества тампонажного раствора в водоносный горизонт, так и при любой остановке процесса нагнетания продолжительностью более 10-15 минут. Для промывки нужно всегда иметь в запасе готовый глинистый раствор или воду.

Из условия обеспечения максимального контура распространения раствора следует, что при закачке расчётного количества раствора давление нагнетания P_n должно достигнуть или быть близким к проектной величине. Это в идеале. На практике бывает по-разному. Но в любом случае, критерием определения момента окончания нагнетания тампонажного раствора по зажимной схеме является достижение расчётного максимального давления.

По окончании нагнетания для удаления тампонажного раствора из насосов, манифольда, нагнетательного трубопровода и пакерующего устройства закачивают расчётное количество чистого глинистого раствора или воды. Затем на манифольдном блоке перекрывают запорные краны и скважину оставляют в загерметизированном состоянии до окончания стабилизации тампонажного раствора. Момент окончания стабилизации фиксируют по падению остаточного давления на манометре (это свидетельствует о том, что гидростатический напор подземных вод уже восприняла на себя тампонажная завеса), после чего осуществляют снятие пакерующего устройства.

Технологические операции при нагнетании раствора во всех заходках аналогичны. Очередность нагнетания в тампонажные скважины по КМТ должна быть такой, чтобы исключить возможность изоляции подземных вод между завесами, сформированными из отдельных скважин.

3. Тампонирование горных пород из забоя ствола.

Отличительные особенности тампонажа из забоя ствола:

1. Ствол должен быть закреплен постоянной крепью на всю глубину до самого забоя.

2. В забое ствола сооружается предохранительная перемычка (подушка), чаще всего из монолитного бетона. В ней устраиваются кондукторы, сквозь которые производится бурение скважин и нагнетание раствора.

3. Оборудование для бурения и нагнетания отличается от применяемого на поверхности земли (меньше габариты, вес, мощность, производительность).

БЕТОННЫЕ ПЕРЕМЫЧКИ (ПОДУШКИ) предназначены для передачи давления от тампонажного раствора горной породе, а также для изоляции забоя выработки от проникновения в неё подземных вод и выхода тампонажного раствора в процессе его нагнетания в породы. Размеры и формы подушек различны, зависят от горного давления, крепости вмещающих пород и давления нагнетания раствора (см. Тему 9.3: рис.9.3.2).

В некоторых случаях бетонная перемычка может быть заменена породным целиком (например, если породы представлены крепкими нетрещиноватыми песчаниками) или слоем ранее зацементированной горной породы. Мощность породного целика определяется расчётным путём и колеблется от 2 до 10 м.

Однако чаще всего применяют укладку тампонажных перемычек из монолитного бетона. В слабых породах рекомендуется использовать сферическую подушку (она отличается повышенной прочностью, в неё укладывается меньше бетона, однако возведение такой подушки технологически сложнее). В породах средней крепости и крепких обычно закладывают плоскую подушку (её возвести проще, но требуется больше бетона). По окончании тампонажа бетонные подушки разбирают и возобновляют горнопроходческие работы по сооружению ствола.

Технология возведения тампонажных подушек зависит от притока воды из пород забоя ствола. При этом возможны три варианта:

- 1) забой ствола сухой;
- 2) в забой ствола поступает вода в количестве, которое может быть откачано при помощи насосов;
- 3) катастрофическое поступление воды в забой ствола.

Рассмотрим эти три варианта по порядку.

(1). После выемки породы на высоту тампонажной подушки согласно схеме расположения тампонажных скважин на забое устанавливают раму-шаблон с кондукторами. После этого приступают к укладке бетона в подушку. При этом бетонирование тампонажной подушки по технологии не отличается от обычных бетонных работ. Вода, стекающая по стенам ствола в забой, не откачивается до первоначального срока схватывания бетона во избежание выноса цемента с откачиваемой водой на поверхность.

(2). В этом случае принимаются меры по откачке воды в процессе укладки и твердения бетона (макет, плакат). В нижней части подушки устраивается из щебня или гравия дренажный слой, в наинизшей точке которого организуют водозабор внутри перфорированного ящика. Постоянно откачивая поступающую в забой ствола воду, поверх дренажного слоя, предварительно изолировав его, укладывают слой монолитного бетона. После набора бетоном верхнего слоя требуемой прочности дренажный слой цементируют через дренажную трубу, и он становится частью подушки.

(3). В этом случае, когда насосное оборудование не справляется с очень большим притоком воды в забой ствола, применяют метод подводного бетонирования.

До того, как приступить к этой технологии, необходимо затопить ствол до статического уровня вод вскрытого водоносного горизонта. При этом прекращается всякое движение воды в районе забоя ствола, что обеспечит в дальнейшем благоприятные условия для твердения бетона (не будет вымываться цемент).

Конструкция тампонажной подушки в этом случае будет представлять собой одно- или двухступенчатый цилиндр высотой h (рис.9.5.9) в зависимости от того, возведена или нет постоянная крепь до забоя ствола. Подводное бетонирование может осуществляться по одной из следующих технологий:

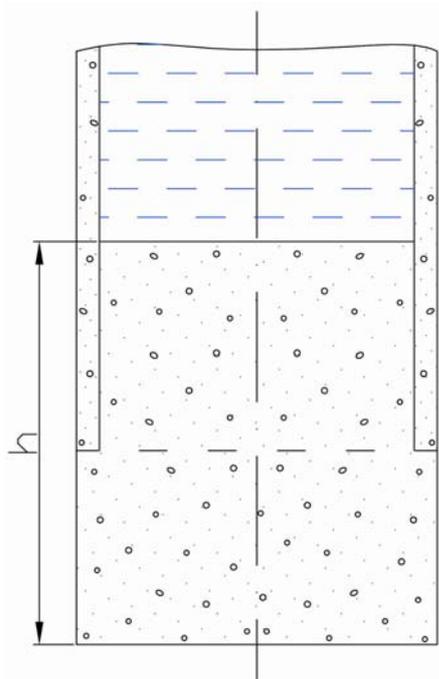


Рис.9.5.9. Конструкция тампонажной перемычки, сооруженной подводным бетонированием.

- с частичной изоляцией бетона при его укладке в воду (при спуске в забой в контейнерах, которые открываются дистанционно);
- с полной изоляцией бетона при его укладке (бетонная смесь подаётся по трубам, концы которых находятся всё время ниже верхней отметки укладываемого бетона, чем исключается расслоение бетона и вымывание из него цемента). Расстояние между точками укладки - 2,5-3,0 м;
- раздельным бетонированием. По этой технологии до забоя ствола устанавливают несколько трубопроводов. Вначале на забой укладывают слой щебня или гравия расчётной высоты, после чего в него нагнетают быстротвердеющий цементно-песчаный раствор.

Для подушек из монолитного бетона целесообразно использовать быстротвердеющие бетонные смеси высоких марок - 300, 400 и более.

Перспективным является применение сборно-разборных металлических тампонажных подушек (особенно на стволах, на которых производится более 3-х тампонажей из забоя). Эти подушки представляют собой сферическую конструкцию из отдельных стальных тубингов (секторов) с толщиной стенок 25-50 мм. В тубингах имеются заглушенные отверстия для скважин. Такие подушки имеют ряд преимуществ по сравнению с бетонными:

- 1) возводятся при любых водопритоках;
- 2) невысокая стоимость благодаря многократному использованию;
- 3) нет потерь времени на твердение бетона;
- 4) сразу воспринимают полную нагрузку.

ГЛУБИНА тампонажных заходок зависит от характера трещиноватости горных пород, мощности бурового оборудования и изменяется от 12 до 50 м (до 150 м при бурении тяжёлыми станками). Для предотвращения внезапного прорыва воды в ствол по мере его углубки бурят одну или две разведочные скважины, опережающие заходку на 30-50 м.

ЧИСЛО И РАСПОЛОЖЕНИЕ ТАМПОНАЖНЫХ СКВАЖИН определяется, исходя из условий залегания горных пород (всей совокупности горно-геологических, фильтрационных, физико-механических свойств водоносных пород) и свойств тампонажного раствора. Тампонажные скважины при минимальной длине должны пересекать возможно большее число трещин, при этом желательно под углом, близким к прямому.

В зависимости от типа и свойств пересекаемых горных пород тампонажные скважины в забое ствола располагают (рис.9.5.10):

- 1) перпендикулярно забою ствола;
- 2) наклонно относительно оси ствола;
- 3) наклонно в радиальном и тангенциальном направлениях.

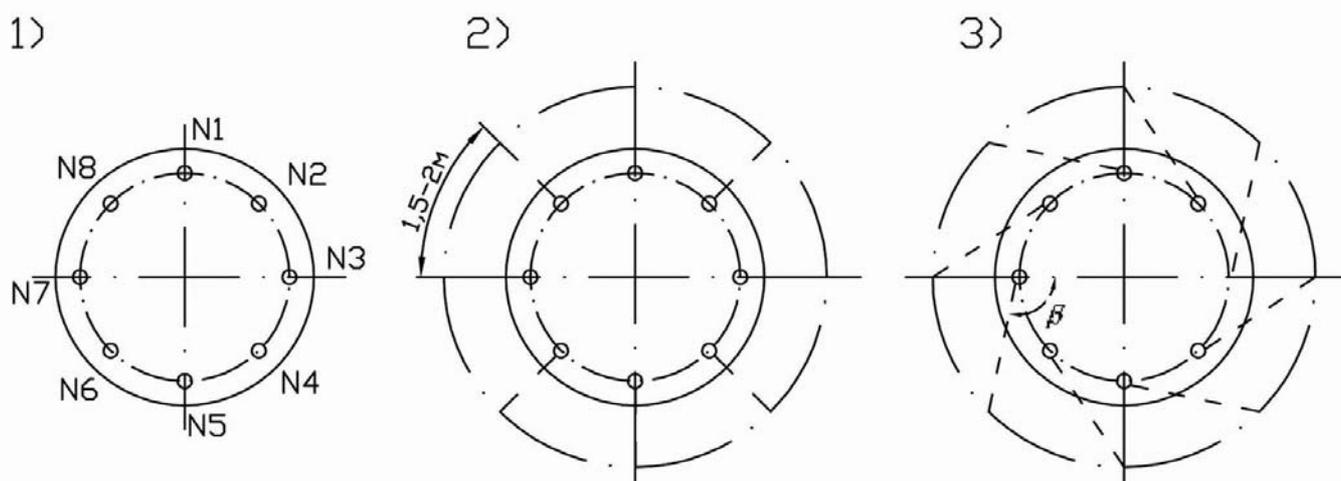


Рис.9.5.10. Расположение тампонажных скважин в забое ствола.

В последних двух схемах тампонажным скважинам придают зенитный наклон с таким расчётом, чтобы их основания выходили за пределы контура ствола на 1,5-2,0 м.

1-я и 2-я схемы применяются при горизонтальной или слабонаклонной трещиноватости, а 3-я - при крутопадающих и вертикальных трещинах.

При этом тангенциальные углы (β) принимают равными 110-135°. Во всех схемах устья скважин располагают по окружности с отходом от контура ствола на 0,3-0,75 м по условию размещения бурового оборудования.

Число тампонажных скважин определяется, исходя из известного диаметра их расположения ($D_T = D_{св} - (0,6-1,5)$ м) и принятого расстояния между скважинами (l_T). На практике принимают $l_T = 1,5-2,0$ м для 1-ой схемы и $l_T = 0,8-1,5$ м для 2-й и 3-й схем (а в любом случае между основаниями скважин будет 1,5-2,0 м).

БУРЕНИЕ ТАМПОНАЖНЫХ СКВАЖИН.

Диаметры тампонажных скважин принимаются в зависимости от их глубины и бурового оборудования. Обычно в пределах 40-100 мм.

Процессы бурения скважин и нагнетания в них тампонажного раствора чередуют по приблизительно такой схеме:

I этап - бурение скважин N 1 и N 5;

II этап - нагнетание раствора в скважины NN 1 и 5, бурение скважин NN 3 и 7;

III этап - нагнетание раствора в скважины NN 3 и 7, бурение скважин NN 2 и 6

и т.д.

Воды подземных горизонтов, как правило, напорные. В связи с этим тампонажные скважины бурят из забоев стволов через кондукторы, оборудованными запорными кранами или задвижками, пропускающими буровой инструмент. В тот момент, когда при бурении будет вскрыта водоподводящая трещина с большим дебитом, буровой инструмент демонтируют или оставляют в скважине (если не успевают с демонтажом), задвижку перекрывают, готовятся к нагнетанию раствора (рис.9.5.11).

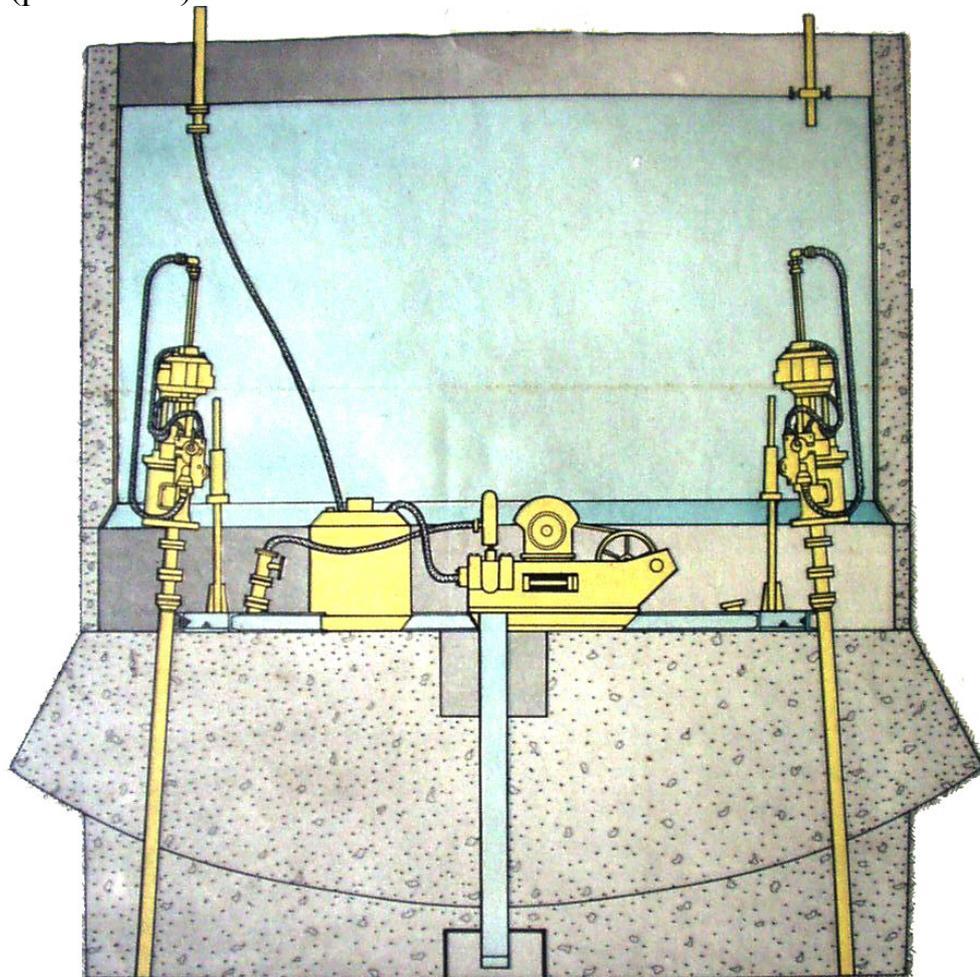


Рис.9.5.11. Расположение оборудования при тампонаже из забоя ствола.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА осуществляется на поверхности земли по одной из описанных ранее технологий.

НАГНЕТАНИЕ ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА может осуществляться:

а) с поверхности земли по трубопроводу высокого давления непосредственно в скважину (в крепких породах при больших давлениях нагнетания);

б) из забоя ствола или с подвешеного полка тампонажным насосом в скважину при давлениях нагнетания до 5-6 МПа.

В этом случае приготовленный на поверхности тампонажный раствор доставляют в ствол или бадьями, или по трубопроводу в специальную промежуточную ёмкость.

ПРОХОДКА СТВОЛА.

После выполнения тампонажных работ и набора тампонажным раствором необходимой проектной прочности производят разработку подушек или породных целиков. Разборка подушек в слабых и средней крепости породах осуществляется на отбойный молоток с частичным применением БВР, а в породах выше средней крепости и крепких - с применением БВР.

Технология проходки ствола по затампонированным породам (всё равно, с поверхности или из забоя производился тампонаж) практически ничем не отличается от проходки стволов в обычных горно-геологических условиях.

4. Последующий тампонаж.

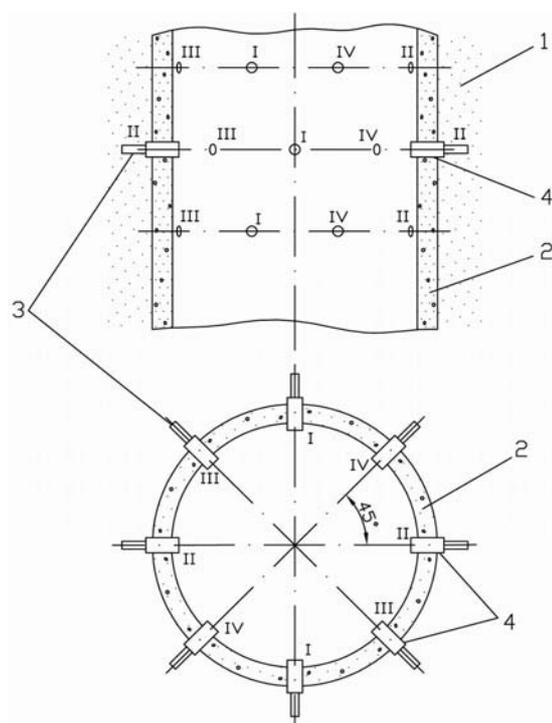
Последующий тампонаж применяется с **ЦЕЛЬЮ:**

- 1) устранения или уменьшения до допустимых по СНиП норм остаточных притоков в горную выработку;
- 2) упрочнения горных пород, окружающих крепь выработки, что позволяет понизить горное давление;
- 3) упрочнение крепи выработки, нарушенной по тем или иным причинам;
- 4) заполнения тампонажным раствором пространства между крепью из сборных элементов (тубинговой) и горной породой.

Последующий тампонаж применяют только в тех местах выработки, где притоки превышают нормативные. Последующую цементацию осуществляют следующим образом.

Через крепь ствола бурятся шпур (скважины), в устьях которых заделывают направляющие патрубки (кондукторы). Шпур заглубляют в окружающую крепь горные породы на 0,5-1,0 м с тем, чтобы вскрыть водопродводящие трещины. При упрочнении массива длина скважин может достигать 10 м. Шпурам (скважинам) придают наклон до 10° к горизонту.

Диаметр скважин принимают 60 мм под кондуктор и 39-43 мм - основной. Их бурят сразу на всём участке, подлежащем цементации, и располагают рядами, отстоящими друг от друга на 1-4 м (между шпурами в ряду 1-3 м) из расчёта 1 скважина на $1-3 \text{ м}^2$ площади крепи в зависимости от её состояния. В разрушенной крепи расстояние между скважинами уменьшают. Скважины располагают в шахматном порядке или по спирали (рис.9.5.12).



Обозначения:

- 1 – водоносные трещиноватые породы;
- 2 – крепь ствола (бетон);
- 3 – скважины (шпур) для последующей цементации;
- 4 – кондукторы.

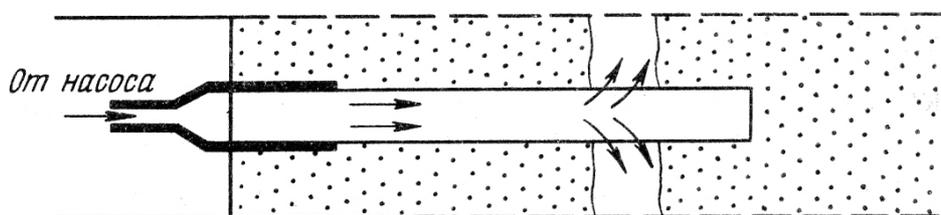
Римскими цифрами I,II,III,IV указана очередность нагнетания раствора.

Рис.9.5.12. Расположение скважин для последующей цементации.

При большой длине участка, подлежащего последующей цементации, его разбивают на отдельные секции высотой 15-25 м. В пробуренных скважинах заделывают

вают кондукторы (направляющие трубы) диаметром 40-50 мм с раструбом на конце, обращённом к горной породе, и резьбой на конце, выходящем в ствол. На этом конце при нагнетании будет укреплен запорный кран. Кондуктор крепят на цементном растворе с жидким стеклом или при помощи резиновых манжет. Вместо кондукторов возможно использование винтовых пакеров (рис.9.5.13), устанавливаемых в шпуре недалеко от его устья и снимаемых по окончании последующей цементации.

а)



б)

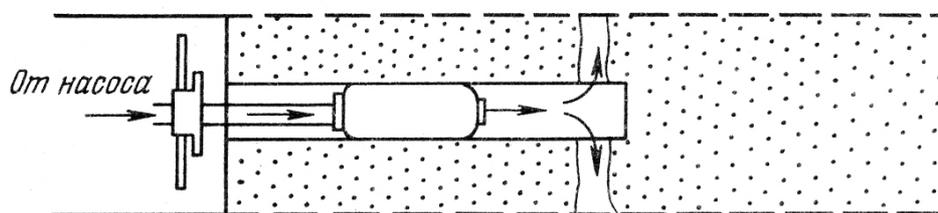


Рис.9.5.13. Способы нагнетания раствора при последующем тампонаже:

а) при помощи кондуктора;
б) при помощи пакера.

Все работы по последующему тампонажу в вертикальных стволах до армирования выполняют с подвесного полка, а при наличии постоянной армировки - с полков, настилаемых на расстрелах одного яруса. Для последующей цементации существует комплекс оборудования КЦ-П или КЦ-2П, в который входят перфораторы ПП-63с, насос НГР-250/50, бадья для раствора (плакат).

После бурения тампонажных скважин перфораторами ПП-63с их промывают чистой водой с помощью насоса, оборудуют пакером (если кондуктор, то его устанавливают вначале бурения, а скважину бурят сквозь него) и сразу приступают к нагнетанию раствора.

Для последующей цементации применяют чистые цементные, цементно-песчаные и цементно-суглинистые растворы. Марка цемента для раствора должна быть не ниже 400.

Перед нагнетанием тампонажного раствора в скважины нижние два ряда кондукторов (пакеров) снабжают запорными кранами. К кранам присоединяется тройник, манометр и напорный рукав.

Тампонажный раствор нагнетают через одну или одновременно через две диаметрально противоположные скважины самого нижнего ряда. Краны на патрубках вышележащего ряда скважин остаются открытыми до конца нагнетания тампонажного раствора. По ним наблюдают за продвижением раствора в пространстве за крепью. Когда тампонажный раствор появится в верхних патрубках, их краны закрывают, а нагнетание прекращают. После этого переходят к нагнетанию раствора в две другие скважины этого же ряда и т.д. По окончании обработки всех скважин самого нижнего ряда переходят к нагнетанию тампонажного раствора через патрубки вышележащего ряда, а на патрубках следующего за ним ряда открывают краны.

В таком порядке осуществляют нагнетание раствора, пока не будет закончен тампонаж всего участка. Затем для контроля выполненных работ поочередно открывают краны на патрубках скважин. При появлении воды в каком-либо из патрубков через него повторно нагнетают тампонажный раствор. При нагнетании раствора нужно следить, чтобы он не выходил в ствол через трещины в крепи (если выходит, то нужно делать выдержки, чеканить и конопатить трещины).

Конечное давление нагнетания раствора при последующей цементации должно назначаться с учётом состояния крепи ствола, и в любом случае не должно превышать расчётной нагрузки на крепь (если так получается, то нужно добавить шпуров = чаще их пробурить). При бетонной крепи ствола конечное давление нагнетания P_n обычно ограничивают пределом в 1 МПа, а при тубинговой крепи – 30 МПа.

5. Контроль за производством и оценка качества тампонажных работ.

При выполнении работ по тампонированию горных пород осуществляют следующие виды КОНТРОЛЯ:

1. За бурением тампонажных скважин.
2. За приготовлением тампонажного раствора.
3. За нагнетанием раствора в скважины.
4. За качеством тампонирования горных пород (оценка качества).

Контроль за бурением тампонажных скважин рассмотрен ранее.

Контроль за приготовлением раствора сводится к контролю за качеством исходных материалов (цемента, глины, воды, химических растворов), а также за качеством готовых тампонажных растворов (плотность, стабильность, В:Ц и др.).

Контроль за нагнетанием тампонажного раствора включает в себя контроль за давлением нагнетания P_n , расходом (поглощением) тампонажного раствора в каждой скважине Q . Для оперативного управления и автоматического контроля за процессом приготовления и нагнетания цементных и глиноцементных растворов используют специальную станцию контроля СКЦ-2м, которая позволяет контролировать давление нагнетания P_n , плотность и расход Q тампонажного раствора.

Управление процессом тампонажа осуществляется с центрального пульта управления, находящегося в лаборатории - основной части станции. Сюда поступает информация об основных технологических параметрах, а также о режиме работы насосов и растворосмесителей. Соответствующие датчики при этом могут находиться на расстоянии свыше 100 м от пункта нагнетания. При помощи этих данных можно оперативно влиять на процесс тампонирования.

Надёжная *оценка качества тампонажных работ* является одним из наиболее ответственных вопросов при устройстве подземных водонепроницаемых завес вокруг строящихся стволов шахт. Достоверная и оперативная информация об изменении проницаемости горных пород в процессе тампонажа позволяет, с одной стороны, оценить эффективность выполняемых работ и гарантировать их качество, с другой, - своевременно обнаружить и ликвидировать возможные дефекты водоизоляционной завесы. Тщательный и оперативный контроль процесса тампонажа даёт

возможность оценить надёжность изоляции водоносных горизонтов до начала проходки горных выработок.

Контроль за качеством тампонирования горных пород заключается в определении ПРОЧНОСТИ, МОНОЛИТНОСТИ и ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ затампованного массива.

В шахтном строительстве существуют разнообразные методы контроля качества тампонирования. Их выбор определяется гидрогеологическими условиями производства работ, а также спецификой их выполнения. Преимущественное распространение получили следующие методы контроля:

1. Гидродинамические (определение удельного водопоглощения, расходомерия, опытные откачки и нагнетания воды).
2. Геофизические (акустический и др. виды каротажа).
3. Лабораторные (испытания кернов на сжатие, на сцепление тампонажного камня с породой).
4. Визуальные (осмотр кернов и горных пород в скважинах).
5. По данным технической документации производства работ.

Самое широкое распространение в практике тампонажных работ нашёл способ контроля за качеством работ, связанный с бурением **КОНТРОЛЬНЫХ СКВАЖИН** и проведения в них гидродинамических исследований. Для этого в пределах контура затампованного целика пород производят бурение не менее 3-х скважин диаметром 90-100 мм (если тампонаж с поверхности земли) и диаметром 40-50 мм (если тампонаж из забоя выработки).

По возможности производится керновое бурение контрольных скважин. По полученным кернам пород определяют характер и степень заполнения трещин и пор тампонажным камнем. После бурения скважин в каждой из них определяют удельное водопоглощение. Тампонаж считается законченным, если в результате тампонирования q пород снижено до 0,01 л/мин*м*м. Если же q в контрольной скважине превышает допустимую величину, то эту скважину тампонируют, а на участке, подлежащем контролю, бурят и испытывают новую контрольную скважину. Все контрольные скважины независимо от величины выявленного q должны быть затампованы.

Для **КМТ** (комплексного метода тампонажа) ПО "Спецтампонажгеология" разработан **СПЕЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ**, основанный на анализе изменения фильтрационных свойств горных пород по мере нагнетания тампонажного раствора в скважины. В соответствии с этим методом осуществляют:

I. Расчёт минимально допустимого остаточного коэффициента проницаемости водоносных горных пород (K_{min})

$$K_{min} = \frac{K_{cp} \cdot Q_{min}}{K_3 \cdot Q}, \text{ м}^2 \quad (9.5.2)$$

где

K_{cp} - среднее значение коэффициента проницаемости всех водоносных горизонтов, вскрываемых стволом, м²;

Q_{min} - допустимый остаточный приток воды в ствол, м³/час;

$K_3 = 2$ - коэффициент запаса;

Q - суммарный прогнозный приток воды в ствол, м³/час.

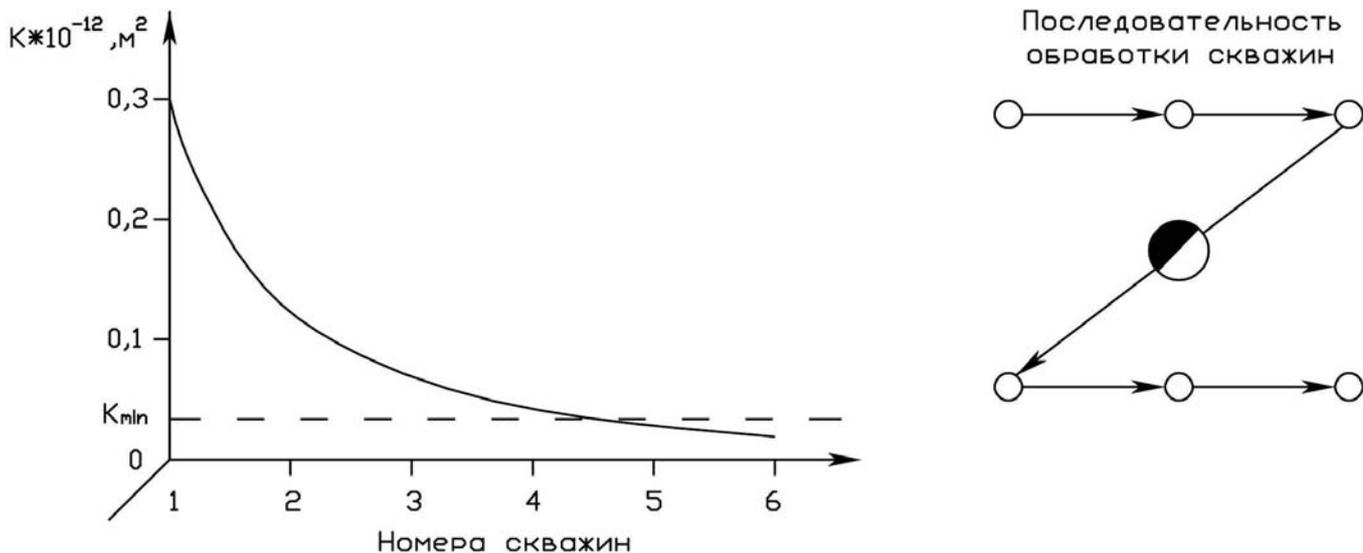


Рис.9.5.14. График снижения коэффициента проницаемости в процессе тампонажа.

II. Повторные расходометрические и гидродинамические исследования в каждой последующей скважине после окончания нагнетания раствора в предыдущую скважину.

III. Сравнение коэффициентов проницаемости, полученных до и после нагнетания раствора по мере производства тампонажных работ.

Результаты контроля за качеством тампонажных работ для каждого водоносного горизонта представляют в виде графика следующего вида (рис.9.5.14):

Полученная кривая характеризует снижение проницаемости водоносного горизонта по мере производства работ по нагнетанию раствора. Тампонажные работы считаются выполненными удовлетворительно, если каждое последующее измерение фиксирует неуклонное снижение проницаемости водоносных горизонтов, а коэффициенты проницаемости, определённые перед нагнетанием в последнюю тампонажную скважину, окажутся ниже или равными допустимым расчётным. Измерение проницаемости водоносных горизонтов осуществляется с помощью комплекса расходометрических исследований (прибор ДАУ-3М).

8.6. ПРОИЗВОДСТВО ТАМПОНАЖНЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ВЫРАБОТОК.

1 ЧАС

ПЛАН.

1. Схемы тампонирования.
2. Производство тампонажных работ при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок.

Л.1, с.257-265,
Л.5, с.182-186.
Л.7, с.135-142.

1. Схемы тампонирования.

При проведении горизонтальных и наклонных горных выработок тампонаж горных пород применяют в двух случаях:

- 1) для подавления водопритокков или поступления вредных газов из трещин или других пустот в выработку;
- 2) для повышения несущей способности (упрочнения) окружающих горных пород, сплошность которых нарушена.

В результате применения тампонажа повышаются условия безопасности и скорость проведения горных выработок, снижаются стоимости возведения и поддержания крепи выработок, предотвращаются вывалы горных пород и завалы выработок.

Производство работ по тампонированию горных пород при строительстве горизонтальных и наклонных выработок отличается большим разнообразием схем расположения скважин в пространстве и устройством тампонажных перемычек. Также, как и при строительстве стволов, тампонирование горных пород в этом случае осуществляется по двум основным технологическим схемам:

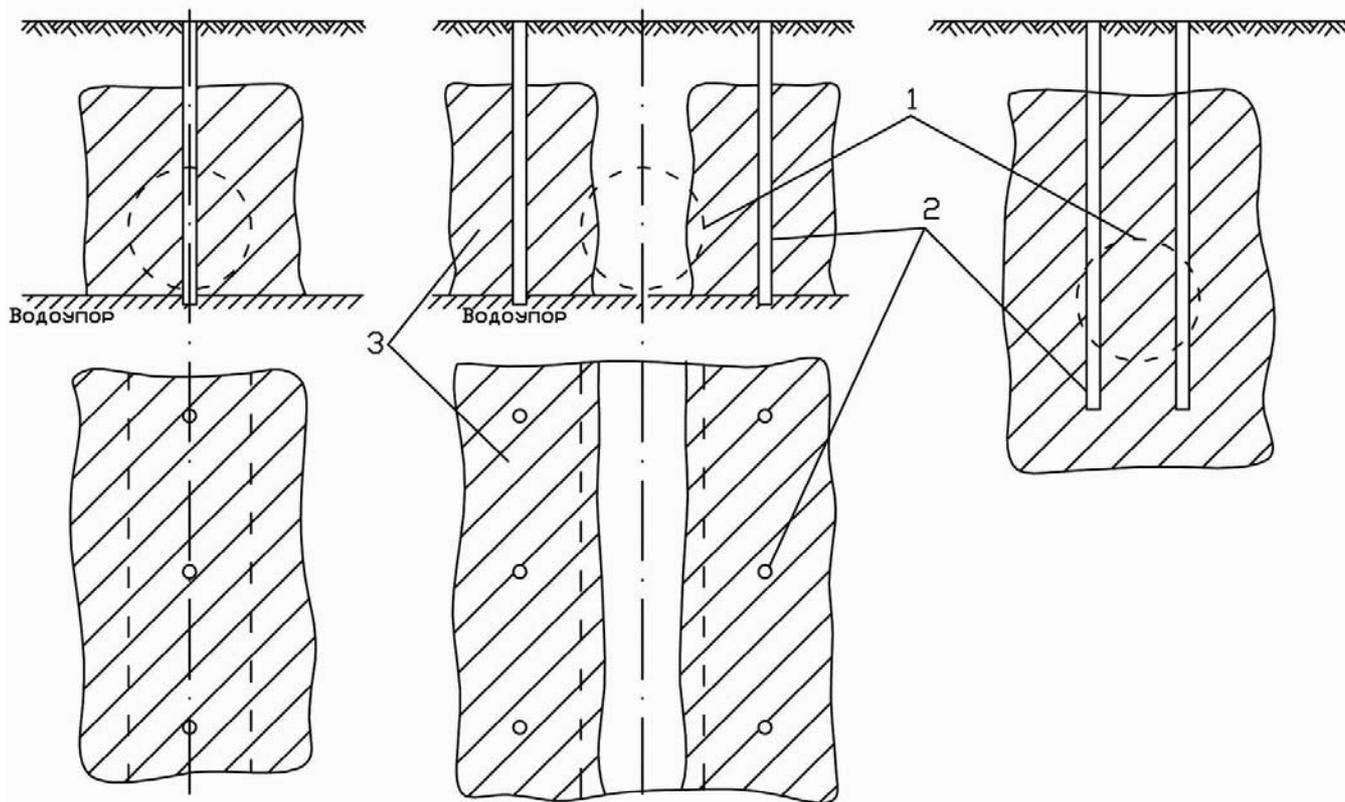
I - с поверхности земли;

II - из забоя выработки.

При тампонировании пород С ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ выбор схемы расположения тампонажных скважин зависит от: глубины заложения выработки, гидрогеологических условий, наличия и глубины залегания водоупора. При этом тампонажные скважины бурят или вертикально, или наклонно в зависимости от горногеологических условий и условий на поверхности по трассе строящегося объекта. Схемы отличаются большим разнообразием (рис.9.6.1).

При тампонировании пород ИЗ ЗАБОЯ ВЫРАБОТКИ работы выполняют отдельными участками (заходками) определённой длины с последовательным чередованием процессов тампонирования и проведения выработки. Нагнетание тампонажного раствора в массив в этом случае осуществляют через группы слабонаклонных скважин (рис.9.6.2). При этом формируются затампонируемые массивы в виде конусов или ореолов, входящих один в другой. Для предотвращения выхода тампонажного раствора и воды в выработку при тампонировании каждой заходки возво-

дят тампонажные перемычки или оставляют целик из ранее затампонируемой породы.



А. Водоупор залегает неглубоко.

Б. Водоупор отсутствует.

Рис.9.6.1. Схема тампонирувания с поверхности земли.

1 – контур выработки; 2 – тампонажные скважины; 3 – затампонируванный массив.

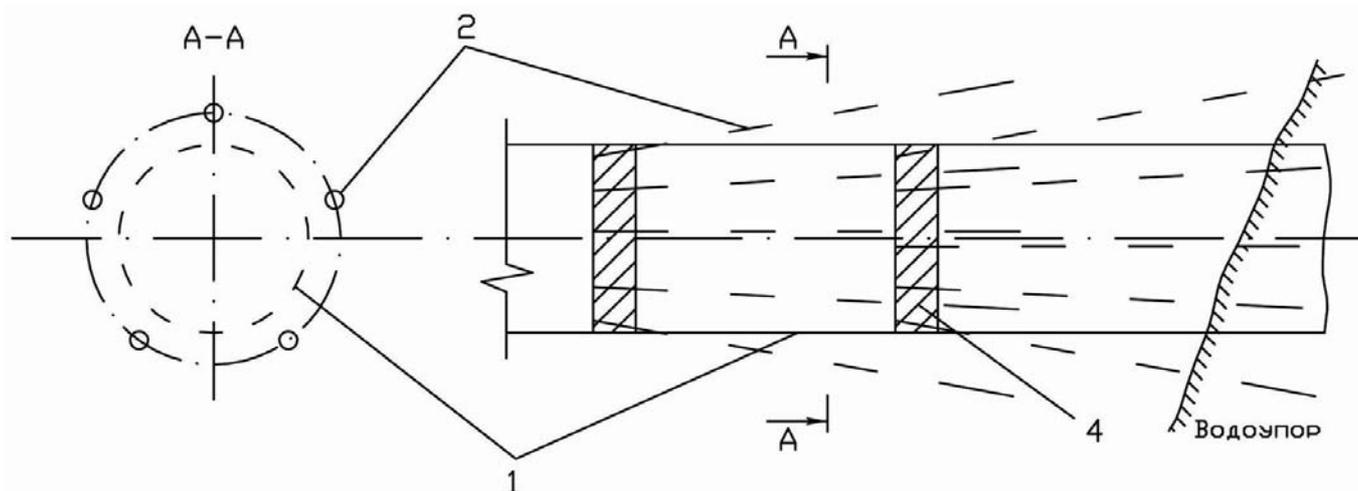


Рис.9.6.2. Схема тампонирувания из забоя выработки.

1, 2 – те же; 4 – тампонажные перемычки.

Длина участка тампонирувания при забойной технологии зависит от многих факторов: от свойств массива, вида тампонажного материала, оборудования для бурения скважин и др. В устойчивых породах наиболее часто тампонаж выполняют заходками 10-50 м, в неустойчивых - до 5 м. Расстояния устьев тампонажных скважин от контура выработки определяются габаритами бурового оборудования и

должны быть минимальными. Скважины бурят под углом к продольной оси выработки с таким расчётом, чтобы концы скважин выходили за контур выработки на 1...5 м.

Обе схемы тампонирования (с поверхности и из забоя) обладают своими преимуществами и недостатками.

Тампонирование с поверхности земли.

Преимущества: 1) горнопроходческие работы совмещаются во времени с работами по тампонированию, что позволяет проходить выработку с высокой скоростью;

Недостатки: 1) большой объём буровых работ;
2) тампонирование "лишнего" объёма горных пород, что приводит к перерасходу тампонажных материалов и удорожанию строительства.

Тампонирование из забоя выработки.

Преимущества: 1) незначительный объём буровых работ;
2) меньше расход тампонажных материалов.

Недостатки: 1) снижение темпов строительства из-за чередования работ по тампонажу и проведению выработки;
2) большие затраты времени на устройство и разборку тампонажных перемычек.

Выбор той или иной схемы тампонирования производится на основе детального технико-экономического сравнения вариантов с учётом гидрогеологических условий, физико-механических свойств горных пород, глубины заложения выработки, принятого типа бурильных машин и тампонажного материала.

2. Производство тампонажных работ при строительстве горизонтальных и наклонных выработок.

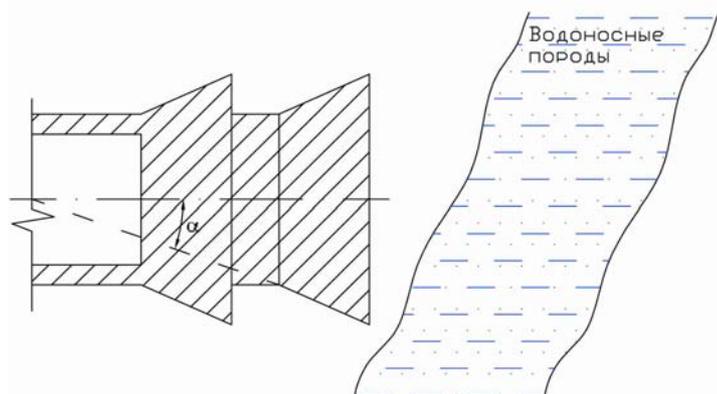
При ведении тампонажных работ С ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ существенных отличий от ранее рассмотренной технологии (при строительстве вертикальных стволов) не существует.

При тампонировании ИЗ ЗАБОЯ ВЫРАБОТКИ работы выполняют в следующей последовательности:

- 1) возведение тампонажной перемычки;
- 2) гидравлическое испытание кондукторов и опрессовка перемычки;
- 3) бурение тампонажных скважин;
- 4) оборудование скважин запорной арматурой;
- 5) расходомерические исследования в скважинах;
- 6) нагнетание тампонажного раствора;
- 7) демонтаж запорной арматуры и разборка перемычки.

ТАМПОНАЖНЫЕ ПЕРЕМЫЧКИ по своей форме могут быть **плоскими, цилиндрическими или сферическими**. Плоские перемычки имеют форму четырёхгранной усечённой пирамиды (в выработках прямоугольной формы) или усечённого

конуса (в выработках круглой формы). В зависимости от расчётной толщины перемычка может иметь одну или несколько ступеней (рис.9.6.3).



Угол наклона опорной поверхности перемычки – $\alpha = 15-19^\circ$.

Материал перемычки: кирпич, камень, бетон (чаще всего) и железобетон.

Рис.9.6.3. Форма плоской двухступенчатой перемычки в забое горизонтальной выработки.

Технология возведения перемычки в кратком изложении: выемка породы, разделка вруба, кондукторы в каркасе, деревянная опалубка, укладка бетона бетоноукладчиком, через трое суток нагнетание тампонажного раствора с целью заполнения пустот и трещин в бетоне.

Бурение скважин (шпуров) производится диаметром 45-150 мм через кондукторы с запорной арматурой. Основной буровой станок - НКР-100м. После бурения - расходомерческие исследования, на основании которых назначаются составы и консистенция тампонажных растворов, устанавливаются режимы тампонирования. После этого приступают к нагнетанию раствора.

При цементации возможны два варианта приготовления и нагнетания раствора:

- 1) оборудование для приготовления и нагнетания раствора в породы располагается в выработке у забоя;
- 2) оборудование размещено на поверхности земли.

Из этих двух вариантов выбирают подходящий в зависимости от глубины заложения выработки, объёмов тампонажных работ и на основании технико-экономического анализа.

Нагнетание тампонажного раствора производится зажимным способом непрерывно в течение всего времени, пока скважина принимает раствор при давлении не выше расчётного. В случае, когда давление нагнетания продолжительное время не растёт при постоянном расходе, что бывает при пересечении крупных трещин или полостей, раствор сгущают. Если поглощение раствора не снижается и после этого, нагнетание раствора на время прекращают, то есть тампонирование осуществляют с перерывами. Продолжительность перерыва принимают равным времени твердения тампонажного раствора.

К разборке перемычки приступают не ранее чем через 24 часа после окончания нагнетания в последнюю из скважин.

Институты ЦНИИПодземмаш и ВНИИОМШС совместно разработали ряд комплексов оборудования для тампонажа из забоя горизонтальной выработки, применение которых улучшает организацию труда и увеличивает темпы сооружения выработок.

Комплекс оборудования для тампонажа из забоя горизонтальной выработки КТГ-1 (плакат) состоит из:

- 1) бурового агрегата типа НКР-100м;
- 2) цементационного насоса типа НГР-250/50;
- 3) подвижной лопастной растворомешалки объёмом $1,5 \text{ м}^3$ со смесительным устройством производительностью $20 \text{ м}^3/\text{час}$.

Цемент к растворомешалке доставляется в цистернах-цементовозах объёмом 2 м^3 , а вода - в водовозных цистернах такой же ёмкости.

Укрепительный тампонаж (упрочнение) горных пород выполняют через скважины малой глубины, пробуренные в нарушенных породах. Тампонажный раствор вначале нагнетают при невысоком давлении (до $0,3 \text{ МПа}$), затем постепенно его увеличивают, а завершают нагнетание при давлении в среднем до 7 МПа в зависимости от состояния горных пород. Основной тампонажный материал для упрочнения - цемент, так как он обеспечивает наибольшую прочность омоноличенного породного массива. Укрепительную цементацию иногда выполняют в комбинации со штанговой (анкерной) крепью. В этом случае перед нагнетанием цементного раствора в скважины вводят металлические штанги (анкеры). Подробнее тема упрочнения горных пород раскрыта в курсе "Механика подземных сооружений".

8.7. ЭЛЕКТРООСУШЕНИЕ И ЭЛЕКТРОУПРОЧНЕНИЕ ГРУНТОВ.

1 ЧАС

ПЛАН.

1. Электроосмос.
2. Электрохимический способ упрочнения глинистых пород.

Л.5, с.186-189.

1. Электроосмос.

Если в грунт, содержащий воду, забить два электрода, например, два стальных стержня, и пропустить через них постоянный электрический ток, то согласно законам электролиза, положительные ионы будут перемещаться от положительного (анода) к отрицательному электроду (катоде), и вода будет концентрироваться возле последнего. Явление перемещения и концентрации воды вокруг катода называют **электроосмосом (или электродренажом)**.

Одновременно с указанным явлением под действием электрического тока будут перемещаться мельчайшие частицы породы в обратном направлении - от катода к аноду. Такое явление называют **электрофорезом (или катафорезом)**. Явление электроосмоса всегда сопровождается явлением электрофореза. Способ электроосмоса основан на лабораторных исследованиях, выполненных профессором Московского университета Ф.Ф.Рейсом в 1809 году.

Кроме вышеуказанных явлений, при пропускании электрического постоянного тока в грунте происходят электролиз и физико-химические процессы - обменные реакции, благодаря которым грунт уплотняется и упрочняется. Таким образом, в процессе электроосмоса происходит интенсивное осушение грунта, необратимые изменения в нём с последующим его упрочнением.

Под действием электрического тока водопроницаемость грунта увеличивается. В малопроницаемых грунтах образуются многочисленные трещины и увеличивается их пористость.

Количество воды, отдаваемой грунтом при электроосмосе, прямо пропорционально количеству электричества, прошедшего через грунт. Наблюдения показывают, что приток воды к катоду превышает её расход в анодной области. Следовательно, при электроосмосе вода не только перемещается от одного полюса к другому, но и происходит осушение грунта. Воду, собирающуюся вокруг катода, можно удалять водоотливными средствами - насосами.

Способ электроосмоса целесообразно применять только в грунтах, содержащих гигроскопическую и плёночную воду, но не гравитационную, как при искусственном понижении уровня грунтовых вод. С повышением коэффициента фильтрации грунтов эффект электроосмоса снижается. Поэтому данный способ рекомендуется **применять** в грунтах, которые содержат 15-20% и более глинистых частиц размером до 0,005 мм, и у которых $K_{\phi} < 0,1$ м/сутки. К таким грунтам относятся: глинистые, суглинистые и илистые.

Технология электроосмоса. Она проста. Для выполнения работ необходимы электроды и источник постоянного тока. Электроды могут быть плоскими и трубчатыми (перфорированные стальные трубы диаметром 64-76 мм). Расстояние между электродами - 1-2 м. Разноимённые электроды размещаются в шахматном порядке и так, чтобы электроосмотическое действие на систему капилляров совпадало с на-

правлением движения подземных вод.

Для работы системы нужен постоянный электрический ток напряжением 30-220 В. Для этого применяют электросварочные агрегаты мощностью 7,5; 8,4; 9,6 кВт (напряжение - 30 В, сила тока - 250-320 А). Плотность тока на 1 м² грунта составляет 0,5-2,0 А/м².

На осушение грунта электроосмосом затрачивается 3-5 суток. Электроосмос можно применять в комбинации с иглофильтровой установкой (иглофильтр - катод). Такой способ получил название **электроосушение**.

Предел прочности грунта, упрочнённого электроосмосом, достигает 0,2-0,5 МПа. Такой грунт не размокает в воде.

Способ электроосмоса может применяться на открытых работах (осушение котлованов, откосов и др.). В подземных условиях электроосмос целесообразно применять для осушения горных пород с целью *снижения способности их к пучению*. Исследования показывают, что при одновременном воздействии на грунт электрическим током и введении через трубчатый электрод электролита (хлористого натрия) в значительной степени снижается способность глинистого грунта набухать (пучиться) под действием влаги.

2. Электрохимический способ упрочнения глинистых пород.

Это комбинация 2-х способов: ЭЛЕКТРООСМОСА И СИЛИКАТИЗАЦИИ.

Сущность способа состоит в том, что помимо обработки грунта (породы) постоянным электрическим током, в него (них) дополнительно вводят растворы химических веществ - наиболее часто жидкого стекла и хлористого кальция. В результате введения растворов в грунт возникают новые физико-химические процессы, при которых грунт упрочняется в большей степени. Растворы вводят в грунт через анодный электрод. При нагнетании в грунт они просачиваются через него и устремляются к катодам. Реагируя друг с другом, такие растворы образуют кремнезём (гель кремниевой кислоты).

От силикатизации (химического упрочнения) пород такой способ отличается тем, что в грунт растворы нагнетают не под давлением, когда они могут распространиться в любом, часто случайном направлении. Направление движения электрического тока обеспечивает проникновение этих растворов даже через грунты с малой проницаемостью. При соответствующем расположении электродов можно регулировать направление движения растворов.

Как и при способе электроосмоса, при электрохимическом упрочнении глинистых грунтов последние обрабатываются постоянным электрическим током через металлические электроды. Для анода применяются стальные или алюминиевые материалы, для катода - стальные, алюминиевые или медные материалы.

При электрохимическом закреплении глина теряет 30-40% влаги, и потом, будучи даже сильно увлажнённой, не изменяется и не разрушается.

Напряжение электрического тока и его плотность на 1 м² грунта принимают такими же, как и при электроосмосе.

Для электрохимического упрочнения затрачивают 10-15 суток. Жидкое стекло применяют с удельным весом 1,1-1,2 г/см³, а его расход составляет 8-10 кг на 1 м³ грунта. Раствор хлористого кальция в качестве коагулянта применяют 5-10-ти %-й, а его расход составляет 3-5 кг/м³ грунта.

Тема 10. СТРОИТЕЛЬСТВО СТВОЛОВ И СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА СПОСОБОМ БУРЕНИЯ.

4 ЧАСА

ПЛАН.

1. Сущность способа и область применения.
2. Буровые установки.
3. Технология строительства шахтных стволов способом бурения.
 - 3.1. Подготовительные работы.
 - 3.2. Буровые работы.
 - 3.3. Удаление разрушенной породы.
 - 3.4. Возведение постоянной крепи.
 - 3.5. Откачка балластной жидкости и гидроизоляционные работы.
 - 3.6. Армирование.

Л.1, с.266-310,
Л.3, с.3-284,
Л.5, с.190-205.

1. Сущность способа и область применения.

При проходке шахтных стволов в крепких горных породах обычным способом горнопроходческие операции (бурение шпуров, их взрывание, уборка взорванной породы, возведение постоянной крепи), связанные с большими затратами труда, циклично повторяются.

При бурении шахтных стволов все процессы в стволе высоко механизированы и выполняются не циклическим, а поточным способом, при котором может быть достигнута наибольшая скорость проходки ствола. Поэтому, строительство стволов шахт и скважин большого диаметра с помощью бурения является прогрессивным способом, при котором полностью механизуются и автоматизируются все процессы по разрушению и транспортированию породы, исключается присутствие рабочих под землёй, возможна проходка стволов в неустойчивых и сильно обводнённых породах.

Сущность способа бурения стволов и скважин большого диаметра заключается в том, что с помощью специальных буровых установок под защитой глинистого раствора, заполняющего выработку, осуществляются непрерывное разрушение горных пород с выдачей на поверхность за счёт циркуляции раствора. Порода в зависимости от её крепости разрушают резцами или шарошками, размещаемыми на бурах или расширителях буровых установок. Бурение осуществляется ступенями (в несколько фаз) до полного диаметра. Первоначально на полную глубину ствола бурится передовая скважина, которая затем сверху вниз постепенно расширяется в несколько этапов. После того, как выработка будет пробурена на проектную глубину требуемого диаметра, приступают к возведению постоянной крепи. На заключительном этапе откачивают глинистый раствор, тампонируют закрепное пространство, при необходимости ствол армируют.

В зависимости от диаметра выработки в свету существует следующая КЛАССИФИКАЦИЯ (в соответствии с нормативными документами):

- 1...4 м в диаметре - скважина большого диаметра;
- = и > 4 м в диаметре - ствол.

В настоящее время ещё существует целый ряд ПРОБЛЕМ, не решив которые нельзя говорить о дальнейшем прогрессе в области бурения стволов с поверхности земли.

Серьёзные препятствия для вращательного способа бурения стволов представляют включения валунов в несвязных горных породах, гравийно-галечниковые отложения, грубозернистые пески, а также карстовые горные породы, в которых возможна потеря циркуляции глинистого раствора.

Хрупкие, склонные к обрушению, горные породы бурят с временной металлической крепью, опускаемой в ствол на канатах с помощью лебёдки.

И к сожалению, пока ещё не создано надёжное и производительное буровое оборудование для бурения шахтных стволов в крепких породах. Что касается скважин большого диаметра (до 3 м), то отечественной и зарубежной практикой доказана эффективность их бурения при глубине 1000 м и более в мягких, средней крепости и крепких породах. Бурение же стволов (> 3 м) эффективно осуществляется современными буровыми установками только в мягких водоносных породах (или когда мощность крепких пород не превышает 10% общей мощности пересекаемых стволом неустойчивых горных пород). Тогда бурение успешно конкурирует с другими специальными способами.

При строительстве стволов в породах средней крепости технико-экономические показатели бурения в настоящее время ниже, чем при буровзрывном способе (стоимость 1 м ствола диаметром в свету 6 м, пройденного БВР, и скважины диаметром 3 м, пробуренной с поверхности, приблизительно равны). Однако имеется реальная возможность повысить эффективность бурения стволов в породах средней крепости и крепких за счёт совершенствования конструкции режущего инструмента, режимов бурения, конструкции и технологии возведения постоянной крепи. Решением этих вопросов занимается ряд организаций и институтов.

Способ бурения стволов с поверхности земли, как более выгодный, в последние годы находит всё большее распространение в Германии, США, Великобритании, Швеции и других странах. В нашей стране широко применяется бурение скважин большого диаметра при строительстве и реконструкции шахт для вентиляции, аварийных подъёмов и спуска материалов в шахту.

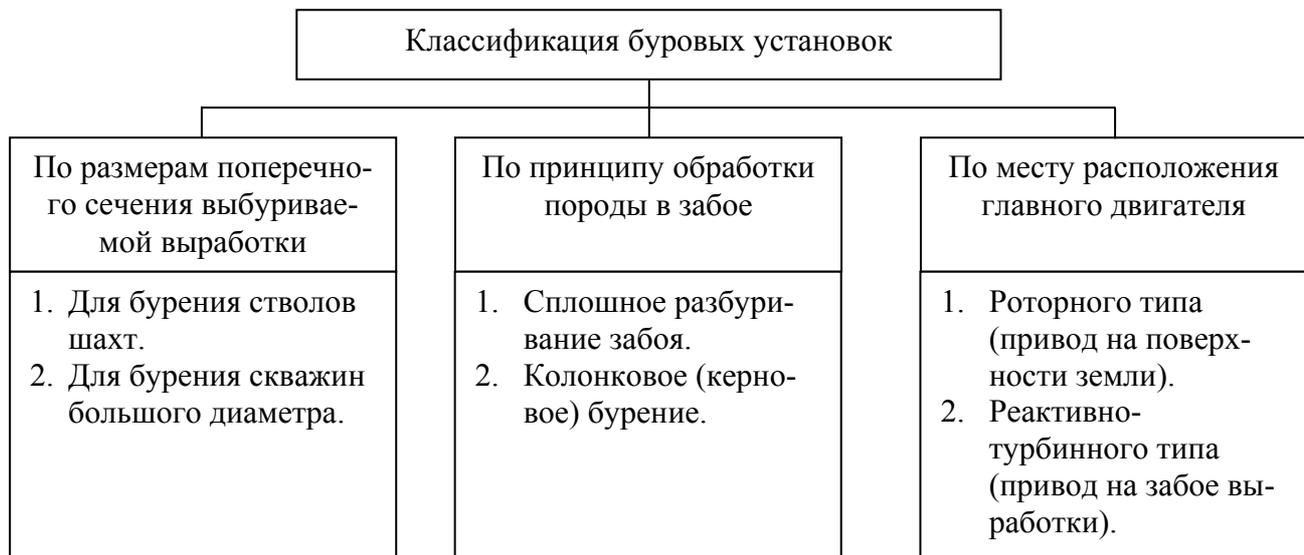
В своё время ГХК "Спецшахтобурение" (г.Донецк) успешно освоила бурение стволов и скважин диаметром 0,7...5,0 м и глубиной 200...1 200 м.

Таким образом, сооружение стволов и скважин большого диаметра бурением является весьма прогрессивным и технически наиболее совершенным способом производства работ, способным в недалёком будущем повысить производительность труда и скорость строительства стволов.

2. Буровые установки.

В основу классификации буровых установок заложен ряд конструктивных и технологических принципов (см. схему).

Следует отметить, что указанные принципы разделения буровых установок не являются догмой и нередко переплетается между собой.



Буровые установки типа РТБ предназначены для бурения вертикальных выработок диаметром от 0,5 до 6,2 м на глубину до 1200 м в породах крепостью до 12. В нашей стране получили наибольшее распространение.

Принцип работы установок РТБ следующий (плакат).

После проходки устья ствола и монтажа оборудования установки в ствол опускают буровую колонну вместе с забойным агрегатом. В качестве забойного агрегата используется реактивно-турбинный бур (РТБ) (рис.10.1).

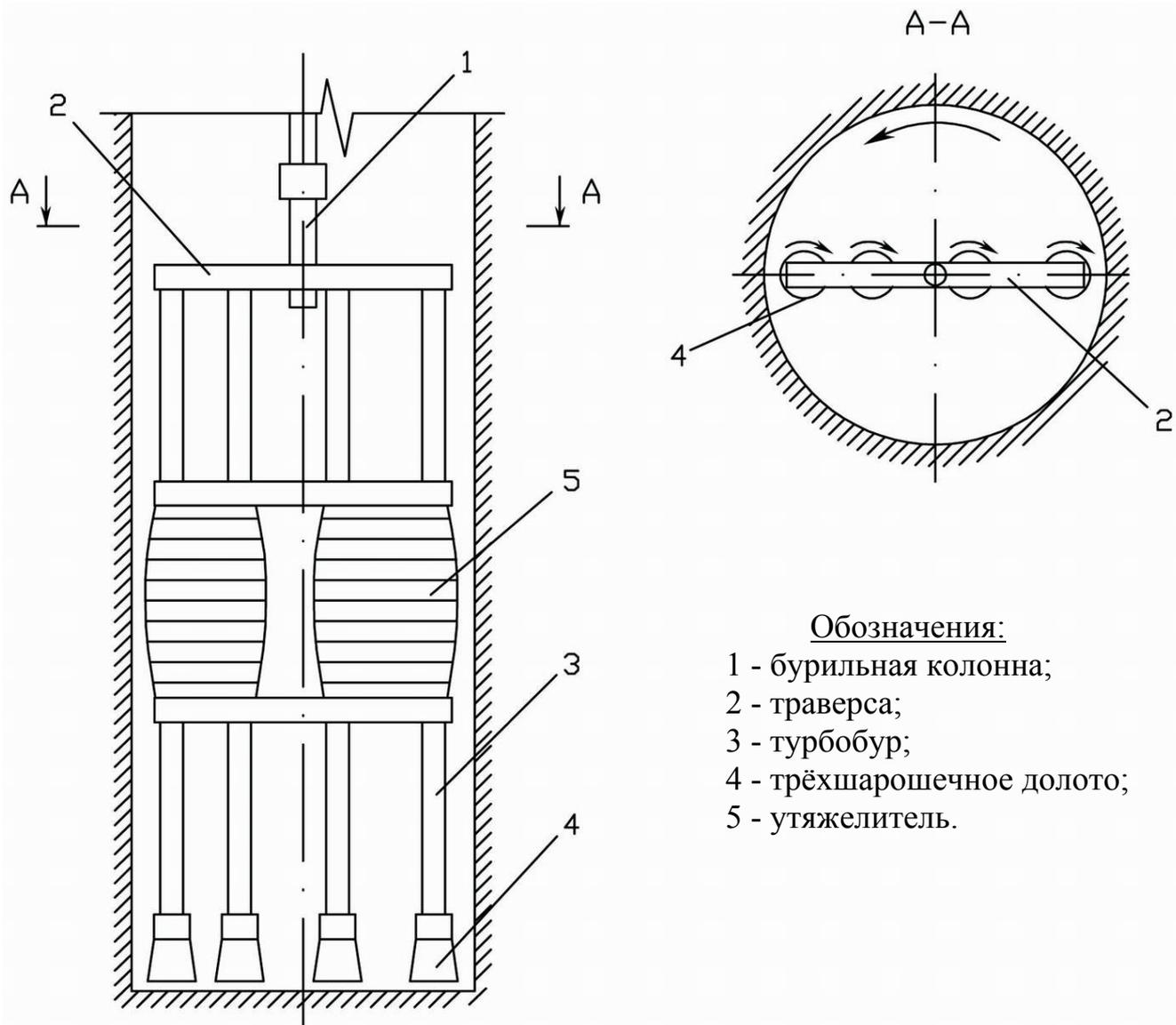
Агрегат РТБ представляет из себя жёсткую конструкцию, в которой в зависимости от диаметра бурения и типа установки соединены два, три, четыре или шесть турбобуров.

ТУРБОБУР представляет собой погружной гидравлический многоступенчатый (до 96 ступеней) турбинный вертикальный двигатель, преобразующий энергию потока промывочного раствора в механическую работу по разрушению горной породы трёхшарошечным долотом, укреплённым на валу турбины. Иными словами, в турбобурах гидравлическая энергия потока промывочной жидкости превращается в механическую, направленную на вращение долот.

Для вращения турбобуров с поверхности грязевыми насосами нагнетают промывочную жидкость через трубопровод, вертлюг, квадратную штангу и бурильную колонну в траверсу агрегата РТБ.

Из траверсы промывочная жидкость поступает в турбобуры и приводит во вращение вал каждого из них. Вместе с валом вращается и навинченное на нём долото. За счёт вращения турбобуров возникает реактивный момент, под действием которого весь агрегат вращается в противоположную сторону от движения валов турбобуров. Этим обеспечивается обуривание всей площади забоя ствола (скважины) (рис.10.1). Если величина реактивного момента недостаточна, то вращение агрегата РТБ производится с помощью ротора, расположенного на поверхности. Чтобы увеличить давление на забой ствола (скважины), рабочий орган снабжается утяжелителями. При реактивно-турбинном способе бурения отклонение скважины от вертикали меньше, чем при роторном.

Образовавшаяся в процессе бурения буровая мелочь выносится на поверхность промывочной жидкостью, в качестве которой чаще всего используется глинистый раствор. Он перекачивается 4-5-ю поршневыми насосами У8-4 или У8-6М. При бурении стволов и скважин небольшой глубины с использованием в качестве



Обозначения:

- 1 - бурильная колонна;
- 2 - траверса;
- 3 - турбобур;
- 4 - трёхшарошечное долото;
- 5 - утяжелитель.

Рис.10.1. Агрегат реактивно-турбинного бурения (РТБ).

рабочей жидкости технической воды могут применяться центробежные насосы ЦНС-300/600. Промывочную жидкость очищают от породной мелочи ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ, МЕХАНИЧЕСКИМ или КОМБИНИРОВАННЫМ способом. В первом случае раствор движется по желобам со скоростью 10-15 м/с, в результате чего из него выпадает буровая мелочь. Затем оставшиеся твёрдые частицы удаляют механическим или комбинированным способом на виброконвейерах, центрифугах, гидроциклонах и т.д. Очищенный раствор опять используют для промывки.

Установки типа РТБ комплектуются из серийно выпускаемого оборудования для бурения нефтяных скважин типа "Уралмаш 4Э-76", БУ-75БЭ и других (плакат).

Существует целый ряд установок РТБ, которые обеспечивают бурение скважин и стволов следующих диаметров: 1,02 - 1,17 - 1,26 - 1,3 - 1,56- 1,72 - 2,08 - 2,25 - 2,6 - 2,7 - 3,0 - 3,2 - 4,0 - 5,0 - 6,2.

ДОСТОИНСТВА РТБ: большая забойная мощность, передаваемая для разрушения породы, высокое контактное давление, достаточно высокие скорости бурения, возможность использования серийно выпускаемого оборудования для бурения нефтяных скважин.

СКОРОСТЬ БУРЕНИЯ зависит от горно-геологических условий, крепости пересекемых пород, диаметра ствола и других факторов. Технические скорости бурения установками РТБ изменяются от 40 до 130 м/мес.

Средняя СТОИМОСТЬ 1 м ствола диаметром 3,2 м – до 5 000 \$.

К роторным буровым установкам сплошного бурения относятся установки УЗТМ-8,75 (СССР), "Вирт – L-35"(Германия) (рис.10.2), "Зальцгиттер" (Германия), "Раздрилл-500" (США) и др.



Рис.10.2. Буровая установка WIRTH L-35: а) общий вид; б) исполнительный орган.

Установка Уральского завода тяжёлого машиностроения УЗТМ-8,75-800 предназначена для бурения стволов диаметром вчере до 8,75 м глубиной до 800м по породам крепостью по шкале проф. Протодьяконова до 4.

Бурение ведётся в две-четыре фазы в зависимости от крепости пород. После монтажа комплекса оборудования (плакат) приступают к бурению передовой скважины (пилот-скважина, первая фаза) диаметром 3 м при помощи бура соответствующего диаметра. Привод ротора передаёт вращение через квадратную штангу бурильной колонне и рабочему инструменту. При вращении бура шарошки перекатываются по забою и разрушают породу, которая выдаётся на поверхность промывочной жидкостью.

После окончания бурения передовой скважины на полную проектную глубину (а это, как правило, на 5 - 10 м глубже отметки ствола) и измерения отклонений её от вертикального положения, что позволяет принять меры к исправлению кривизны

ствола во второй фазе бурения, приступают к расширению передовой скважины последовательно в несколько приёмов с постоянным увеличением диаметра бура (расширителя) 3-5,75-7,5-8,75 м.

НЕДОСТАТКИ установки УЗТМ-8,75: большая масса и высокая стоимость, область применения ограничена породами неустойчивыми и малой крепости.

Техническая СКОРОСТЬ бурения установкой УЗТМ - 70 м/мес.

Снята с производства в 70-х годах, хотя существовала реальная перспектива усовершенствования установки.

Установки колонкового способа бурения обеспечивают выбуривание вертикальной кольцевой щели в массиве горной породы по периферии скважины (ствола) для образования колонки (керн) цилиндрической формы. Разрушается не более 30% породы, подлежащей выемке из ствола. Бурение кольцевой щели производится режущим инструментом - специальными резцами, шарошками, а также при помощи чугуновой или стальной дроби (дробовый колонковый способ).

По достижении проектной высоты колонки (для УКБ-3,6 - 8 м) она отделяется от массива, поднимается на поверхность земли и отвозится в отвал.

В буровых установках колонкового бурения слабое место - это устройство для отделения керна от массива горной породы, а также механизм надёжного его захвата с целью подъёма керна на земную поверхность.

Ещё один недостаток колонкового способа бурения - последовательность операций по бурению ствола и подъёму керна на поверхность земли, что резко снижает скорость проходки.

Проектный институт горного машиностроения ЦНИИподземмаш (г.Москва) разработал в своё время установки колонкового бурения УКБ-3,6 и УКБ-5 для бурения стволов диаметром 3,6 и 5 м (плакат и действующий макет). Установки не получили широкого распространения и были сняты с производства ввиду вышеперечисленных недостатков. Хотя идея разрушать породу не по всей площади забоя является перспективной, и при наличии финансирования научных разработок можно было бы усовершенствовать механизмы подрезки и захвата керна.

За рубежом (в отличие от нашей страны), начиная с семидесятых годов, наблюдается значительная активизация работ по созданию и использованию буровых установок для бурения шахтных стволов. В США, Германии, Японии, Швеции, Великобритании, Китае и других странах создано более 80 типов буровых установок, позволяющих бурить стволы шахт и скважины большого диаметра (от 1 до 8 м) на глубину до 1000 м в различных горно-геологических условиях как с поверхности земли, так и из существующей горной выработки.

Для бурения стволов с поверхности земли наибольшее распространение получили буровые установки фирм "Вирт" (Германия) L-35(рис.9.2), 35M, 35MP; L-40/4 и L-40/8 (диаметр 4 и 8 м соответственно), "Хьюз Тул" (США) CDS-300 (диаметр 6,1 м), "Роббинс" (США) 121 BR (диаметр 4,6 м) с электрогидравлическим приводом.

Бурение вертикальных выработок в подземных условиях в обязательном порядке предполагает наличие на нижнем горизонте горизонтальной выработки, из которой будет убираться традиционными методами порода от расширения передовой скважины.

Бурение в этом случае осуществляется в две и более фаз. Первоначально бурится пилот-скважина диаметром 200-400 мм, которая в дальнейшем расширяется на полное сечение в один или несколько этапов в направлении снизу вверх (схема "Рейз-боринг") или сверху вниз (схема "Тур-маг"). Наиболее широкое распространение получили буровые установки, работающие по первой схеме. При этом основная доля проходок в мире (около 70 %) приходится на применение буровых установок фирм "Роббинс" (США), "Атлас Копко" (Швеция) и "Вирт" (Германия). Все указанные фирмы выпускают машины, предназначенные для бурения в породах средней крепости и крепких с гидроприводом или электроприводом переменного или постоянного тока. Эти установки легко разбираются на модули размерами до 3,5 м и весом до 5-10 т, что обеспечивает возможность транспортировки по горным выработкам шахты или рудника.

Скорость бурения различна для разных пород и разных диаметров. Например, на одном из рудников Германии вентиляционный ствол диаметром 5 м по породам крепостью $f=15-18$ был пробурен со скоростью 4 м/сутки.

3. Технология строительства шахтных стволов способом бурения.

Технология строительства стволов с применением способа бурения включает в себя: подготовительные работы, разрушение породы буровым инструментом, очистку забоя ствола от разрушенной породы, возведение постоянной крепи, гидроизоляционные работы, армирование ствола.

3.1. Подготовительные работы.

До начала буровых работ на земной поверхности выполняются некоторые работы по подготовке ствола к бурению:

1. Сооружается устье ствола на проектную глубину (определяется мощностью наносов и длиной технологической части ствола) с креплением бетоном или железобетоном. Воротник устья делается особо массивным, так как будет являться фундаментом под буровую установку.

2. Монтаж перекрытия устья и самоходных платформ большой грузоподъемности, козлового крана с подкрановой площадкой в непосредственной близости от устья.

3. Монтаж буровой установки крупными узлами: постамент, вышка, роторный привод, подъёмная лебёдка, талевая система и другое буровое оборудование.

4. Строительство необходимых зданий и сооружений: для приготовления и очистки промывочного раствора, компрессоров высокого давления, механических мастерских, АБК и другие.

5. Прокладка электрических, водопроводных, воздухопроводных, растворопроводных, теплопроводных и других сетей.

6. Устройство на объекте транспортных дорог и площадок из ж/б плит.

3.2. Буровые работы.

В зависимости от принципа разработки породы в забое различают бурение стволов и скважин на полное сечение и керновое бурение.

При сплошном разбурировании породы бурение ведётся в несколько фаз. Первоначально на полную глубину ствола бурят передовую скважину небольшого диа-

метра. В дальнейшем скважину постепенно разбуривают сменными расширителями до проектных размеров ствола. Бурение передовой скважины должно вестись особо тщательно, так как она выполняет ряд важных функций, в том числе:

- 1) детальную разведку геологического строения пород по всей глубине;
- 2) задание направления при бурении ствола расширителями;
- 3) увеличение контактного давления бурового инструмента на забой;
- 4) тампонаж трещиноватых пород и другие функции.

В зарубежной практике при бурении стволов на полное сечение применяются 10 и более фаз с расширителями открытого типа (выигрыш в скорости бурения и проигрыш в количестве смен бурового инструмента). В нашей стране практикуют две - четыре фазы с применением расширителей закрытого типа (выигрыш и проигрыш - наоборот).

При керновом разбуривании породы бурение ведётся в одну фазу сразу на проектный диаметр. Размеры керна по высоте определяются диаметром выработки и грузоподъёмностью талевого системы буровой установки. Керн после подрезки у основания отрывается от массива и вместе с буровым инструментом выдаётся на поверхность земли. После этого керн отвозится в отвал, а буровой инструмент используется для выбуривания следующего керна. Разрушенная при бурении порода удаляется при помощи бурового раствора, постоянно циркулирующего в выработке.

В зависимости от крепости пород применяются следующие виды кернового бурения:

1. *Резцовое* - в слабых породах. Разрушение породы - резцами, подрезка керна - подрезными канатами, оснащёнными резцами.

2. *Шарошечное* - в крепких породах. Разрушение породы - проходными шарошками, подрезка керна - подрезными шарошками.

3. *Дробовое* - в особо крепких породах. Разрушение породы при помощи стальной дроби, которая подаётся по трубам в нижнюю часть полого цилиндра, выполненного из мягкого чугуна. Дробь, врезаясь в чугун, удерживается в нём и при вращении бурового инструмента разрушает породу. Подрезка керна - при помощи кумулятивного взрывания зарядов ВВ, расположенных в нижней части бурового инструмента равномерно по периметру.

3.3. Удаление разрушенной породы.

Бурение стволов и скважин большого диаметра осуществляется при постоянной циркуляции в выработке **промывочной жидкости**, которая одновременно выполняет несколько ФУНКЦИЙ:

1) очистка забоя от разрушенной породы и вынос её из ствола на поверхность (транспортная функция);

2) создание в стволе гидростатического давления, противодействующего давлению горных пород, предупреждающего обвалы, оползни, оплывания и размывы стен ствола как во время бурения, так и во время крепления (функция временной крепи);

3) уравнивание гидростатического напора подземных вод, образование на породных стенках водонепроницаемой глинистой плёнки, которая препятствует фильтрации воды и газа в ствол (гидроизоляционная функция);

- 4) охлаждение и смазка бурового инструмента во время работы (охлаждающая и смазывающая функция);
- 5) облегчение веса бурового оборудования в стволе - бурильной колонны и исполнительного органа (облегчающая функция);
- 6) вращение агрегатов РТБ.

Различают три схемы промывки: ПРЯМУЮ, ОБРАТНУЮ и СОВМЕЩЁННУЮ.

При прямой схеме промывки циркуляция промывочной жидкости осуществляется по следующей схеме (рис.10.3, плакат).

Насос из ёмкости засасывает промывочную жидкость и по трубопроводу через вертлюг и буровую колонну нагнетает её в бур. Выходя из бура через сопла, промывочная жидкость омывает забой, смывая разрушенную породу, и, подхватывая её, поднимается по стволу на поверхность. На поверхности жидкость по желобам поступает в отстойники, где разрушенная порода выпадает в осадок. Очистка раствора от более мелких фракций осуществляется в гидроциклонах. Очищенная жидкость вновь засасывается насосами и цикл движения промывочного раствора повторяется.

Прямая схема промывки применяется там, где обеспечивается высокая скорость движения раствора по стволу или скважине, что позволяет удерживать во взвешенном состоянии частицы разрушенной породы (агрегаты керна бурения, а также передовая скважина при бурении установками сплошного разбуривания забоя).

ДОСТОИНСТВО: хорошее омывание шарошек и забоя.

НЕДОСТАТКИ: 1) малая, недостаточная скорость восходящего потока и, как следствие, невозможность выноса крупных разбуренных частиц;
2) необходимость применения мощного насосного оборудования.

Минимально допустимая скорость восходящего потока при бурении стволов с прямой промывкой - 0,15 м/с. При этом наблюдается вынос частиц размером не более 3-5 см.

При обратной схеме промывки циркуляция промывочной жидкости осуществляется по следующей схеме (рис.10.3, плакат).

Промывочная жидкость из ёмкости по желобам поступает в ствол и перемещается вниз в призабойную зону. Омыв буровой инструмент и забой ствола, раствор вместе с разбуренной породой поступает в буровую колонну, в которую через став труб на определённую глубину подаётся сжатый воздух высокого давления. Воздух, смешиваясь с промывочной жидкостью, снижает её плотность (с 1,1-1,2 г/см³ до 0,65-0,8 г/см³). В результате разности плотностей промывочной жидкости в буровой колонне и в стволе образовавшаяся породовоздушная эмульсия по закону сообщающихся сосудов поднимается по буровой колонне вверх и через тройник изливается по трубопроводу в отстойник.

Для нормальной работы эрлифта диаметр буровой колонны должен быть не менее 250 мм, диаметр воздушного става труб - 50-100 мм. Расход воздуха составляет от 15 до 50 м³/мин, давление 2-2,5 МПа, производительность эрлифта - 700-1000 м³/час, скорость восходящего потока - до 4 м/с.

Обратная схема промывки применяется в установках сплошного разбуривания забоя или РТБ при расширении передовой скважины.

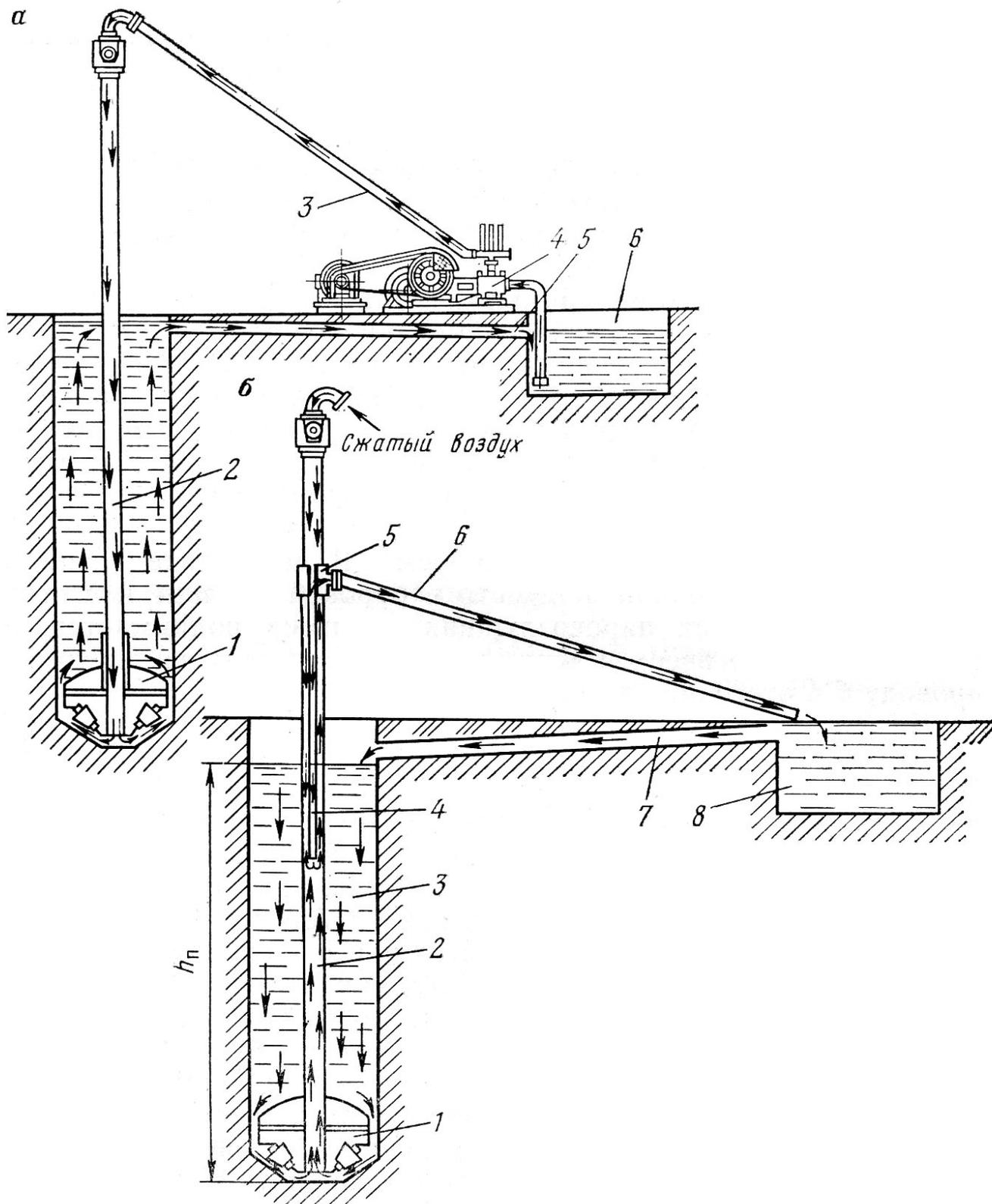


Рис.10.3. Схемы промывки при бурении стволов и скважин большого диаметра:

а) **прямая**: 1 – буровой инструмент (бур);
 2 – буровая колонна; 3 – нагнетательный трубопровод; 4 – промывочный насос; 5 – желоб; 6 – ёмкость с раствором.

б) **обратная**: 1 – буровой инструмент (бур);
 2 – буровая колонна; 3 – пробуренный ствол; 4 – трубопровод сжатого воздуха; 5 – тройник; 6 – переливной трубопровод; 7 – желоб; 8 – отстойник.

ДОСТОИНСТВО: высокая скорость движения промывочной жидкости в буровой колонне, что обеспечивает вынос крупных кусков породы массой до 10кг.

НЕДОСТАТОК: радиальное направление движения промывочной жидкости в призабойной зоне, что приводит к повторному дроблению разбуренной породы и образованию "сальников" на шарошках.

Совмещённая схема промывки объединяет достоинства прямой и обратной схем (плакат).

При совмещённой схеме применяют двойную буровую колонну. Из ёмкости насосом промывочная жидкость нагнетается в вертлюг и далее по кольцевому зазору между внутренней и внешней колоннами подаётся к насадкам бурового инструмента. Выходя из насадок, жидкость омывает шарошки и забой. Промывочная жидкость вместе с разрушенной породой поднимается по внутренней колонне за счёт подачи в неё сжатого воздуха по дополнительному воздушному ставу. На поверхности земли промывочная жидкость отделяется на тройнике и по трубопроводу изливается в отстойник.

НЕДОСТАТКИ: 1) сложность конструкции двойной буровой колонны; 2) увеличение времени спуско-подъёмных операций; 3) высокая стоимость промывки.

Также, кроме рассмотренных выше, могут применяться и другие схемы промывки. Например, **схема со специальной пульпо-эрлифтной боковой скважиной** (плакат "УРТБ-6,2"). Здесь вначале применяется прямая схема промывки: нагнетание раствора к забою, спуск вниз вместе с разрушенной породой по пилот-скважине и подъём эрлифтом по боковой скважине на поверхность в систему очистки.

ДОСТОИНСТВА: 1) хорошая очистка забоя от разрушенной породы; 2) высокая скорость подъёма промывочной жидкости.

НЕДОСТАТКИ: 1) необходимость бурения дополнительной скважины; 2) сложность сбойки боковой скважины с пилот-скважиной.

При бурении скважин агрегатами РТБ диаметром 2,6-3,6 м часто применяют **периодическую схему промывки**. При этом 2-3 часа бурят с прямой схемой. Затем бурение останавливают и на 1-1,5 час включают эрлифт и интенсивно промывают забой по обратной схеме. После этого вновь возобновляют бурение скважины с применением прямой схемы.

В качестве **промывочной жидкости** используются **ГЛИНИСТЫЙ РАСТВОР** и реже **ТЕХНИЧЕСКАЯ ВОДА** (при бурении на небольшие глубины в устойчивых породах).

Качество глинистого раствора зависит от степени дисперсности и минералогического состава глины, химического состава воды, наличия химических реагентов и характеризуется следующими показателями: стабильностью (способность удерживать твёрдые частицы во взвешенном состоянии), тиксотропностью (подвижность раствора при движении и загустевание в спокойном состоянии), плотностью (1,1-1,45 г/см³), вязкостью раствора (по СВП-5 18-30 с), водоотдачей (10-20 см³ за 30 минут), статическим напряжением сдвига СНС=1-2,5 Па.

Для приготовления раствора применяются натриевые тонкодисперсные глины с содержанием песчаных частиц не более 3%. Для нормальных растворов средний расход глины составляет 0,33-0,35 т/м³.

3.4. Возведение постоянной крепи.

Возведение постоянной крепи в стволах и скважинах большого диаметра, сооружённых бурением, имеет свои *специфические особенности*:

- 1) постоянная крепь возводится после окончания бурения ствола (скважины) конечным диаметром до проектной глубины;
- 2) возведение крепи осуществляется с нулевой отметки;
- 3) в процессе производства работ ствол постоянно заполнен промывочной жидкостью;
- 4) после установки крепи в стволе производится тампонаж закрепного пространства с последующей откачкой из ствола промывочной жидкости.

Эти специфические условия возведения выдвигают ряд дополнительных *требований к конструкции крепи*:

- 1) крепь должна обладать достаточной устойчивостью и высокой водонепроницаемостью, особенно при возведении погружным способом (на плаву);
- 2) крепь должна воспринимать не только эксплуатационные нагрузки (горное и гидростатическое давление со стороны породного массива), но и дополнительные, возникающие в процессе возведения, **МОНТАЖНЫЕ НАГРУЗКИ**;
- 3) крепь должна возводиться в выработках, имеющих отклонение от вертикали, нередко значительное;
- 4) крепь должна иметь минимально допустимую толщину и соответствовать диаметру выработки в бурении;
- 5) крепь должна обеспечивать низкое аэродинамическое сопротивление выработки и возможность армирования;
- 6) составные части крепи и её отдельные элементы должны иметь небольшие массу и габаритные размеры;
- 7) крепь должна обеспечивать возможность механизации работ по её возведению с высокой производительностью труда и надёжностью.

Для крепления стволов, пройденных бурением, и скважин большого диаметра в нашей стране и за рубежом известны следующие *виды крепи*:

- стальные, чугунные и железобетонные кольца;
- сталебетонная крепь (внутренняя и наружная обечайки с бетоном между ними);
- чугунные и железобетонные тубинги;
- монолитный бетон и железобетон;
- набрызгбетон (в крепких породах).

При выборе вида крепи основными определяющими факторами являются их грузонесущая способность и стоимость. При бурении стволов по водоносным породам, содержащим агрессивные воды, имеют значение антикоррозийные свойства и водонепроницаемость крепи. Во многих случаях наиболее эффективной являются крепь из ж/б колец и сталебетонная крепь. Перспективной представляется крепь из монолитного бетона или железобетона, технология возведения которых разработана НИИОМШСом.

Существуют следующие СПОСОБЫ возведения постоянной крепи в стволах, пройденных бурением (рис.10.4):

Погружной способ возведения постоянной крепи (на плаву) осуществляется следующим образом (рис.10.4, плакат).

1. ПОГРУЖНОЙ СПОСОБ (на плаву)

2. СЕКЦИОННЫЙ СПОСОБ

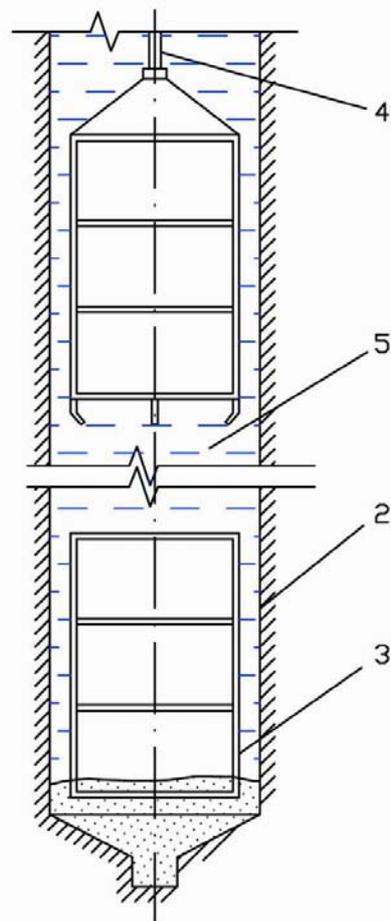
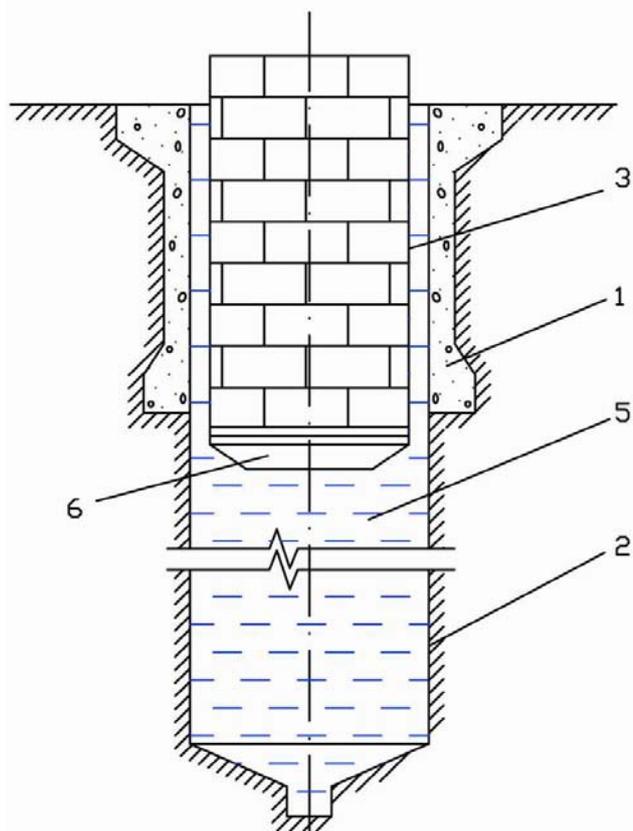


Рис.10.4. Способы возведения постоянной крепи в стволах, сооружённых бурением.

1 – устье ствола; 2 – пробуренный ствол; 3 – крепь из сборных элементов; 4 – буровая колонна; 5 – промывочный раствор; 6 – герметичное днище.

По окончании бурения ствола производят измерение его вертикальности. В случае обнаружения неровностей по стенам ствола их исправляют, и только после этого приступают к креплению. Вначале на раздвижных платформах монтируют герметичное днище, предназначенное для придания плавучести крепи. На днище собирают участок постоянной крепи определённой длины (чаще всего - 5м). Днище с крепью подают к стволу и при помощи буровой лебёдки опускают в устье ствола, заполненное глинистым раствором, до тех пор, пока крепь не начнёт плавать. Часть промывочного раствора при этом изливается из ствола в отстойник. После этого на платформе собирают и наращивают следующее звено высотой 3-5 м. Его также подают к стволу и соединяют с ранее опущенной крепью. По мере наращивания крепи она постоянно погружается в ствол. Так как для погружения собственного веса крепи недостаточно, то внутреннее пространство колонны постепенно заполняют балластной жидкостью (обычно глинистым раствором или просто водой). После возведения крепи на всю глубину ствола закрепное пространство заполняют тампонаж-

ным раствором методом подводного бетонирования восходящим потоком через 6-8 ставов труб.

Погружная крепь на плаву, в отличие от обычной, рассчитывается не только на горное давление, но и проверяется на монтажные нагрузки, возникающие в процессе погружения, которые могут быть гораздо выше.

ДОСТОИНСТВА:

- 1) монтаж всех элементов крепи производится с земной поверхности;
- 2) хорошее качество крепи (одна герметичная колонна, нет изолированных стыков между отдельными звеньями крепи). После откачки балластной жидкости притоки воды в ствол, как правило, незначительны и не требуется дополнительной гидроизоляции.

НЕДОСТАТКИ:

- 1) большие монтажные нагрузки при креплении стволов глубиной свыше 150-200 м вызывают необходимость применения весьма прочных и дорогостоящих металлических крепей;
- 2) зазор между крепью и породой должен быть как минимум 0,3 м, что уменьшает диаметр ствола на 0,6 м;
- 3) необходимость в связи с этим выполнения тампонажных работ за крепью в больших объёмах, что приводит к увеличению стоимости и продолжительности работ.

Данный способ наиболее целесообразен при креплении стволов в слабых неустойчивых породах, в которых ожидаемое горное давление на крепь будет больше, чем монтажные нагрузки при возведении крепи.

Средняя скорость погружения крепи 15-25 м/сутки, а средняя скорость крепления с учётом подготовительных работ и тампонирувания -4-6 м/сутки.

Секционный способ возведения постоянной крепи заключается в следующем (рис.10.4, плакат).

СУЩНОСТЬ: в стволе, заполненном глинистым раствором, крепь возводится в направлении снизу вверх отдельными секциями высотой 5-20 и более метров (в зависимости от веса секции) с тампонируванием закрепного пространства сразу после установки очередной секции.

Организация работ по спуску секций зависит от типа буровой установки и материала крепи. Например, при металлической стальной крепи секции монтируют из отдельных звеньев высотой около 5 м. Их сваривают между собой в устье ствола на высоту одной секции. В верхнем звене монтируют прицепное устройство, и на буровых трубах секцию опускают в ствол. Соосную стыковку отдельных секций в стволе производят при помощи направляющих кронштейнов или конусной формы днища из монолитного бетона или центрирующих устройств. После спуска каждой секции крепи закрепное пространство тампонируют. Для этого после стыковки через бурильную колонну и прицепное устройство, снабжённое 3-4-мя шлангами, в закрепное пространство нагнетают тампонажный раствор в расчётном объёме. По окончании этой операции прицепное устройство выводят из зацепления и поднимают на поверхность.

ДОСТОИНСТВА:

- 1) незначительные монтажные нагрузки;
- 2) малые зазоры между крепью и породными стенами ствола.

НЕДОСТАТКИ:

- 1) водопроницаемость крепи ввиду наличия большого количества неуплотнённых стыков между секциями, а также вследствие смещения одной секции относительно другой;
- 2) невозможность обеспечения качественного тампонирувания из-за прерывности этого процесса;
- 3) сложность работ ввиду многочисленных операций, чередующихся во времени.

Данный способ в основном применяется для крепления скважин большого диаметра, где в качестве крепи используются герметичные металлические обечайки, собираемые перед спуском в плети длиной до 50 м.

Средняя скорость возведения постоянной крепи секционным способом -10-25 м/сутки, а с учётом подготовительных работ и тампонирувания -2-10 м/сутки.

3.5. Откачка балластной жидкости и гидроизоляционные работы.

После возведения постоянной крепи ствол всё ещё заполнен промывочной или балластной жидкостью. Для выполнения последующих работ в стволе необходимо эту жидкость откачать. **Откачка** жидкости может быть произведена:

1. Сразу на всю глубину.
2. Отдельными заходками (ступенями).

Первый способ применяется в герметичных крепях (когда крепь погружалась на плаву), а второй - в стволах с ограниченной грузонесущей способностью крепи и большими притоками воды. По второму способу после откачки жидкости в пределах очередной ступени производят контрольный тампонаж и гидроизоляцию крепи.

Балластную жидкость из ствола откачивают при помощи желонки, эрлифта, насосов или их комбинаций. При использовании эрлифта в стволе на всю глубину монтируют став труб диаметром 200-250 мм или буровую колонну, в которые опускается став воздушных труб диаметром 50-75 мм. При откачке жидкости насосами применяются подвесные (ВП-3, ППН-50), горизонтальные (4МС), установленные на подвесном полке, и глубинные (АПТ-80х450 и др.) насосы. При применении насосов для откачки вязкой промывочной жидкости она предварительно должна быть разбавлена водой.

Откачку насосами целесообразно применять в стволах со значительным притоком воды через крепь (30-50 и более м³/час).

Гидроизоляционные работы проводятся с целью стабилизации и закрепления пород вокруг выработки, обеспечения равномерной нагрузки на крепь, придания крепи герметичности, а также исключения гидравлической связи отдельных водоносных горизонтов между собой. Работы проводятся в два этапа:

1. Тампонирувание цементным раствором кольцевого пространства между крепью и породой.
2. Контрольный тампонаж пород после откачки балластной жидкости.

Первый этап осуществляется сразу вслед за возведением постоянной крепи и уже рассмотрен в п.3.4. При этом при укладке тампонажного раствора восходящим потоком для надлежащего качества крепи крайне важно, чтобы нижние концы тампонажных труб постоянно находились на 1-1,5 м в тампонажном растворе.

КОНТРОЛЬНЫЙ ТАМПОНАЖ ведётся с подвешенного полка заходками высотой 3-4 м в направлении сверху вниз. По мере откачки балластной жидкости и очистки крепи с нижнего этажа полка в породу через специальные отверстия в крепи на глубину 1,5-2 м бурятся шпур-скважины. В водоносных породах бурение осуществляется через превенторы. С верхнего этажа полка нагнетают тампонажный раствор с помощью цементационных насосов типа НГ, НГР, НЦ, ЗИФ и другие. Для нагнетания используются чистые цементные растворы состава 1:0,6 и 1:1 или цементно-песчано-глинистые растворы состава 1:1:1. Давление нагнетания тампонажных растворов не должно превышать расчётной нагрузки на крепь.

3.6. Армирование.

Стволы и скважины большого диаметра, пройденные бурением, используются, как правило, для улучшения проветривания действующих шахт и эксплуатируются без подъёмных установок. Однако, в последнее время появилась необходимость некоторые пробуренные выработки оборудовать клетевым или аварийным подъёмом, для чего их необходимо заармировать.

Армирование стволов, пройденных бурением, сопряжено с определёнными сложностями, обусловленными малыми диаметрами и отклонениями от вертикали. Это требует применения подъёмных сосудов индивидуального изготовления, разработки нестандартных конструкций армировки и узлов крепления расстрелов к стенкам ствола.

Армировка может быть канатная и жёсткая (расстрелы и проводники).

При КАНАТНОЙ АРМИРОВКЕ вследствие больших искривлений стволов используются специальные обтекаемые подъёмные сосуды и устанавливаются отклоняющие ролики для всех канатов.

При ЖЁСТКОЙ АРМИРОВКЕ используются центральные или консольные расстрелы, кронштейны крепления которых привариваются к стальной обечайке крепи на поверхности в процессе формирования колонны. Узлы крепления проводников обеспечивают возможность регулирования положения проводников в сечении ствола.

Для крепких устойчивых пород институтом НИИОМШС разработана новая *технология одновременного крепления и армирования ствола*. По этой технологии все работы ведутся с подвешенного полка вслед за откачкой промывочной жидкости заходками по 12,5 м (на длину проводника). Стены ствола крепятся набрызгбетоном толщиной 80-150 мм. После нанесения первого слоя набрызгбетона, установки анкеров длиной 0,5-1,6 м и навески на них металлической сетки производятся установка расстрелов и нанесение последующих слоёв набрызгбетона. Расстрелы устанавливаются в проектное положение при помощи специального шаблона и крепятся анкерами к стенкам ствола. Одновременно устанавливаются другие металлоконструкции (лестничного отделения, опорные под трубопроводы и кабели). Навеска рельсовых проводников может производиться как по последовательной схеме после крепления стен ствола и монтажа всех расстрелов с армировочной люльки в направлении снизу вверх, так и по совмещённой схеме сразу вслед за монтажом расстрелов со специальных люлек-лестниц.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Насонов И. Д. Технология строительства горных предприятий : специальные способы строительства / И. Д. Насонов, М. Н. Шуплик, В. И. Ресин. – Москва : Недра, 1990. – 350 с.
2. Шахтное и подземное строительство : учеб. для вузов : в 2-х т. Т.1 / Б. А. Картозия [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : МГГУ, 2003. – 732 с.
3. Левит В.В., Пилипец В.И. Сооружение стволов бурением: Учеб. пособие. – Донецк: Норд-пресс, 2008. – 286 с.
4. Малинин, А. Г. Струйная цементация грунтов / А. Г. Малинин. – Пермь : Пресстайм, 2007. – 168 с.
5. Пшеничный, Ю. А. Конспект лекций по дисциплине “Технология сооружения горных выработок в сложных горно-геологических условиях (Специальные способы строительства)” / Ю. А. Пшеничный, В. В. Левит. – Донецк : Лебедь, 1997. – 220 с.
6. Гузеев, А. Г. Технология строительства подземных сооружений / А. Г. Гузеев, А. Г. Гудзь, А. К. Пономаренко. – Киев : Вища шк., 1986. – 320 с.
7. Справочник по сооружению шахтных стволов специальными способами / В. В. Давыдов [и др.] ; под общ. ред. Н. Г. Трупака. – Москва : Недра, 1980. – 392 с.
8. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт : учеб. пособие / Э. Я. Кипко ; под общ. ред. Э. Я. Кипко. – Днепропетровск : НГУ, 2004. – 368 с.
9. Справочник инженера-шахтостроителя : в 2-х т. / под общ. ред. В. В. Белого. – Москва : Недра, 1983. Т. 1. – 439 с., Т. 2. – 423 с.
10. Правила безопасности в угольных шахтах – Донецк: Минуглеэнерго, 2016, – 217 с.
11. СНиП 3.02.03-84. Подземные горные выработки. – М.: Стройиздат, 1985. – 15 с.
12. Руководство по производству работ способом опускной крепи в тиксотропной рубашке при проходке вертикальных стволов шахт и сооружений неглубокого заложения / З.Ш. Мустафин [и др.] – Донецк, 1993.

СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1.	Введение. Общие положения. Классификация специальных способов (2 часа)	4
Тема 2.	Строительство вертикальных горных выработок при помощи шпунтовых ограждений (2 часа)	12
Тема 3.	Строительство вертикальных горных выработок способом «стена в грунте» (2 часа)	20
Тема 4.	Строительство подземных сооружений способом струйной цементации (2 часа)	28
Тема 5.	Строительство вертикальных горных выработок при помощи опускной крепи (4 часа)	40
Тема 6.	Строительство горных выработок под сжатым воздухом (кессонный способ) (2 часа)	53
Тема 7.	Строительство горных выработок с использованием водопонижения (2 часа)	62
Тема 8.	Строительство горных выработок с использованием замораживания горных пород (14 часов)	70
8.1.	Научно-технические основы способа замораживания горных пород (2 часа)	70
8.2.	Теоретический расчет процесса замораживания горных пород (2 часа)	78
8.3.	Создание ледопородных ограждений (4 часа)	85
8.4.	Технология строительства вертикальных стволов с использованием замораживания пород (4 часа)	104
8.5.	Строительство горизонтальных и наклонных горных выработок с использованием замораживания пород (2 часа)	121
Тема 9.	Строительство горных выработок с использованием тампонирувания горных пород (14 часов)	128
9.1.	Основные сведения о способе тампонирувания (2 часа)	128
9.2.	Исходные данные для проектирования процесса тампонажа (2 часа)	135
9.3.	Проектирование тампонажных работ (2 часа)	143
9.4.	Растворы и оборудование для тампонирувания (2 часа)	154
9.5.	Производство тампонажных работ при строительстве вертикальных стволов (4 часа)	164
9.6.	Производство тампонажных работ при строительстве горизонтальных и наклонных выработок (1 час)	185
9.7.	Электроосушение и электроупрочнение грунтов (1 час)	190
Тема 10.	Строительство стволов и скважин большого диаметра с использованием способа бурения (6 часов)	192
Список использованной литературы		207

Общий объем лекционного материала – 50 часов