

А.П. МАКСИМОВ, В.В. ЕВТУШЕНКО

621.25

М 17

# ТАМПОНАЖ ГОРНЫХ ПОРОД



622.25

37508

М 17

Максимова.

Тампонаж горных пород

Книга должна быть возвращена не  
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выдач \_\_\_\_\_

18/IV-154

8/VIII-392

4/IX-86-147

4/X-87-6

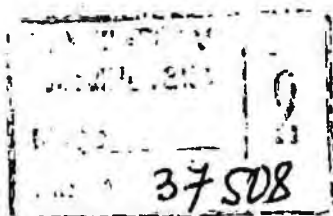
2005

62.2.25

M17

А. П. МАКСИМОВ  
В. В. ЕВТУШЕНКО

# ТАМПОНАЖ ГОРНЫХ ПОРОД



МОСКВА • НЕДРА • 1978

Максимов А. П., Евтушенко В. В. Тампонаж горных пород. М., «Недра», 1978. 180 с.

В книге изложены горнотехнические условия, цели и область применения тампонажа горных пород. Рассмотрен состав тампонажных растворов, даны рекомендации по выбору способа, определению основных параметров процесса и контролю качества тампонажных работ. Освещены вопросы отжима воды из цементных, цементно-песчаных и глинистых растворов вследствие давления нагнетания, а также влияния минерализации подземных вод на свойства и выбор добавок-активаторов. Приведена методика ускоренного подбора и исследований цементных и цементно-песчаных растворов. Изложена технология приготовления тампонажных растворов, описано тампонажное оборудование. Обобщен опыт практического применения предварительного и последующего тампонажа с целью водоподавления в шахтных стволах и горизонтальных выработках, а также как средства повышения устойчивости выработок.

Книга предназначена для инженерно-технических работников горнодобывающей промышленности.

Табл. 21, ил. 69, список лит. — 30 назв.



## ВВЕДЕНИЕ

Рост производственных мощностей горнодобывающей промышленности в нашей стране осуществляется как за счет реконструкции действующих предприятий, так и за счет строительства новых шахт и рудников. В последнем случае значительный удельный вес занимает освоение новых месторождений, которые нередко характеризуются сложными горно-геологическими условиями.

При строительстве и эксплуатации горных предприятий в сложных гидро-геологических и инженерно-геологических условиях возникает необходимость в применении специальных способов сооружения горных выработок.

Затруднения при сооружении и эксплуатации выработок в большинстве случаев связаны с притоками подземных вод или газов и наличием слабых неустойчивых боковых пород.

Большие притоки воды или газа в горные выработки приводят к ухудшению санитарно-гигиенических условий труда, снижению скорости и повышению стоимости горнопроходческих работ, увеличению расходов на водоотлив и ремонтные работы как в процессе сооружения выработок, так и во время их эксплуатации. Данные практики горнопроходческих работ показывают, что при притоках воды в ствол 80—100 м<sup>3</sup>/ч средняя скорость проходки их не превышает 7—8 м/мес, а стоимость горнопроходческих работ увеличивается в 4—5 раз по сравнению с проходкой ствола в породах с малым водопритоком.

При проходке выработок по газоносным породам встреча с суфлярными выделениями газа требует применения трудоемких и дорогостоящих мер предосторожности для того, чтобы обеспечить безопасные условия горных работ. Большие притоки воды или газа при сооружении выработок затрудняют, а в отдельных случаях — исключают применение современной горнопроходческой техники.

Одним из наиболее распространенных и сравнительно недорогих методов борьбы с притоком воды и газа в выработки и является тампонаж горных пород. Тампонаж, как известно, заключается в заполнении трещин и пустот в породах, окружающих выработку, отверждающимися или коагулирующими растворами, в качестве которых могут быть использованы: тампонажные растворы на основе цемента; глинистые растворы; расплавленные битумы с присадками; отверждающиеся химические растворы.

Наиболее широкое применение в настоящее время находят тампонажные растворы на основе цемента, что обусловлено сравнительной дешевизной метода и достаточной надежностью результатов. Можно считать, что и в ближайшей перспективе тампонажные растворы на основе цемента будут занимать в подземном строительстве преобладающее положение.

Обладая рядом неоспоримых преимуществ, метод цементации получил широкое распространение как эффективное средство борьбы с водой при сооружении подземных выработок в крепких связных породах.

Цементация как средство борьбы с метановыделением была впервые у нас применена в 1956 г. на шахте «Мария-Глубокая». При проходке вентиляционного ствола на глубине 736 м из трещиноватого песчаника, подстилающего угольный пласт, начал интенсивно выделяться метан под давлением 23 кгс/см<sup>2</sup>. Дальнейшая проходка ствола была прекращена на 10 мес. После цементации содержание метана в забое снизилось до 0,2%, что позволило возобновить горнопроходческие работы.

С развитием подземного строительства расширяется как ассортимент тампонажных растворов, так и область применения тампонажа, в частности, тампонаж закрепного пространства оказался эффективным средством повышения устойчивости подземных выработок в сложных горно-геологических условиях.

## Глава I

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

#### § 1. ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТАМПОНАЖА

Применение тампонажа при строительстве подземных сооружений связано, как правило, со сложными горно-геологическими и гидро-геологическими условиями.

Сложные горно-геологические условия характеризуются: повышенной степенью обводненности месторождений (приток воды в выработку более  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ );

высокой газоносностью полезных ископаемых, наличием сульфидных выделений вредных газов;

неустойчивостью вмещающих горных пород;

малыми положительными и отрицательными температурами горных пород и подземных вод.

Горно-геологические условия некоторых месторождений полезных ископаемых характеризуются наличием на территории района двух или нескольких вышеуказанных факторов.

Тампонажу поддаются преимущественно скальные твердые горные породы — изверженные, метаморфические и осадочные, характеризующиеся наличием жестких связей между минеральными частицами (гранит, сленит, габро, базальт, кварцит, мрамор, известняки, песчаники, сланцы и т. д.). Породы залегают в виде сплошного массива или трещиноватого слоя. Связь между зернами возникает в результате спайности — у изверженных или метаморфических пород либо путем естественной цементации — у осадочных пород. Прочность этих пород, как правило, превышает  $50 \text{ кгс/см}^2$ .

Большое влияние на устойчивость и прочность горных пород равно как и на водопроницаемость и газовыделение оказывает трещиноватость массива. Практически любая толща, сложенная скальными породами или твердыми глинами, поражена трещинами. Трещины разнообразны по своему происхождению, протяженности, размерам, раскрытию. Различают трещины тектонические, трещины отдельности, напластования, выветривания, а также трещины, образующиеся в массиве горных пород в результате ведения горных работ, в частности при применении буровзрывных работ. Трещины в горных породах как осадочных, так и изверженных располагаются не беспорядочно, а образуют определенные системы, учет которых обязателен при проектировании тампонажа и выборе того или иного способа проведения горных выработок.

Системы трещин в горной породе могут располагаться вертикально, наклонно или горизонтально. Так же как и в пластах горных пород, можно измерить элементы залегания трещин —

падение и простираание. Протяженность трещин различна — от нескольких сантиметров до десятков и сотен метров. Раскрытие трещин также изменяется в весьма широких пределах — от тысячных долей миллиметра до нескольких метров.

Поры и пустоты приурочены в основном к осадочным породам. Размеры пор измеряются от нескольких ангстремов до десятков сантиметров.

В особую группу следует выделить закарстованные породы. Подземным карстом называют совокупность явлений, связанных с деятельностью воды и выражающихся в образовании полостей в горных породах в результате их растворения. Наиболее подвержены этим процессам известняки, гипс, доломиты, ископаемая соль. Карстовые полости могут иметь размеры от нескольких сантиметров до десятков метров и простираться на несколько километров.

Способность горных пород фильтровать воду или газы называется водо- или газопроницаемостью.

Водопроницаемость обычно характеризуется коэффициентом фильтрации  $K_f$ , который представляет собой скорость движения воды при напорном градиенте, равном единице.

Категории пород по степени водопроницаемости и коэффициенту фильтрации приведены в табл. 1 [22].

Величины коэффициента фильтрации горных пород определяются в лабораторных условиях на образцах исследуемых пород. В полевых условиях для определения величин коэффициента фильтрации используются методы опытных откачек из скважин или наливов воды в них.

В зависимости от характера распространения трещин и их проницаемых свойств водо-газопроницаемые толщи могут иметь изотропную или анизотропную трещиноватость. Трещиноватые изотропные, как и пористые массивы, имеют одинаковую проницаемость во всех направлениях и характеризуются одним коэффициентом проницаемости. Коэффициент проницаемости среды определяется по формуле

$$K = K_f \frac{\mu}{\gamma}, \text{ м}^2, \quad (1.1)$$

где  $K_f$  — коэффициент фильтрации;  $\mu$  — динамическая вязкость фильтруемой жидкости;  $\gamma$  — удельный вес жидкости.

Трещиноватые анизотропные горные породы имеют различную проницаемость и поэтому каждая система трещин характеризуется своим коэффициентом проницаемости. Трещиноватость породных массивов, в которых в настоящее время применяется тампонаж, представлена преимущественно несколькими системами трещин, расположенных под различными углами друг к другу. В большинстве случаев трещиноватость массива представлена двумя системами трещин, расположенных почти перпендикулярно друг к другу.

Таблица 1

| Категория пород | Степень водопроницаемости          | Породы                                                                                                                                                      | К <sub>ф</sub> , м/сут |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| I               | Практически водонепроницаемые      | Глины, плотные суглинки, глинистые сланцы, кристаллические породы, мрамор                                                                                   | 0—0,01                 |
| II              | Проницаемы в ничтожной степени     | Четвертичные суглинки, трещиноватые глинистые сланцы и кристаллические породы                                                                               | 0,01—0,1               |
| III             | Очень слабо проницаемые            | Супеси, мелкозернистые глинистые пески, трещиноватые породы                                                                                                 | 0,1—1 ✓                |
| IV              | Слабопроницаемые                   | Мелкозернистые пески, разнозернистые пески с примесью глины и пыли, трещиноватые породы                                                                     | 1—10 ✓                 |
| V               | Проницаемые в малой степени        | Среднезернистые слабоглинистые и чистые мелкозернистые пески, крупнозернистые и среднезернистые пески, слабосцементированные песчаники, трещиноватые породы | 10—100                 |
| VI              | Среднепроницаемые                  | Крупнозернистые пески с различной величиной зерен и примесью глины, трещиноватые породы                                                                     | 100—500                |
| VII             | Проницаемые в повышенной степени   | Однороднозернистые и чистые крупнозернистые пески, трещиноватые известняки и мергели                                                                        | 500—1000               |
| VIII            | Легкопроницаемые                   | Хорошо отсортированные чистые крупнозернистые пески с примесью гравия, трещиноватые породы                                                                  | 1000—2000              |
| IX              | Проницаемые в значительной степени | Мелкий однороднозернистый гравий с небольшой примесью песка, трещиноватые и закарстованные известняки                                                       | 2000—4000              |
| X               | Проницаемые в высшей степени       | Среднезернистый и крупнозернистый гравий, сильнокавернозные известняки с густой сетью незаполненных карстовых каналов                                       | 4000                   |

По условиям залегания подземные воды делятся на грунтовые, межпластовые, трещинные, трещинно-поровые, поровые и карстовые.

1 Грунтовые воды приурочены к напосам, где тампонажные работы не ведутся.

2 Межпластовые воды — это воды водоносного горизонта, расположенного между водоупорными слоями пород. Межпластовые воды могут быть напорными и ненапорными. В четвертичных отложениях межпластовые напорные воды встречаются сравнительно редко и приурочены в основном к песчаным пластам значительной мощности. Когда пустоты и поры водоносного горизонта заполнены полностью водой, которая находится под гидростатическим давлением, такие воды называются артезианскими. Межпластовые водоносные горизонты имеют самую различную мощность и самую различную глубину залегания и приурочены к осадочным породам обломочного типа. Гидростатический напор межпластовых вод колеблется от нуля до нескольких атмосфер.

3 Значительное распространение имеют подземные воды, приуроченные к трещинам и порам скальных породах. Такие воды называются трещинными, трещинно-поровыми или поровыми подземными водами. В случае, если трещинные водоносные горизонты ограничены водоупорными породами, горизонты называются трещинно-пластовыми. Водообильность трещинных и трещинно-пластовых горизонтов определяется размерами и числом трещин в водоносной породе. Трещинные воды в основном напорные, гидростатический напор которых в некоторых случаях достигает  $100 \text{ кгс/см}^2$  и более.

4 Карстовые воды приурочены к карстовым трещинам, каналам, кавернам и пещерам. При проходке горных выработок встреча с карстовыми водами в большинстве случаев чревата неприятностями, так как неожиданное вскрытие карстовых водоносных полостей может дать приток до нескольких тысяч кубометров воды в час.

Подземные воды постоянно находятся в движении. Скорость движения вод достигает в отдельных случаях нескольких метров в сутки. В пористой породе и в породах, разбитых мелкими трещинами, а также крупными, если последние заполнены глинистыми продуктами выветривания, движение подземных вод носит ламинарный характер. Только в крупных, хорошо очищенных от глинистых продуктов выветривания трещинах, каналах, кавернах и полостях карстового происхождения движение подземных вод носит турбулентный характер.

Вода в порах и пустотах горных пород может находиться в парообразном, жидком и твердом состоянии.

Классификация подземных вод, предложенная член-корр. АН СССР Е. М. Сергеевым, различает следующие виды воды в породах: вода в виде пара; связанная вода; гравитационная вода; вода в твердом состоянии (лед); кристаллизационная или химически связанная вода.



Наибольший практический интерес при проектировании и сооружении подземных выработок представляют связанные, гравитационные и твердые подземные воды.

➤ Связанная вода бывает прочносвязанной (адсорбированной) и слабосвязанной.

Прочносвязанная вода возникает за счет поглощения водяных паров частицами породы. Толщина слоя прочносвязанной воды различна и зависит от минералогического состава, влагоемкости породы, характера катионов адсорбционного слоя, температуры и внутрипорового давления.

Образование слабосвязанной воды начинается с момента, когда влажность породы становится выше ее максимальной гигроскопичности. Слабосвязанная вода обладает способностью передвигаться от более толстых водных пленок к более тонким до тех пор, пока молекулы воды не будут испытывать одинакового притяжения со стороны частиц, слагающих породу.

Влажность пород, соответствующая максимальному смачиванию частиц, включает в себя оба вида связанной воды.

➤ Гравитационная (свободная) вода перемещается под влиянием сил тяжести, она представлена двумя видами: капиллярной (подвешенной) и свободной.

Капиллярная вода, заполняя капиллярные промежутки и углы пор, удерживается в них силой поверхностного натяжения. Капиллярная влага поднимается выше уровня воды в породе, причем, чем меньше диаметр пор, тем выше подъем воды.

При проведении горных выработок в них поступает только свободная вода. Парообразные, связанные и капиллярные воды остаются в обводненной породе.

Вода, передвигающаяся сверху вниз, называется просачивающейся, а передвигающаяся в направлении наклона водоупорного слоя — водой грунтового потока. Перемещаясь, свободная вода образует водоносные горизонты. Содержание свободной воды в породах зависит главным образом от их пористости и трещиноватости. В глинистых породах, в которых все поры заполнены связанной водой, свободная вода отсутствует. В песчаных, грубообломочных и трещиноватых породах свободная вода преобладает над другими видами вод. Свободная вода всегда содержит в себе растворенные соли и газы. Количество растворенных в воде веществ может изменяться от тысячных долей до нескольких десятков граммов на литр. Количество растворенных в воде веществ характеризует степень минерализации ее.

При проведении выработок по сильнообводненным породам, в частности по закарстованным, возможны внезапные прорывы воды в выработку. Внезапные прорывы воды обычно происходят при пересечении выработками трещин или карстовых полостей (рис. 1, а и б), сбросовых трещин (рис. 1, в), через недостаточные по мощности целики водоупорных пород (рис. 1, г). При сооружении горных выработок иногда приходится иметь дело с внезапными прорывами воды с притоком от 100 до 1000 м<sup>3</sup>/ч и более.

Внезапность прорывов воды обуславливается недостаточной гидро-геологической изученностью пересекаемых горных пород. Однако, как показывает практика, даже при вполне достоверной гидро-геологической изученности и хорошо организованном бурении передовых скважин из забоев проходимых выработок не всегда удается избежать внезапных прорывов подземных вод.

На обширной территории нашей страны — Крайнем Севере и Северо-Востоке РСФСР — распространены горные породы, находящиеся в многолетнемерзлом состоянии.

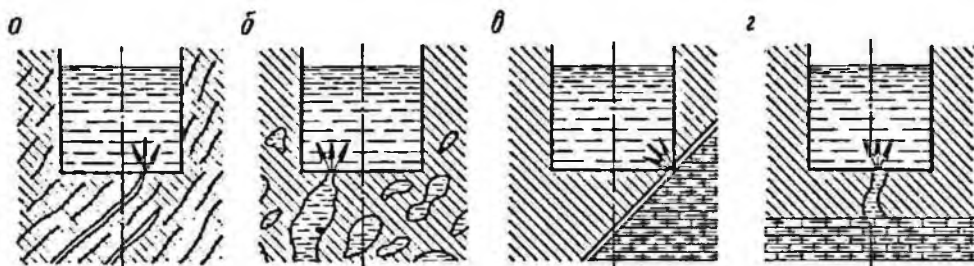


Рис. 1. Схемы внезапных прорывов воды в вертикальные стволы шахт: а — из водоносных трещин; б — из карстовой полости; в — из сбросовой трещины; г — через челик водоупорной породы

Значительные затруднения при сооружении и эксплуатации горных предприятий вызывает распространение на территории месторождений полезных ископаемых многолетнемерзлых пород. Многолетнемерзлыми называют породы, в пределах которых в течение многих лет сохраняются отрицательные температуры.

Мощность многолетней мерзлоты колеблется в широких пределах: от 5—6 м на южных окраинах до 100 м в бассейне реки Печоры и 400 м в Амдерме. Температура многолетнемерзлых пород находится в пределах от нескольких долей до  $-7^{\circ}\text{C}$ .

Подземные воды в районах распространения многолетнемерзлых пород встречаются в твердом — в виде льда, жидком и парообразном состоянии. Вода в виде льда встречается только в толще многолетнемерзлых пород. Замерзшая вода цементирует частицы обломочных пород, придавая им монолитное состояние, при котором лед предохраняет выработки от притоков воды в них.

При оттаивании мерзлых пород вода поступает в сооружаемую или эксплуатируемую выработку, неся с собой мелкие частицы наносных пород. Породы из-за выноса мелких частиц и обезвоживания оседают, крепь горной выработки воспринимает дополнительные нагрузки, что может явиться причиной разрушения ее.

По характеру циркуляции, режиму и питанию подземные воды районов с многолетнемерзлыми породами подразделяются на надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные. Первые два вида вод приурочены к толще многолетнемерзлых пород, циркуляция вод происходит по таликовым трубам или породам отдельных водоносных горизонтов.

Наибольшее значение имеют подмерзлотные воды, которые дают основные притоки воды в горные выработки. Подмерзлотные воды в основном приурочены к трещиноватым коренным породам различного литологического состава. Наиболее водоотдающими породами являются песчаники, умеренная водоотдача свойственна алевролитам, конгломератам и песчанистым сланцам, а аргиллиты и глинистые сланцы можно рассматривать как относительные водоупоры.

Водоносные горизонты в основном напорные. Напор возрастает с глубиной залегания водоносного горизонта и достигает нескольких десятков атмосфер.

В большинстве случаев залежи полезных ископаемых и вмещающие их породы содержат в трещинах и порах те или иные газы, выделяющиеся при вскрытии их горными выработками. Наиболее часто на угольных месторождениях имеют дело с метаном. Обильное выделение газа может наблюдаться не только на угольных шахтах, но и на рудных (Норильское полиметаллическое месторождение) и нерудных (апатитовый рудник на Кольском полуострове) предприятиях.

При естественном состоянии массива заключенный в нем газ находится в состоянии динамического равновесия. При вскрытии газоносных пород горной выработкой изменяется напряженное состояние пород, возникают деформации их, вместе с которыми изменяется газовый режим. Свободное и равномерное выделение газов особых затруднений не вызывает. Обильные и длительные суффляжные выделения газов могут привести к остановке работ по проведению горных выработок и потребовать в этом случае применения специальных методов газоизоляции проходимой выработки. С глубиной разработки газоносных месторождений возникает опасность внезапных выбросов газа, угля и пород, причиной которых является изменение напряженного состояния угля и вмещающих его пород при значительном скоплении в них метана, находящегося под высоким давлением. При вскрытии выбросоопасных пластов требуется применение специальных способов производства работ, одним из которых является тампонаж выбросоопасного массива пород.

## § 2. ЦЕЛИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТАМПОНАЖА

В практике различают два вида тампонажа — предварительный и последующий.

При предварительном тампонаже водо-газоносные породы тампонируют до проведения в них горных выработок; вокруг контура намеченной к проходке выработки создается водо- или газо-преграждающая завеса, под защитой которой ведутся горнопроходческие работы.

Последующий тампонаж выполняют после проходки выработки и возведения постоянной крепи. При последующем тампонаже можно:

устранить остаточные водо- или газопритоки в пройденную выработку;

усилить нарушенные или ослабленные породы и конструкции постоянной крепи;

заполнить пустоты за крепью, образовавшиеся в результате вывалов, вымывов или оседания сдвигавшихся наносных пород;

повысить устойчивость постоянной крепи горных выработок, проведенных в слабых и легкообрушающихся породах;

заполнить выработанное пространство с целью исключения осадок земной поверхности и вышерасположенных залежей полезных ископаемых.

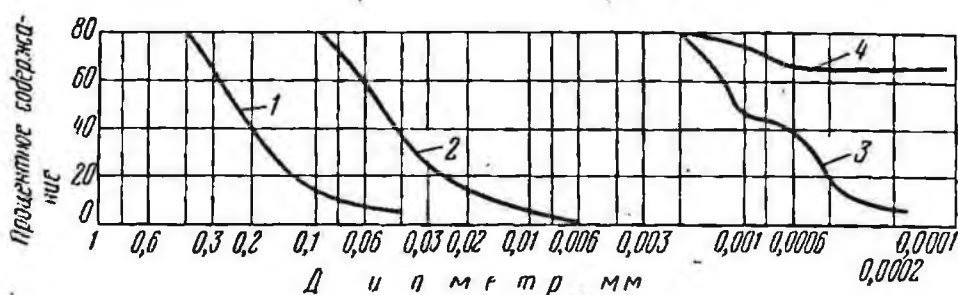


Рис. 2. Характеристика различных тампонажных материалов по крупности составляющих их частиц:

1 — песок; 2 — цемент; 3 — каолинит; 4 — монтмориллонит

При тампонировании в качестве вяжущих материалов применяют цементы, глины, жидкое стекло, битумы, синтетические смолы и др. В качестве инертных заполнителей применяют песок, каменную муку, опилки, суглинки, супеси и др.

В зависимости от типа применяемого вяжущего материала и компонентов, входящих в состав раствора, различают растворы: цементные, глиноцементные или суглинисто-цементные, глинопесчано-цементные, цементно-песчаные, цементно-силикатные, глинистые, битумные, силикатные и растворы на основе синтетических смол.

Область применения того или иного вида тампонажного раствора определяется горно-геологическими условиями, а также условиями технологии с учетом экономических факторов.

Возможность тампонирования той или иной породы зависит прежде всего из соотношения размеров частиц тампонажного материала и размеров трещин и пор в тампонируемом пространстве. Характеристика некоторых тампонажных материалов по крупности составляющих показана на рис. 2.

Для эффективного тампонирования мелкотрещиноватых связанных горных пород минимальные размеры трещин и пор в них должны превышать в 3—4 раза максимальную крупность частиц тампонажного материала. При меньшем соотношении, как правило, не удастся достигнуть успеха ни за счет увеличения давле-

ния нагнетания, ни путем снижения вязкости тампонажного раствора.

При тампонировании рыхлых грунтов критерием для выбора того или иного вида тампонажного раствора является также соотношение крупностей частиц тампонажного материала и частиц, слагающих грунт.

На основании данных практики тампонажа и научных исследований установлены следующие границы эффективного применения того или иного вида тампонажного раствора в зависимости от минимальных размеров трещин связных пород:

— битумные растворы эффективны при минимальных размерах трещин 1,5—2,0 мм;

— цементные растворы — 0,15—0,20 мм;

— глинистые растворы — 0,10 мм;

— силикатные и химические растворы — 0,01 мм.

При тампонировании рыхлых отложений:

— битумные растворы при минимальных размерах частиц массива 2—3,5 мм;

— цементные растворы — 1,0—2,5 мм;

— силикатные и химические растворы — 0,01—0,05 мм.

Верхний предел размеров трещин для коренных пород и размеров частиц рыхлых отложений принимается исходя из экономических соображений и целей тампонажа. Так, например, тампонирование пустот большого объема чисто цементным раствором возможно и эффективно по результату, но экономически невыгодно, и для тампонирования их следует рекомендовать цементно-песчаные, цементно-глинистые и другие менее дорогостоящие растворы.

Несмотря на удовлетворительные результаты, полученные при тампонировании горячим битумом, этот метод не получил и в течение ближайших лет не получит широкого распространения вследствие своей дороговизны и трудоемкости работ. Радиус распространения битума в тампонируемом пространстве не превышает 0,5—0,75 м, что требует для получения желаемого результата тампонажа бурения большого количества тампонажных скважин. Кроме того, поддержание в скважине в процессе тампонирования необходимой температуры битума и повышенная опасность при работе с горячим битумом создают дополнительные затруднения для использования этого метода.

Применение для предварительной водо- или газоизоляции тампонажных растворов, дающих хрупкий камень, неэффективно, так как небольшие смещения затампонируемых пород в процессе проходки выработки могут привести к образованию новых трещин в массиве и, как следствие, — возобновлению водо- или газопритоков в выработку. Поэтому для предварительного тампонажа с целью водо-газоизоляции целесообразно применять такие растворы, которые при затвердевании обеспечили бы получение достаточно пластичного тампонажного камня. Этими свойствами, в частности, обладают глиноцементные растворы.

Значительные ограничения на область применения того или иного вида темпонажного раствора оказывают гидро-геологические условия района. Так, например, область эффективного применения цементных растворов ограничивается скоростью движения подземных вод до 200 м/сут, глинистого раствора — до 50 м/сут, силикатного и химических растворов — от 2 до 80 м/сут, смешанных растворов и глиноцементных — до 150—200 м/сут. Область применения битумных растворов скоростью потока подземных вод не ограничивается.

Вид и степень минерализации подземных вод оказывают существенное влияние на выбор типа вяжущего материала.

В силу разнообразия и неоднородности трещин и пор в тампонируемом массиве применение только одного вида тампонажного раствора не всегда может обеспечить необходимый результат. Поэтому в отдельных случаях для тампонирования одного и того же участка целесообразно поочередное использование нескольких видов тампонажных растворов. Применение двух видов раствора значительно сокращает расход тампонажных материалов и обеспечивает при минимальных затратах труда и средств достижение требуемой степени гидроизоляции.

Перед производством тампонажных работ выполняются тщательные горно-геологические и гидро-геологические исследования, ставящие своей целью прогноз притоков воды или газа, определение физико-механических свойств пород, изучение трещиноватости, структуры и текстуры массива.

Изучение трещиноватости и поглощающей способности коренных пород производится пневматическим или гидравлическим способом.

Пневматический способ испытания пород заключается в нагнетании в исследуемые породы через скважины воздуха. Потеря давления воздуха в скважине за определенный промежуток времени позволяет судить о степени трещиноватости и поглощающей способности пород. Этот способ применяется крайне редко и нуждается в уточнении и упрощении технологии работ при его выполнении.

Более распространенным способом исследований трещиноватости является гидравлический. Участок, подлежащий тампонажу, разбивается на ряд зон, обычно по литологическому признаку пород. Изучаемую зону отделяют от смежных тампонами и в каждую зону нагнетается вода при различных давлениях. Рекомендуется испытания производить поочередно при трех ступенях давления нагнетания, равных  $H_r + 5$ ,  $H_r + 10$  и  $H_r + 15$ , м вод. ст., где  $H_r$  — гидростатический напор подземных вод.

Условная характеристика трещиноватости — удельное водопоглощение определяется по формуле [24]

$$q = \frac{Q}{Hl}, \text{ л/(мин} \cdot \text{м} \cdot \text{м, вод. ст.)}, \quad (1.2)$$

где  $Q$  — расход воды в испытываемой зоне, л/мин;  $H$  — давление нагнетания в скважине, м вод. ст.;  $l$  — длина испытываемой водонесной зоны, м.

По данным д-ра техн. наук, проф. Н. Г. Трупака, трещиноватые породы в зависимости от удельного водопоглощения можно условно разделить на семь категорий [24]:

- 1 — породы с удельным водопоглощением  $q$  менее 0,001 л/мин (практически водонепроницаемые);
- 2 — породы с  $q$  от 0,001 до 0,01 л/мин (слабо водопроводимые);
- 3 — породы с  $q$  от 0,01 до 0,1 л/мин (водопроводимые);



- 4 — породы с  $q$  от 0,1 до 1 л/мин (средней водопроводимости);
- 5 — породы с  $q$  от 1 до 10 л/мин (высокой водопроводимости);
- 6 — породы с  $q$  от 10 до 100 л/мин (весьма высокой водопроводимости);
- 7 — породы с  $q$  более 100 л/мин (исключительно высокой водопроводимости).

Трещиноватые породы с удельным водопоглощением более 0,05 л/мин в принципе могут принимать цементные растворы. Однако имели место случаи, когда породы с удельным водопоглощением в несколько раз большим 0,05 л/мин цементный раствор не принимали. Такие породы развиты большим количеством очень тонких трещин или пор, в которые цементные частицы не могут проникнуть. Для определения характера трещиноватости Н. Г. Трупак рекомендует производить определение удельного водопоглощения как минимум при трех значениях давления нагнетания воды.

На основании данных испытаний, полученных при установившемся расходе воды, строится график в координатах  $q—H$  (рис. 3). При этом могут быть два случая:

- зависимость  $q—H$  выражается прямой линией;
- зависимость  $q—H$  выражается кривой, обращенной выпуклостью вверх.

В первом случае режим движения воды в трещинах будет близок к ламинарному, а трещины в породах — тонкими. Во втором случае характер движения воды в трещинах — турбулентный, а трещины имеют большее раскрытие.



В практике шахтного строительства наиболее часто встречаются породы 3—5 категорий по водопроницаемости, породы 6 и 7 категорий по водопроницаемости обычно содержат карстовые пустоты.

Для каждой опробованной на удельное водопоглощение скважины должна строиться эпюра водопроницаемости горных пород. На оси ординат откладывают глубины скважины, а на оси абсцисс — геологический разрез и удельное водопоглощение. Совместное рассмотрение эпюры водопроницаемости, геологического и гидрогеологического разрезов, ожидаемых водо- или газопритоков позволяет более объективно подойти к выбору оптимальных видов и составов тампонажных растворов.

В последние годы в практике тампонажных работ все более широкое применение находят заимствованные из практики геологоразведочных работ новые, более совершенные методы определения проницаемых свойств горных пород. Среди них — расходомерия, резистивиметрия, ГК, НГК, применение испытателей пластов и т. д. Наиболее совершенными, дающими конкретные значения проницаемости исследуемых участков скважины являются расходомерия и резистивиметрия [4].

Определение проницаемых свойств водоносных горизонтов методами резистивиметрии и расходомерии основано на использовании зависимости между изменениями объемного расхода жидкости, движущейся по стволу скважины при наливе или откачке, и водопроницаемостью пересекаемых горных пород.

Необходимым условием проведения резистивиметрии или расходомерии является наличие установившегося режима движения жидкости по стволу скважины. Для этого при определении характеристик проницаемых горизонтов в скважину подается или откачивается из нее вода насосами с постоянной производительностью.

Различными при применении этих способов являются приборы определения вертикальных скоростей движения жидкости по стволу скважины.

Поэтому сначала рассмотрим теоретические основы методов, а затем — способы определения вертикальных скоростей.

При стабильном наливе в скважину, например с четырьмя водоносными напорными горизонтами, воды с дебитом  $Q$  и под давлением  $P_1$  проницаемые водоносные горизонты будут характеризоваться частными дебитами поглощения  $Q_1, Q_2, Q_3$  и  $Q_4$ , сумма которых равна дебиту налива  $Q$  (рис. 4).

В условиях установившегося движения жидкости частные дебиты поглощения  $Q_1, Q_2, Q_3$  и  $Q_4$  зависят от перепада давления в системе «устье — соответствующий проницаемый горизонт», мощности и коэффициента фильтрации соответствующих горизонтов. Частные дебиты поглощения  $Q_1, Q_2, Q_3$  и  $Q_4$  определяются по значениям объемных расходов жидкости  $Q_1', Q_2', Q_3'$  и  $Q_4'$ , проходящих через скважины в пределах водоупорных пластов.

Указанные объемные расходы будут последовательно уменьшаться от пласта к пласту вследствие поглощения проницаемыми пластами. При известных вертикальных скоростях движения жидкости в скважине  $v_1, v_2, v_3$  и  $v_4$  соответствующие им значения объемных расходов следующие:

$$\begin{aligned} Q'_1 &= \pi r^2 v_1 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q; \\ Q'_2 &= \pi r^2 v_2 = Q_2 + Q_3 + Q_4; \\ Q'_3 &= \pi r^2 v_3 = Q_3 + Q_4; \\ Q'_4 &= \pi r^2 v_4 = Q_4, \end{aligned} \quad (1.3)$$

где  $r$  — радиус скважины. Фактические значения радиусов скважины определяются по результатам проведенной кавернометрии стенок скважины.

Отсюда частные дебиты поглощения каждого проницаемого горизонта:

$$\begin{aligned} Q_4 &= Q'_4; \\ Q_3 &= Q'_3 - Q'_4; \\ Q_2 &= Q'_2 - Q_3; \\ Q_1 &= Q'_1 - Q_2. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Для выделения мощности  $M$  и глубины залегания  $h_i$  проницаемых пластов пользуются графиком изменения объемных расходов в зависимости от глубины:  $Q'_i = f(h_i)$  (рис. 5). При постоянном диаметре скважины эти сведения можно получить и при анализе графиков изменения скорости потока  $v_i = f(h_i)$ . Участки скважин, в пределах которых  $Q'_i = \text{const}$  или  $v_i = \text{const}$  (при  $r = \text{const}$ ) соответствуют водоупорным (непроницаемым) пластам. Пласты проницаемых пород отмечают на графиках промежутками уменьшения объемных расходов  $Q'_i$  или вертикальной скорости  $v_i$  (при  $r = \text{const}$ ). При анализе графиков  $Q'_i = f(h_i)$  и  $v_i = f(h_i)$  необходимо иметь в виду, что линейный закон изменения  $Q'_i$  и  $v_i$  в пределах проницаемого слоя соответствует однородным по проницаемости породам, более сложный характер графика изменения  $Q'_i$  и  $v_i$  указывает на фильтрационную неоднородность проницаемого пласта пород.

Для определения величины гидростатических уровней напорных пластов  $h_i$ , необходимых как при расчете их проницаемых характеристик, так и для выбора параметров тампонажа, кроме основного налива (откачки) требуется проведение второго исследования скважины с дебитом и напором, отличным от соответствующих параметров первого исследования. Определив по результатам обоих наливов (откачек) частные дебиты поглощения проницаемых горизонтов, графически находят гидростатические уровни воды в каждом проницаемом пласте (рис. 6).

На рис. 6 по оси  $-h$  откладывают расстояния от устья скважины до установившегося уровня воды при наливах без превы-

37508

шения уровня земной поверхности или откачках. Если же наливывы осуществляются под давлением при помощи насосов, величины напоров, зафиксированные манометром, установленным на устье

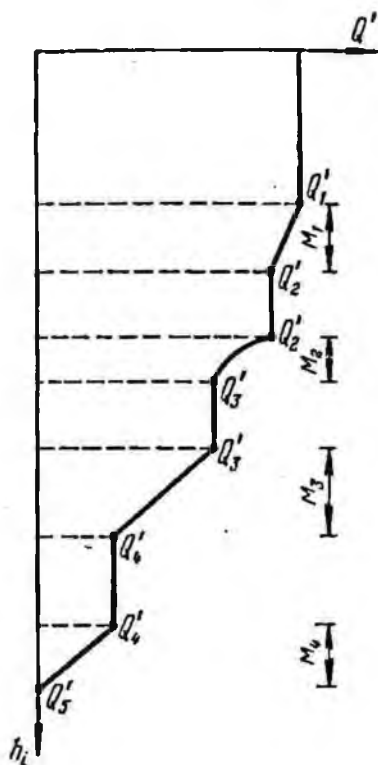
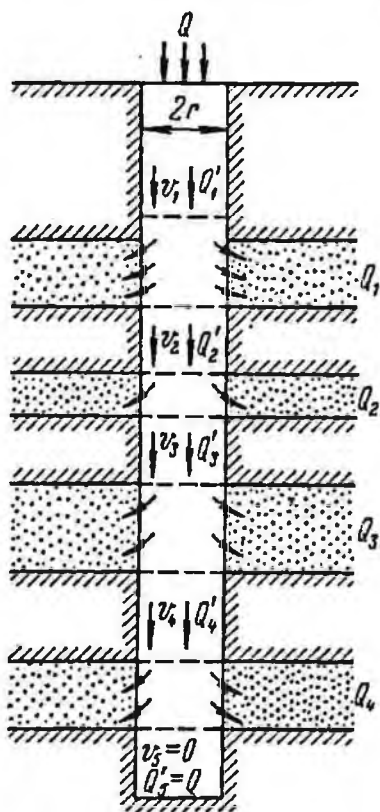


Рис. 4. Схема налива в скважину при резистивиметрических или расходометрических исследованиях

Рис. 5. График изменения объемных расходов при постоянном диаметре скважин

скважины, откладывают на оси  $+h$ . На оси  $Q_i$  откладывают соответствующие значения частных дебитов пласта. Через полученные таким образом точки проводят прямые до пересечения с осью  $-h$ ,  $+h$ . Отсекаемые этими прямыми отрезки оси  $-h$ ,  $+h$  соответствуют величине гидростатических уровней воды исследуемых проницаемых пластов.

Зная мощности  $M_i$ , глубины залегания, частные дебиты поглощения  $Q_i$  и гидростатические уровни подземных вод по пластам, можно вычислить скважность<sup>1</sup>, коэффициенты фильтрации и про-

\* Скважность — совокупность пор, трещин, карстовых каналов и других пустот в массиве горных пород независимо от их формы и размеров. Различают следующие виды скважности: пористость, трещиноватость, ноздреватость и т. д. Скважность выражается или в процентах, или в долях единицы.

ницаемости, величины раскрытия трещин трещиноватых проницаемых горизонтов.

Расчет фильтрационных параметров проницаемых пластов по данным резистивиметрии и расходометрии производят по следующим формулам.

Коэффициент фильтрации определяется из формулы Дюпюи

$$Q_i = \frac{2\pi M_i K_{\Phi i} \Delta P_i}{\ln R_b/r}, \quad (I.5)$$

где  $Q_i$  — частный дебит поглощения  $i$ -го проницаемого горизонта, м<sup>3</sup>/сут;  $M_i$  — мощность проницаемого пласта, м;  $K_{\Phi i}$  — коэффициент фильтрации, м/сут;  $\Delta P_i$  — перепад давления в системе «скважина — соответствующий проницаемый горизонт», м. вод. ст.;  $R_b$  — радиус влияния налива жидкости в скважину при наливе воды. Обычно радиус влияния находится в пределах 150—200 м, принимается согласно справочным руководствам для гидрогеологов;  $r$  — радиус скважины в интервале исследуемого проницаемого пласта, м.

Коэффициенты проницаемости определяют по формуле (I.1).

Удельное водопоглощение проницаемого горизонта

$$K_i = \frac{Q_i}{\Delta P_i}, \quad (I.6)$$

где  $Q_i$  — частный дебит поглощения  $i$ -го проницаемого горизонта, м<sup>3</sup>/сут;  $\Delta P_i$  — перепад давления в системе «скважина — проницаемый горизонт», кгс/см<sup>2</sup>.

Скважность трещиноватого массива определяется по формуле Ф. И. Котяхова

$$m_i = \frac{10}{577,9} \sqrt[3]{\frac{K_{\Phi i} b \ln \frac{R_b}{r_i}}{M_i}}, \quad (I.7)$$

где  $b$  — объемный коэффициент, принимается согласно справочным данным (руководствам);  $\mu$  — коэффициент динамической вязкости нагнетаемой жидкости, гс·с/см<sup>2</sup>;  $R_b$  — радиус влияния скважины, м;  $r_i$  — радиус скважины в месте проведения резистивиметрии или расходометрии, м;  $M_i$  — мощность исследуемого проницаемого горизонта, м.

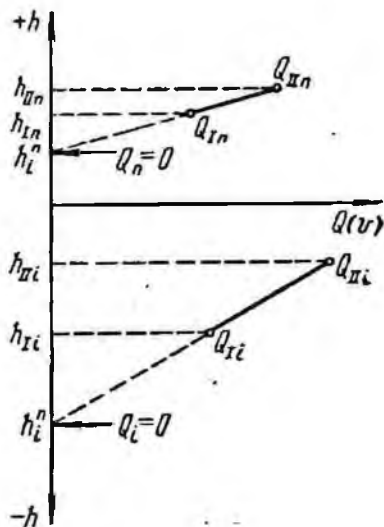


Рис. 6. Графики для определения гидростатических уровней напорных горизонтов  $n$  и  $i$  по частным дебитам при двух наливах:

$Q_{In}$  и  $Q_{Ti}$  — частные дебиты  $n$  и  $i$  пластов при первом наливе,  $Q_{In}^n$  и  $Q_{Ti}^n$  — то же, при втором наливе

Приведенный коэффициент проницаемости трещиноватого горного массива с двумя системами трещин с достаточной степенью точности определяют по формуле

$$K_{пр\ i} = \sqrt{K_{11}K_{22}} = 10^{-8} \frac{\mu Q_i \ln \frac{R_B}{r_l}}{2\pi M_i \Delta P_i}, \text{ м}^2, \quad (I.8)$$

где  $K_{11}$ ,  $K_{22}$  — коэффициенты проницаемости каждой из двух систем трещин, м<sup>2</sup>;  $Q_i$  — частный расход поглощения жидкости проницаемым пластом, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta P_i$  — перепад давления в системе «скважина — проницаемый горизонт», кгс/см<sup>2</sup>.

Среднее раскрытие трещин

$$S_i = 4,83 \sqrt{\frac{K_{пр\ i}}{m_i^2}}. \quad (I.9)$$

Величина коэффициента трещинной анизотропии

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{K_{11}}{K_{22}}} \quad (I.10)$$

и может быть определена как геофизическими методами геологоразведки, так и в лабораторных условиях по кернам исследуемых пород.

При известных значениях  $K_{пр}$  и  $\varepsilon$  совместным решением системы уравнений:

$$\begin{aligned} K_{пр} &= \sqrt{K_{11}K_{22}}; \\ \varepsilon &= \sqrt{\frac{K_{11}}{K_{22}}} \end{aligned} \quad (I.11)$$

определяют значения  $K_{11}$  и  $K_{22}$ , по которым по формуле (I.9) рассчитывают раскрытие трещин  $S_{11}$  и  $S_{22}$  каждой системы.

Приведенные выше параметры проницаемой среды вполне характеризуют проницаемый горизонт и позволяют выбрать оптимальный вид тампонажного раствора, установить рациональный режим тампонажа и рассчитать расход тампонажных материалов.

Для определения вертикальных скоростей движения жидкости в скважине при наливе методом резистивиметрии применяют способ наблюдения за движением в интервале скважины двух жидкостей различной минерализации (электропроводности) с помощью резистивиметра.

Вертикальные скорости движения жидкости в скважине методом расходомерии измеряют расходомерами различной конструкции. Рассмотрим второй способ измерения скоростей. Наиболее совершенной конструкцией расходомера является скважинный расходомер ДАУ-3 (рис. 7), краткая техническая характеристика которого следующая:

|                                            |                         |
|--------------------------------------------|-------------------------|
| Диаметр исследуемой скважины, мм . . . . . | От 76 до 162            |
| Нагнетаемая жидкость . . . . .             | Вода, глинистый раствор |

Максимально-возможное гидравлическое давление в зоне измерения, кгс/см<sup>2</sup> . . . . . 180

Пределы измерения, м/с:

в воде . . . . . От 0,15 до 15

в глинистом растворе . . . . . От 0,05 до 15

Погрешность измерения, % . . . . . ±6

Характер измерения . . . . . Точечный

Время измерения, с . . . . . Не менее 50

Основные размеры датчика, мм:

диаметр . . . . . 73

высота . . . . . 1100

Расходомер при помощи трехжильного кабеля связан с измерительными и регистрирующими блоками геофизических станций (в частности АЭКС-900, АЭКС-1500 и т. д.).

При достижении крыльчаткой датчика статического уровня жидкости в скважине электромеханический счетчик срабатывает, дальнейшее опускание датчика прекращается и в скважину насосом с постоянной производительностью нагнетается жидкость. После установления постоянного динамического режима в скважине расходомер опускается на интересующую нас глубину и выполняется собственно расходомерия.

Под воздействием движущегося потока жидкости крыльчатка расходомера будет вращаться со скоростью, пропорциональной вертикальной скорости движения жидкости в скважине и расходу потока. При каждом обороте крыльчатки дифференциальный индуктивный датчик индуцирует сигнал, который через каротажный кабель подается на измерительный и фиксирующий блоки каротажной станции. Абсолютные значения скорости жидкости, движущейся в ме-

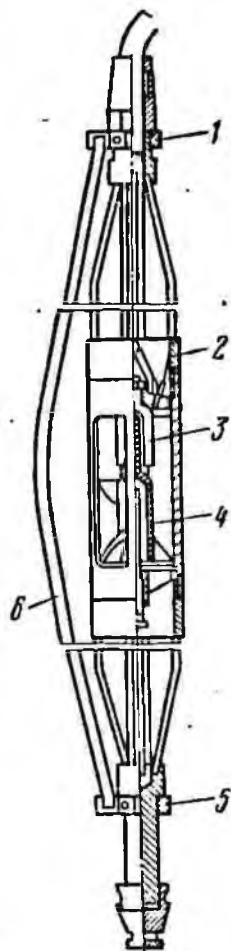


Рис. 7. Схема скважинного расходомера ДАУ-3:

1 — верхняя муфта центрирующих пружин; 2 — каркас расходомера  
3 — индуктивный датчик; 4 — рабочий элемент (вертушка); 5 —  
нижняя муфта центрирующих пружин; 6 — центрирующая пружина

сте измерения, определяются с помощью тарировочных кривых.

## ТАМПОНАЖНЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ РАСТВОРЫ

До последнего времени неудачи при тампонировании объяснялись в основном сложностью горно-геологических, гидро-геологических и технологических условий, несовершенством применяемого тампонажного оборудования. В настоящее время неудачи все чаще относят за счет свойств и качеств тампонажных растворов. Такая тенденция весьма показательна, так как отражает объективную оценку значения свойств тампонажных растворов в ряду основных факторов, обеспечивающих эффективность выполнения тампонажных работ.

Как отмечалось выше, наиболее распространенным и сравнительно дешевым материалом для приготовления тампонажных растворов является цемент. Поэтому основное внимание в настоящей главе уделено тампонажным растворам на основе цемента. На основе цемента могут быть получены растворы с самыми разнообразными качествами и свойствами. Это делает цементные вяжущие незаменимыми при производстве тампонажных работ. На основе цемента могут быть приготовлены цементные, цементно-песчаные, глиноцементные, так называемые, смешанные (глиноцементно-песчаные) и цементно-силикатные растворы, которые должны обладать следующими основными тампонажными свойствами и качествами:

- 1 седиментационной устойчивостью и способностью не расслаиваться при нагнетании;
- 2 подвижностью и способностью легко перекачиваться растворонасосами;
- 3 легкостью проникновения в трещины и пустоты пород;
- 4 стойкостью к воздействию агрессивных подземных вод;
- 5 хорошей водоотдачей под давлением с образованием в пустотах плотных водонепроницаемых тампонов;
- 6 определенными сроками схватывания, соответствующими конкретным горно-геологическим, гидрогеологическим и технологическим условиям производства тампонажа;
- 7 достаточной механической прочностью и водонепроницаемостью затвердевшего тампонажного камня;
- 8 экономичностью и недефицитностью составляющих для приготовления растворов.

### § 3. МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОВ

Для приготовления тампонажных растворов используются различные виды и марки цемента, суглинки, супеси, глины, вода, химические и минеральные добавки.



✓ **Цемент.** В качестве вяжущего для приготовления тампонажных растворов используют различные виды цементов [6].

При тампонировании горных пород в массиве и закрепного пространства выработок наибольшее применение нашли портландцементы и, в частности, такие разновидности: сульфатостойкий, быстротвердеющий, тампонажный и др.

Портландцементы являются наиболее распространенными видами гидравлического вяжущего. Как известно, в состав их входят следующие основные минералы: алит — трехкальциевый силикат ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), белит — двухкальциевый силикат ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), трехкальциевый алюминат ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) и браунмиллерит — четырекальциевый алюмоферрит ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Основным минералом цементного клинкера является трехкальциевый силикат ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), содержание которого обуславливает величину абсолютной прочности цементного камня. В портландцементе содержание  $\text{C}_3\text{S}$  находится в пределах 40—60%. Высокое содержание  $\text{C}_3\text{S}$  обеспечивает быстрый рост прочности в первые 7 сут и малый рост прочности в последующие дни твердения. К 28-дневному возрасту трехкальциевый силикат набирает прочность не менее 500 кгс/см<sup>2</sup> и после 3 мес твердения — до 600 кгс/см<sup>2</sup>.

Двухкальциевый силикат ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) содержится в портландцементе в количестве 15—40%. Повышенное содержание  $\text{C}_2\text{S}$  обуславливает замедленное нарастание прочности цементного камня в первые 28 сут твердения (до 100 кгс/см<sup>2</sup>) и быстрый прирост прочности в возрасте 3—6 мес (до 400 кгс/см<sup>2</sup>). Повышенное содержание  $\text{C}_2\text{S}$  делает портландцемент медленно твердеющим и обеспечивает повышенную стойкость цементов в агрессивных водах, в то время как высокое содержание  $\text{C}_3\text{S}$  отрицательно влияет на стойкость цементов в агрессивных средах.

Трехкальциевый алюминат ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), содержащийся в портландцементном клинкере в количестве 5—15%, обеспечивает интенсивное схватывание и нарастание прочности в первые дни твердения и не оказывает существенного влияния на конечную прочность портландцемента.  $\text{C}_3\text{A}$  весьма чувствителен к посторонним примесям в составе цемента, потере влаги, воздействию положительных температур более 30°С. Повышенное содержание в портландцементном клинкере  $\text{C}_3\text{A}$  отрицательно влияет на стойкость цементного камня в агрессивных средах. Содержание трехкальцевого алюмината в цементном клинкере должно быть строго определенным в зависимости от конкретных условий применения портландцемента.

Основным минералом алюмоферритной группы является четырекальциевый алюмоферрит ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), содержащийся в клинкере цемента в количестве 6—18%.  $\text{C}_4\text{AF}$  уменьшает прочность цементного камня в ранние сроки твердения и заметно повышает ее в возрасте 1—6 мес.

В зависимости от количественного содержания указанных минералов портландцемент может быть:

|                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| Высокоалитовый . . . . . | Более 60% $C_3S$ |
| Алитовый . . . . .       | 50—60% $C_3S$    |
| Белитовый . . . . .      | Более 35% $C_3S$ |
| Алюминатный . . . . .    | Более 10% $C_3A$ |
| Алюмоферритный . . . . . | Менее 2% $C_3A$  |

Для удешевления производства цемента и придания им новых свойств в состав портландцементов иногда вводят различные добавки: активные минеральные добавки (трепел, пемза, диатомит, вулканический, туф, глины, цемянка, золы, доменные шлаки, гипс и т. д.) и наполнители (песок, гематит, керамзит и т. д.).

В зависимости от соотношения и суммарного содержания минералов и добавок в составе цемента промышленностью выпускается несколько видов портландцементов: обыкновенный, сульфатостойкий, тампонажный, пуццолановый, быстротвердеющий, шлакопортландцемент, гидрофобный, песчанистый, низкотермичный, облегченный тампонажный и т. д.

При длительном хранении, особенно в условиях свободного доступа к ним воздуха, портландцементы взаимодействуя с водяными парами и углекислым газом атмосферы, постепенно гидратируются и затем карбонизируются. Продолжительное хранение цемента удлиняет сроки схватывания и уменьшает активность цемента. Особенно проявляется это в первые месяцы хранения. Поэтому применению цемента должны предшествовать обязательные лабораторные исследования свойств его.

Хранение и перевозку портландцементов нужно организовывать так, чтобы предохранить их от увлажнения и потерь. Места погрузки и разгрузки должны быть защищены от атмосферных осадков, распыления и т. д.

**Песок.** Для приготовления тампонажных растворов применяют песок с зернами определенной крупности. Предельный размер зерен песка связан с размерами тампонируемых полостей. Чаще всего применяют мелкозернистые и среднезернистые пески, примерный гранулометрический состав которых следующий:

|                               |         |          |          |        |
|-------------------------------|---------|----------|----------|--------|
| Крупность зерен песка, мм . . | 1—0,5   | 0,5—0,25 | 0,25—0,1 | До 0,1 |
| Процентное содержание, % . .  | 1,5—2,0 | 40—45    | 40—45    | 5—10   |

**Глины и суглинки.** Для приготовления глино-цементных и смешанных тампонажных растворов применяют местные суглинки и глины, имеющиеся в районах размещения горнодобывающих предприятий.

Наилучшими считаются суглинки и тощие глины с небольшим содержанием тонкодисперсных глинистых частиц и числом пластичности не более 18. Оптимальный гранулометрический состав суглинков, используемых для целей тампонажа, следующий:

|                                                        |       |
|--------------------------------------------------------|-------|
| Песчаные частицы размером 1—0,5 мм, % . . . . .        | 10—35 |
| Пылеватые частицы размером 0,05—0,005 мм, % . . . . .  | 35—70 |
| Глинистые частицы размером менее 0,005 мм, % . . . . . | 10—20 |

При отсутствии местных суглинков допускается применять песчаные глины (супеси) с содержанием глинистых частиц не более 35—40%. Применение тонкодисперсных глин, например лёссовидных, для приготовления смешанных растворов не допускается.

**Вода.** Для приготовления тампонажных растворов применяют воду, отвечающую требованиям «Технических условий на воду для затворения бетона», т. е. имеющую pH не менее 4 и содержащую сульфатов в пересчете на  $\text{SO}_4$  не более 2700 мг/л. Сточные воды, воды, содержащие жиры, растительные масла, кислоты и органические примеси, для приготовления растворов непригодны.

При тампонировании трещиноватых пород с агрессивными водами возможно применение этих вод для затворения растворов, однако они должны отвечать вышеуказанным требованиям и применению их должны предшествовать тщательные лабораторные исследования свойств и качеств тампонажного раствора, приготовленного на этой воде.

#### § 4. ДОБАВКИ-АКТИВАТОРЫ

Для регулирования тампонажных свойств растворов, изменения сроков схватывания, улучшения реологических параметров, повышения седиментационной устойчивости и водонепроницаемости в тампонажные цементные растворы вводятся те или иные химические реагенты и минеральные добавки, так называемые активаторы.

По основному своему действию и назначению добавки-активаторы тампонажных растворов делятся на несколько групп.

##### 1. Добавки-наполнители:

неактивные (инертные) добавки-наполнители — известняки, песчаники, граниты, гнейсы, слениты, пески, древесные опилки, различные волокнистые материалы — хлопковые, кожаные волокна, нарезанная фибра, измельченный асбест, шелуха и др.;

активные добавки-наполнители — природные и искусственные; к природным относятся диатомиты, трепелы, опоки, вулканические пеплы, туфы, трассы, пемзы и др., к искусственным — доменные гранулированные шлаки, нефелиновый шлак, зола и др.

##### 2. Пластифицирующие добавки:

минеральные пластифицирующие добавки — бентонитовые и обычные глины, известковое тесто, тонкомолотые кремнеземистые горные породы, минеральные отходы содового производства; поверхностно-активные пластифицирующие добавки — концентраты сульфитно-дрожжевой бражки, мылонафтасидол, гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости ГКЖ-10, ГКЖ-11 и др.

##### 3. Добавки, регулирующие время схватывания и твердения цементного раствора:

добавки-ускорители схватывания и твердения цементов: хлористый кальций, хлорное железо, алюминат натрия, хлористый

алюминий, соляная кислота, каустическая сода, ОЭС, углекислый калий, нитрат калия, нитрат кальция, нитрат натрия, три-натрийфосфат, хлоралюмокальций, кремнефтористый натрий, жидкое стекло и т. д.;

➤ добавки-замедлители схватывания и твердения раствора: поверхностно-активные пластифицирующие добавки, клей животный, сахар, крахмал, в малых дозах сернистый калий, соляная кислота, углекислый калий, хлористый аммоний и др.

Кроме того, применяют противоморозные добавки (основная масса добавок — ускорителей схватывания и твердения цементов); добавки, повышающие водонепроницаемость тампонажного камня, — тонкомолотый трепел и диатомит, различные виды глины, церезит, битумная эмульсия «Эмульбит», алюминат натрия, поташ, хлорное железо, хлористый алюминий, ОЭС, хлоралюмокальций и др.

Комплексные добавки представляют собой различные сочетания как по виду, так и объему вышеперечисленных добавок.

Наиболее широкое применение в практике тампонажных работ нашли следующие добавки:

1. Хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ ), являющийся одним из наиболее распространенных ускорителей схватывания и твердения цементных растворов. Хлористый кальций — побочный продукт, получаемый при производстве соды или хлора, выпускается промышленностью в виде кристаллической соли, безводный или плавленый.

Введение добавки хлористого кальция в тампонажный раствор резко сокращает сроки схватывания и обеспечивает интенсивное нарастание прочности тампонажного камня в ранние сроки твердения.

Действие хлористого кальция на различные виды портландцемента и даже на цементы одного и того же завода неодинаково, поэтому оптимальное количество добавки хлористого кальция определяется на основании лабораторных испытаний. Наиболее рационально введение в состав растворов 2—5% хлористого кальция от массы цемента в пересчете на сухое вещество. Такое количество реагента позволяет значительно сократить сроки схватывания тампонажного раствора, на 10—15% повысить прочность тампонажного камня в 28-суточном возрасте.

1. Хлорное железо способствует повышению седиментационной устойчивости и уменьшению сроков схватывания тампонажных растворов, повышению водонепроницаемости и прочности тампонажного камня в ранние сроки твердения. Кроме того, добавка хлорного железа обеспечивает интенсивное схватывание и твердение некоторых видов портландцементов при малых положительных и отрицательных температурах окружающей среды. В отличие от хлористого кальция добавка хлорного железа обеспечивает нарастание прочности и в более поздние сроки твердения. Количество добавки хлорного железа выбирается для каждого вида портландцемента на основании лабораторных исследований.

Обычно в состав тампонажных растворов вводят 0,5—1,5% хлорного железа от массы цемента.

Для промышленного применения раствор хлорного железа в воде получается непосредственно в местных условиях при взаимодействии пиритных огарков и технической соляной кислоты.

В металлическую емкость заливают соляную кислоту, а затем небольшими порциями при постоянном перемешивании добавляют пиритные огарки. Для ускорения реакции взаимодействия в смесь соляной кислоты и пиритных огарков вводят металлические опилки в количестве до 5% от массы соляной кислоты. Соотношение соляной кислоты и пиритных огарков — 1:0,6 по весу.

Реакция взаимодействия протекает в течение суток при температуре окружающей среды  $+10^{\circ}\text{C}$  и более. При температуре окружающей среды ниже  $+10^{\circ}\text{C}$  реакция взаимодействия протекает в течение более длительного периода времени.

Получившийся продукт реакции имеет темно-коричневый цвет и представляет собой раствор хлорного железа в воде. Удельный вес полученного раствора при указанных выше соотношениях составляющих равен 1,25—1,55 гс/см<sup>3</sup>, что соответствует 20—50% концентрации хлорного железа в воде.

Во время работ, связанных с приготовлением и применением раствора хлорного железа, необходимо строго придерживаться правил техники безопасности: пользоваться светлыми защитными очками, резиновыми перчатками, фартуками и сапогами. Вблизи места производства работ необходимо иметь бак с чистой водой и содовый раствор.

При длительном хранении раствора хлорного железа на дно емкости, где он хранится, могут выпасть темно-зеленые кристаллы хлористого железа. Для превращения хлористого железа в хлорное необходимо добавить в емкость соляную кислоту и перемешать.

Жидкое стекло — водный раствор растворимого стекла, представляющего собой натриевый ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ) или калиевый ( $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ) силикат. Жидкое стекло получается при разварке в автоклаве так называемой силикат-глыбы, т. е. сплавленной смеси кварцевого песка, углекислого натрия или сульфита натрия и порошка угля. В результате разварки получается густая бесцветная или светло-желтая жидкость, смешивающаяся с водой в любой пропорции.

Качество жидкого стекла характеризуется отношением кремнезема к щелочным окислам, которое обычно изменяется в пределах 2,5—3,5; удельный вес жидкого стекла в зависимости от концентрации изменяется от 1,4 до 1,6 гс/см<sup>3</sup>.

На воздухе жидкое стекло твердеет, переходя в нерастворимое состояние вследствие высыхания и выделения аморфного кремнезема под действием углекислого газа атмосферы. Поэтому жидкое стекло необходимо хранить в закрытой таре.

Жидкое стекло является сильнодействующим ускорителем схватывания и твердения цементного раствора при любых значе-

ниях водо-цементного отношения. Добавка жидкого стекла значительно повышает седиментационную устойчивость тампонажных растворов и приводит к снижению до 15% конечной прочности затвердевшего тампонажного камня.

Оптимальная величина добавки жидкого стекла определяется на основании лабораторных исследований. Исследования проводятся для каждой партии цемента, так как цемент после длительного хранения менее активно взаимодействует с жидким стеклом.

С некоторыми растворимыми солями, в первую очередь с солями кальция, жидкое стекло вступает в необратимую реакцию, образуя нерастворимые желатинообразные силикаты металлов. Поэтому совместное применение жидкого стекла и некоторых добавок типа  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$  в составах тампонажных растворов не допускается. Перед производством тампонажных работ в агрессивных средах в обязательном порядке проводятся исследования по влиянию агрессивных вод на состояние жидкого стекла, так как при закачке тампонажного раствора с добавками жидкого стекла возможно мгновенное коагулирование жидкого стекла вблизи тампонажной скважины. По этой причине при тампонировании мелкотрещиноватых пород в непосредственной близости к скважине образуются тампоны, преграждающие распространение раствора в глубь тампонируемого массива.

ОЭС представляет собой смесь продуктов тонкого помола спека глиноземных заводов. В состав ОЭС входит до 70—80% алюмината натрия ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) и феррита натрия ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Добавка ОЭС резко снижает сроки схватывания, повышает седиментационную устойчивость тампонажных растворов и водонепроницаемость тампонажного камня. Количество добавки подбирается опытным путем для каждого вида портландцемента.

Длительность и условия хранения портландцементов оказывают большое влияние на интенсивность взаимодействия их с ОЭС. Максимальный срок хранения портландцементов при использовании в качестве добавки ОЭС не должен превышать двух месяцев со дня их изготовления. Перед применением ОЭС в качестве добавки проводят обязательные испытания на равномерность изменения объема твердеющего цементного раствора с добавкой ОЭС.

В качестве добавки ускорения схватывания и твердения цементных растворов может быть использован алюминат натрия ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), получаемый как отход при производстве аскорбиновой кислоты на витаминных заводах. На строительстве площадки алюминат натрия поступает в виде водного раствора плотностью 1,3—1,5 г/см<sup>3</sup>.

Введение алюмината натрия благоприятно сказывается на повышении седиментационной устойчивости тампонажного раствора и водонепроницаемости тампонажного камня. Повышение водонепроницаемости, особенно в ранние сроки (до 5 раз по сравнению с цементными растворами без добавок), делает применение



добавок алюмината натрия целесообразным при производстве предварительного тампонажа в породах с напорными водами. При применении алюмината натрия проводятся обязательные испытания каждой партии цемента на равномерность изменения объема.

**Бентониты** — тонкодисперсные пластичные глины, состоящие в основном из минералов группы монтмориллонитов. Способность бентонитовых глин давать устойчивые тиксотропные суспензии используется для придания седиментационной устойчивости цементным растворам и повышенной водонепроницаемости тампонажному камню.

В природе встречаются кальциевые (щелочноземельные) и натриевые (щелочные) бентониты, значительно отличающиеся друг от друга своими свойствами. Устойчивые тиксотропные суспензии натриевых бентонитовых глин обуславливаются способностью бентонитов при взаимодействии их с водой набухать, образуя устойчивые комплексные соединения подвижной консистенции. Натриевые бентониты поглощают воду, которая по массе превышает массу бентонита в 5—7 раз, увеличивая при этом первоначальный объем в 10—20 раз. Под давлением вода, удерживаемая бентонитом, свободно отжимается. Кальциевые бентониты весьма мало разбухают, образуя неустойчивые водные суспензии, так как частицы кальциевого бентонита, не образуя комплексных соединений, окружены только тонкими водными оболочками, вследствие чего частицы кальциевого бентонита сравнительно быстро слипаются в крупные агрегаты.

Бентониты рекомендуется вводить в состав тампонажных растворов в количестве 2—5% от массы цемента, так как введение бентонитов в больших количествах резко увеличивает сроки схватывания раствора и уменьшает конечную прочность затвердевшего тампонажного камня.

**Сульфитно-спиртовая барда (ССБ).** Концентраты ССБ: жидкие (КБЖ), твердые (КБТ) и порошкообразные (КБП) представляют собой кальциевые соли лингосульфонных кислот с примесью редуцирующих и минеральных веществ, являются отходами, образующимися при биохимической переработке в спирт щелока, отходящего при варке целлюлозы сульфатным способом.

Концентраты сульфатно-дрожжевой бражки (СДБ) жидкие (КДЖ) и твердые (КДТ) — являются отходами, дрожжевой промышленности при переработке ССБ. Сульфитно-дрожжевая бражка применяется с 1970 г., вытесняя применяющуюся сульфитно-спиртовую барду.

ССБ и СДБ применяют в основном для уменьшения вязкости тампонажных растворов на основе цементов, чем обеспечиваются лучшая прокачиваемость растворов и повышенная проникающая способность. Пластифицирующие свойства ССБ и СДБ в наибольшей степени проявляются при приготовлении тампонажных растворов густой консистенции. При повышении водо-цементного отношения раствора интенсивность ССБ и СДБ как пластифика-



торов снижается и при  $B:C=1,0\div 1,5$  добавки ССБ и СДБ практически не влияют на изменение реологических параметров раствора.

Действие ССБ и СДБ на различные по минералогическому составу цементы различно. Наиболее целесообразно применять эти добавки при использовании цементов тонкого помола. Хорошо пластифицируются этими добавками цементы, содержащие более 50% трехкальциевого силиката и менее 6% трехкальциевого алюмината. При уменьшении содержания в цементе  $C_3S$  до 40% и менее и увеличении содержания  $C_3A$  более 10% применение ССБ и СДБ не дает желаемого результата. Пластифицирующие свойства ССБ и СДБ резко уменьшаются при использовании устаревших цементов.

При приготовлении тампонажных растворов количество вводимой добавки обычно составляет 0,1—0,3% от массы цемента в пересчете на сухое вещество. Введение в состав растворов добавки ССБ и СДБ в повышенных количествах (0,5% и более от массы цемента) может привести к значительному замедлению сроков схватывания раствора и пониженной конечной прочности тампонажного камня.

Добавки ССБ и СДБ в состав тампонажных растворов вводятся в виде водного раствора.

## § 5. КОРРОЗИЯ ЦЕМЕНТНЫХ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

Долговечность тампонажного камня зависит от воздействия внешних физических и химических факторов и, в частности, от минерализации подземных контактирующих вод.

Вопросам долговечности цементов посвящено значительное количество исследований отечественных и зарубежных ученых, установивших причины химической коррозии и предложивших эффективные меры по увеличению стойкости цемента (исследования А. Р. Шуляченко, А. А. Байкова, В. В. Кинда, В. Н. Юнга, Ф. М. Ли, Р. Лермита, Г. Кюля, Л. М. Невилля и др.).

По наиболее полной классификации, разработанной В. В. Киндом, различают следующие основные виды коррозии под действием природных вод: коррозию выщелачивания; кислотную коррозию; углекислую коррозию; сульфатную коррозию, подразделяемую на сульфоалюминатную, сульфоалюминатногипсовую и гипсовую; магнезиальную коррозию.

✓ Коррозия выщелачивания возникает при действии на цемент вод с малой жесткостью и обусловливается тем, что составляющие цементного камня и в первую очередь гидрат окиси кальция, как наиболее растворимый, уносятся фильтрующей водой. По мере удаления из цементного камня гидроокиси кальция происходит гидролиз, растворение и вынос других продуктов гидратации цементного клинкера. При длительном воздействии мягких вод на цементный камень возможно полное вымывание гидрата окиси кальция с разложением остальных гидратных сое-

динений до аморфных рыхлых гидратов кремнезема, глинозема и железа. Необходимо отметить, что даже частичное вымывание гидрата окиси кальция из цемента приводит к значительному снижению прочности цементного камня. Так, по данным В. М. Москвина, выщелачивание  $\text{CaO}$  в количестве до 30% от общего содержания сопровождается снижением механической прочности на 50% и более.

Присутствие в природных водах солей натрия и калия повышает их выщелачивающую способность и ускоряет процесс разрушения цементного камня. Что касается солей кальция, то их присутствие, наоборот, снижает растворимость гидроокиси кальция и выщелачивающую агрессивность подземных вод, причем тем значительнее, чем больше содержание их в воде.

Поведение цементного камня в условиях действия агрессивных вод, в том числе и выщелачивающего действия мягких вод, при прочих равных условиях определяется степенью плотности цементного камня и условиями службы. Наибольшая коррозия наблюдается в тех случаях, когда воды фильтруются через цементный камень. Устранение фильтрации воды через тело цементного камня таким образом является одним из эффективных средств борьбы с коррозией цемента.

Степень агрессивности воды по отношению к цементному камню, приготовленному на портландцементе и его разновидностях, устанавливается по данным химического анализа природных вод и оценивается по инструкции СН249-63 «Признаки и нормы агрессивности воды — среды для железобетонных конструкций». В частности, в нормах указано, что минимальная величина бикарбонатной щелочности составляет 1—2 мг-экв. При меньшей концентрации вода — среда считается агрессивной.

Кислотная коррозия возникает под действием растворенных в водах как органических, так и неорганических кислот, вступающих в химическое взаимодействие с гидратом окиси кальция и другими продуктами гидратации цемента. Этот вид коррозии связан с показателем концентрации ионов водорода  $\text{pH}$ . Цемент, характеризующийся высокой химической основностью составляющих, способен интенсивно взаимодействовать не только с кислотами, но и с такими солями, как  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и др., гидролизующимися с образованием сильных кислот.

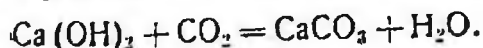
При взаимодействии кислот с продуктами гидратации цемента образуются кальциевая соль и аморфные бесвязные массы кремнезема,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  и т. д.

Растворимые новообразования выносятся водой из цементного камня, нерастворимые же в виде рыхлых масс остаются, что приводит к снижению прочности камня, а в последствии и к полному разрушению его.

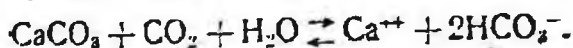
Агрессивное воздействие кислых вод на бетон нормальной плотности становится заметным при  $\text{pH} \leq 6,5$ .

Защитить цементный камень от действия сильных кислот очень трудно. Поэтому при наличии природных вод с кислотной агрессивностью используются специальные кислотоустойчивые цементы и соответствующие заполнители для приготовления бетонов или растворов.

✓ Углекислая коррозия возникает при воздействии на цементный камень воды, содержащей углекислый газ  $\text{CO}_2$ . Реакция взаимодействия углекислого газа и гидрата окиси кальция происходит в две фазы. Вначале при взаимодействии  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с углекислотой образуется малорастворимый карбонат кальция:



При дальнейшем воздействии на цементный камень  $\text{CO}_2$  образуется легко растворимый бикарбонат кальция:



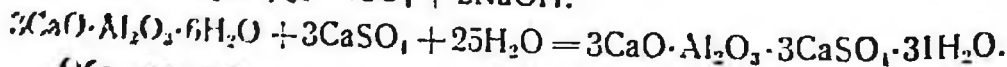
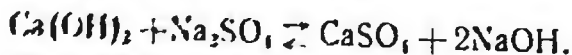
Этот процесс обратим и до конца не доходит, т. е. часть углекислоты остается после реакции в свободном состоянии. Каждому определенному содержанию  $\text{HCO}_3^-$ , находящемуся в равновесии с  $\text{CaCO}_3$ , отвечает строго определенное равновесное количество свободной углекислоты. Наличие в воде «сверхравновесной» углекислоты вызывает дальнейшее растворение  $\text{CaCO}_3$  и образование  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Эта избыточная углекислота и является агрессивной.

Интенсивность углекислотной агрессии зависит главным образом от содержания в воде агрессивной углекислоты, величины временной жесткости, а также фильтрационных качеств цементного камня.

Оценку степени углекислотной агрессивности подземных вод производится по строительным нормам СН 249—63 и на основе вычисления  $\text{pH}$ -значения.

✓ Сульфаталюминатная коррозия возникает при действии на цементный камень вод, содержащих  $250 < \text{SO}_4 < 1000$  мг/л. По мере повышения концентрации  $\text{SO}_4$  эта коррозия переходит в сульфаталюминатно-гипсовую, а затем в чисто гипсовую. Концентрация сульфатных ионов менее 250 мг/л, по данным В. В. Ужва и других, безопасна для портландцементов.

Сульфаталюминатная коррозия — следствие взаимодействия сульфатов, растворенных в воде-среде, с гидратом окиси кальция и высокоосновными гидроалюминатами кальция цементного камня:



Образование трехсульфатной формы гидросульфаталюминия кальция (этtringита) сопровождается увеличением твердой фазы примерно в 4,6 раза, что приводит к нарушению структуры, деформациям и разрушению цементного камня.

Этtringит образуется только из четырех- или трехкальциевого гидроалюмината. Однако последние при малых концентрациях  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  разлагаются, давая двухкальциевый гидроалюминат. При этом исключается и образование этtringита. На этом основано защитное действие активных (пуццолановых) минеральных добавок, вводимых в состав портландцементов, так как активный кремнезем добавок химически связывает  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  твердеющего цементного камня. Поэтому природные воды с содержанием сульфатов до 0,5% не опасны для пуццолановых портландцементов.

На степень сульфатной агрессивности вод влияет присутствие в них хлоридов. Ионы хлора снижают (замедляют) сульфатную коррозию портландцементов, причем эффект действия  $\text{Cl}^-$  увеличивается с повышением их концентрации.

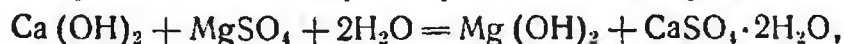
При действии на цементный камень вод с большим содержанием  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{K}_2\text{SO}_4$  наступает преимущественно гипсовая коррозия, при которой в порах и капиллярах цементного камня отлагается двуводный гипс, что приводит к изменению структуры камня и его разрушению.

Чисто магниевая коррозия цементного камня наступает при действии на него солей магния (за исключением  $\text{MgSO}_4$ ). В этом случае между гидратом окиси кальция цементного камня и, например, хлористым магнием протекает реакция взаимодействия:



с образованием гидрата окиси магния в виде бесвязной массы, не обладающей вяжущими свойствами, и хлористого кальция, легко растворимого и вымываемого проточными водами. Все это сопровождается разрушением цементного камня. Коррозия цемента под действием  $\text{MgCl}_2$  становится значительной, если концентрация его в воде превышает 1,5—2%. При содержании ионов магния менее 500 мг/л вода-среда считается неагрессивной.

Сульфатно-магниевая коррозия обуславливается взаимодействием гидроокиси кальция цементного камня и сернистого магния, растворенного в воде-среде:



в результате чего образуются малосвязная гидроокись магния и двуводный гипс, который или кристаллизуется с увеличением в объеме, или, взаимодействуя с гидроалюминатами, образует этtringит. Все это отрицательно отражается на целостности цементного камня.

Определение стойкости цемента против действия минерализованных вод в лабораторных условиях производится по методике, разработанной В. В. Киндом, по которой из цементно-песчаного раствора состава 1:3 (цемент:песок) прессованием готовят призмочки размером 1×1×3 см. Часть этих образцов после 14-суточного твердения в нормальных условиях помещают в неагрессивную воду, а вторую часть — в агрессивную на 6 мес. После этого

образцы испытывают на излом, по результатам которого устанавливают коэффициент стойкости  $КС_6$ , представляющий собой отношение прочности образцов, твердевших в агрессивной среде, к прочности водного хранения.

Часто стойкость цемента в агрессивных средах определяют на балочках размером  $4 \times 4 \times 16$  см, изготовленных из растворов нормальной подвижности состава 1 : 3 (цемент : песок). Часть образцов после 28 сут нормального твердения помещают в агрессивную среду, остальные образцы — в неминерализованную воду. Через 6 мес после этого образцы испытывают на изгиб и сжатие (половинки). Коэффициент стойкости  $КС_6$  определяют аналогично вышеописанному способу. Цемент признается стойким при действии агрессивной среды, если показатель  $КС_6$  близок к единице.

#### У § 6. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Для повышения долговечности цементного камня в агрессивных по отношению к обычному портландцементу средах используют агрессивно-устойчивые цементы. Так, при выщелачивающей, углекислотной и кислотной агрессивности рекомендуется применять пуццолановый цемент или шлакопортландцемент, при наличии сульфатной агрессивности — сульфатостойкий портландцемент и сульфатостойкий пуццолановый портландцемент.

При использовании пуццолановых цементов следует знать, что они имеют пониженную морозостойкость. Поэтому применять их в зонах с меняющимся уровнем воды и в условиях с частым попеременным замерзанием и оттаиванием не допускается.

При подземном строительстве наиболее часто приходится сталкиваться с сульфатными агрессивными водами, что обуславливает сравнительно широкое применение в горном строительстве сульфатостойкого портландцемента.

Сульфатостойкий портландцемент является продуктом помола клинкера строго нормированного минералогического и химического состава. Клинкер сульфатостойких портландцементов должен удовлетворять следующим требованиям: содержание трехкальцевого силиката — не более 50%, суммарное содержание трехкальцевого алюмината и четырехкальцевого алюмоферрита — не более 22%, содержание трехкальцевого алюмината — не более 5%, величина глиноземного модуля  $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$  — не менее 0,7. Сульфатостойкий цемент не должен содержать активных или инертных минеральных добавок.

Высокое содержание  $C_2S$  и пониженное содержание  $C_3A$  и  $C_3S$  в сульфатостойком портландцементе обеспечивает повышенную сульфатостойкость, пониженную экзотермию, удлиняет сроки схватывания и сравнительно медленное нарастание прочности в ранние сроки твердения, что в обязательном порядке необходимо

учитывать при производстве тампонажных работ в условиях низких положительных и малых отрицательных температур.

Скорость нарастания прочности цементного камня в большой степени зависит от температуры окружающей среды. Наиболее благоприятной температурой окружающей среды является температура от  $+18$  до  $+22^{\circ}\text{C}$ . При температуре окружающей среды ниже  $+18^{\circ}\text{C}$  твердение цементного камня замедляется и при температуре несколько большей  $0^{\circ}\text{C}$  практически прекращается.

Наличие в отдельных районах страны подземных вод и пород с низкими положительными и малыми отрицательными температурами требует применения тампонажных растворов, способных интенсивно схватываться и твердеть при этих температурных условиях.

Интенсивность схватывания и твердения цементного камня при малых положительных и отрицательных температурах обеспечивается правильным выбором вида и минералогического состава портландцемента и введением в цементные смеси так называемых противоморозных добавок и ускорителей схватывания и твердения.

В процессе схватывания и твердения портландцемента выделяется большое количество экзотермического тепла. Экзотермия процессов гидратации и гидролиза цемента в большой степени зависит от его минералогического состава. На величину теплоты гидратации в ранние сроки твердения кроме минералогического состава значительно влияет тонкость помола, в более поздние сроки этот фактор не играет существенной роли.

Выделение экзотермического тепла происходит в течение длительного промежутка времени, но значительная часть его выделяется в течение первых дней твердения.

При затворении цемента водой немедленно начинается выделение тепла, которое в первые несколько минут достигает  $4,5—6,0$  кал/г. Затем выделение тепла падает до минимальной величины, после чего снова постепенно повышается и достигает максимума через несколько часов после начала схватывания.

Теплота, выделяющаяся в результате взаимодействия цементного клинкера и воды, оказывает большое влияние на интенсивность процессов схватывания и твердения цементов. Выделяющееся экзотермическое тепло как бы подогревает твердеющий цементный камень, тем самым ускоряя процессы гидратации и гидролиза. Таким образом, количество выделившегося, особенно в ранние сроки, тепла имеет большое практическое значение при производстве цементационных работ в условиях низких положительных и малых отрицательных температур окружающей среды, при которых процессы гидратации цемента без подогрева значительно замедляются или прекращаются вообще.

Применяемый при низких температурах окружающей среды цемент должен обладать интенсивным тепловыделением в ранние сроки твердения. Это достигается тщательным подбором химико-минералогического состава цементного клинкера. В составе



таких цементов должно находиться повышенное количество  $C_3A$  и  $C_2S$ . Удачным сочетанием минералов клинкера является:  $C_3S$  более 50%,  $C_4A$  10—15%,  $C_2S$  до 25%, удельная поверхность помола не ниже 3500—4000  $см^2/г$ .

Действие так называемых противоморозных добавок, по данным А. Велми, заключается главным образом в катализе схватывания и твердения цемента. Добавки-ускорители схватывания обеспечивают более интенсивное тепловыделение и лучшее твердение цемента до момента критического охлаждения его.

Целесообразность применения алитовых портландцементов с повышенным содержанием  $C_3A$  в условиях низких положительных и малых отрицательных температур была полностью подтверждена лабораторными исследованиями и опытом тампонажных работ на шахтах Заполярья.

Многие свойства тампонажных растворов зависят от тонкости помола и гранулометрического состава цемента. С увеличением дисперсности цемента химический состав его остается практически неизменным, но при этом активизируются протекающие физико-химические процессы при взаимодействии его с водой.

Общая степень измельчения портландцемента характеризуется как остатками на ситах с размерами ячеек в свету 0,2; 0,08 или 0,06 мм, так и удельной поверхностью порошка, определяемой на приборах различной конструкции (В. В. Товарова, ПСХ-2, Лн и др.). В настоящее время обычные портландцементы измельчают до остатка на сите 0,08 мм — 5—8%, цементы же быстротвердеющие — до остатка 2—4%. При этом удельная поверхность этих цементов соответственно достигает 2500—3000 и 3500—4500  $см^2/г$ .

Как показали многочисленные исследования различных авторов, с увеличением тонкости помола цемента повышаются его прочность и скорость твердения, седиментационная устойчивость и проникающая способность растворов, плотность, прочность и водонепроницаемость тампонажного камня, но лишь до показателя удельной поверхности 7000—8000  $см^2/г$ . При большем измельчении цемента наступает качественный скачок, характеризующийся резким снижением физико-механических показателей цементного камня.

Цементный порошок при любом способе промышленного изготовления его является полидисперсным.

Представление о зерновом составе выпускаемых промышленностью портландцементов (по данным Л. Н. Шороха, Р. Я. Церпеса и А. В. Бугайчука) дают приведенные в табл. 2 сведения.

В результате выполненных этими авторами исследований следует, что на показатели активности цементов в возрасте до 28 сут влияют фракции порошка с размером частиц до 20 мкм.

Более же крупные частицы влияют на прочность в более отдаленные сроки твердения. Фракция 0—5 мкм оказывает решающее влияние на активность в 1-е сут, фракция 5—10 мкм — в 3-и и



Таблица 2

| Удельная<br>поверхность, см <sup>2</sup> /г | Содержание в процентах фракций, мкм |      |       |      |      |     | Прочность, кгс/см <sup>2</sup> ,<br>через |       |        |
|---------------------------------------------|-------------------------------------|------|-------|------|------|-----|-------------------------------------------|-------|--------|
|                                             | 0—5                                 | 5—10 | 10—20 | 0—10 | 0—20 | 80  | 1 сут.                                    | 3 сут | 28 сут |
| 2300                                        | 2                                   | 14   | 27    | 16   | 45   | 7   | 150                                       | 380   | 645    |
| 2800                                        | 7                                   | 14   | 31    | 21   | 52   | 4   | 207                                       | 350   | 740    |
| 4300                                        | 9                                   | 25   | 29    | 34   | 63   | 2,5 | 330                                       | 510   | 730    |
| 6200                                        | 19                                  | 28   | 35    | 47   | 82   | 1   | 380                                       | 660   | 802    |

7-е сут, фракция 10—20 мкм определяет прочность в месячном и более позднем возрасте.

С точки зрения повышения проникающей способности цементных растворов наиболее целесообразно использовать цементы тонкого и сверхтонкого монодисперсного помола — так называемые «коллоидные» цементы. Однако вследствие своеобразных свойств, приобретаемых твердыми телами при тонком измельчении их, частицы цемента адсорбируют пары воды из воздуха и образуют под действием молекулярных сил сцепления связные агрегаты-флокулы. Поэтому мельчайшие частицы цемента не способны существовать разрозненно и объединяются в отдельные агрегаты размером 50 мкм и более, т. е. коагулируют. Тонкоизмельченные цементы, имея большую поверхность соприкосновения с воздухом атмосферы, весьма быстро теряет свои свойства, в частности активность, в первые же сутки хранения. Введение в состав цементного клинкера различных гидрофобных добавок несколько снижает способность к агрегации тонкоизмельченных цементов.

Практическая невозможность изготовления цементов монодисперсного состава снижает эффективность применения «коллоидных» цементов для тампонажа тонкозернистых и мелкокрейнистых горных пород из-за наличия в составе цементов пусть даже в малом количестве грубых частиц.

Высокая стоимость тонкого измельчения цемента на заводе-изготовителе или при помоле обычных по крупности цементов в специальных установках на месте производства тампонажа делает экономически невыгодным изготовление тонкодисперсных цементов.

В последние годы в практике тампонажных работ все более широкое применение находят специальные растворомешалки (турбулентные смесители, высокоскоростные растворомешалки, вибромешалки и т. д.) для приготовления коллоидных тампонажных растворов на основе выпускаемых промышленностью сравнительно грубодисперсных цементов. Работами ВНИИОМШСа было установлено, что при приготовлении растворов в роторно-турбулентной растворомешалке дисперсность раствора повыша-

ется с 3255 до 4856 см<sup>2</sup>/г при замешивании растворов в обычных растворомешалках.

Кроме указанных выше факторов при выборе вида цемента должны учитываться и экономические соображения.

Тампонажным растворам на основе портландцементов могут быть приданы различные свойства и качества путем введения в их состав различных добавок — активаторов. Наибольший интерес из них представляют те, которые активизируют проявление требуемых тампонажных свойств и качеств раствора — повышают седиментационную устойчивость, проницаемость, сокращают сроки схватывания и твердения, обеспечивают высокую водонепроницаемость цементного камня и повышенную прочность его и т. д.

Добавки-ускорители схватывания и твердения, взаимодействуя с продуктами гидратации и гидролиза цементного клинкера, образуют новые соединения, которые ускоренно кристаллизуются, образуя прочный структурный скелет цементного камня в более короткие сроки. Так, например, в процессе взаимодействия некоторых хлоридов с продуктами гидратации образуются устойчивые малорастворимые в воде новообразования типа гидрохлоралюминатов, гидрохлорсиликатов и оксихлоридов кальция, которые повышают прочность и плотность цементного камня в раннем возрасте.

Количество вводимых в состав тампонажных растворов добавок-активаторов регламентируется исходя из коррозионной агрессивности их на металлические закладные элементы в теле тампонируемых конструкций или по экономическим соображениям.

Выбор требуемых добавок осуществляется путем исследования влияния их на свойства и качества растворов.

## ✓ § 7. КОНСИСТЕНЦИЯ И КОНЦЕНТРАЦИЯ РАСТВОРОВ

Консистенция растворов является одним из основных параметров тампонажного раствора, которая обуславливает седиментационную устойчивость, удельный вес, проникающую способность, сроки схватывания растворов, выход тампонажного камня и т. д. Консистенция зависит от количества твердых составляющих, содержащихся в воде затворения, т. е. от концентрации твердой фазы в составе тампонажного раствора.

Консистенция густых тампонажных растворов определяется растекаемостью их на гладкой поверхности — распыловом, а жидких — удельным весом. Консистенция принимается различной в зависимости от конкретных горно-геологических и технологических условий тампонажа. Принятая консистенция тампонажного раствора должна обеспечивать легкое проникновение раствора в трещины и поры тампонируемого пространства при полном заполнении их тампонажным камнем и легко перекачиваться растворонасосом.

Концентрация тампонажных растворов выражается последовательным соотношением твердых составляющих и воды затворения к цементу. Например: 1:0.5 (цемент:вода), 1:1:2 (цемент:песок:вода), 1:0.55:1 (цемент:глина:вода), 1:0.5:1; 2 (цемент:песок:суглинок:вода) и т. д. Концентрация растворов может выражаться как в единицах массы, так и в единицах объема. Наиболее употребительно выражение концентрации в единицах массы.

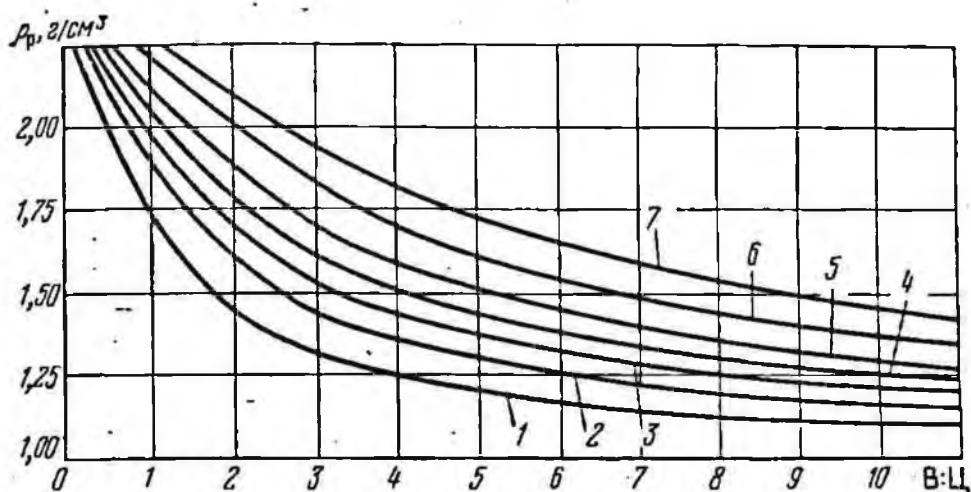


Рис. 8: Зависимость плотности цементных и цементно-песчаных растворов от водоцементного отношения:

1 — цементные растворы; 2 — цементно-песчаные растворы с Ц:П=1:1; 3 — цементно-песчаные растворы с Ц:П=1:2; 4 — цементно-песчаные растворы с Ц:П=1:3; 5 — цементно-песчаные растворы с Ц:П=1:5; 6 — цементно-песчаные растворы с Ц:П=1:7; 7 — цементно-песчаные растворы с Ц:П=1:10

Концентрация тампонажных растворов принимается в зависимости от конкретных горно-геологических условий и принятых режимов нагнетания раствора.

В руководствах по применению тампонажа рекомендуется использовать цементные растворы с соотношением цемента и воды от 1:0.5 (в зарубежной практике чаще 1:1) до 1:10, иногда до 1:20 (цемент:вода).

Регулировать консистенцию растворов можно изменением концентрации их, а также введением в состав растворов добавок-активаторов.

Плотность цементного раствора зависит в основном от содержания в нем твердых составляющих (цемента). Чем больше в растворе цементных частиц, тем гуще раствор и тем больше его плотность (рис. 8).

Определение плотности растворов густых консистенций производится взвешиванием мерного сосуда с раствором. Вместимость мерного сосуда обычно принимается равной 50 см³. Точность взвешивания 0,1 г.

Определение плотности растворов жидких консистенций производится прибором АГ-1 или ареометром.

Взятие проб раствора для определения плотности должно производиться до осаждения цементных частиц.

Знание плотности раствора позволяет довольно точно дозировать составляющие при приготовлении растворов необходимой консистенции, а также оперативно регулировать консистенцию приготавливаемого и нагнетаемого тампонажного раствора.

## § 8. ВЫХОД ТАМПОНАЖНОГО КАМНЯ

В только что затворенном цементном растворе зерна цемента находятся во взвешенном состоянии в дисперсионной среде, представленной вязкой жидкостью — водой затворения с растворенными в ней продуктами гидратации цементного клинкера и химических добавок-реактивов. Как отмечалось выше, состояние такой дисперсной суспензии при определенных значениях водоцементного отношения неустойчиво. Под действием сил гравитации происходит оседание частиц твердых составляющих и образуется так называемый тампонажный камень. При этом на поверхности цементного осадка образуется слой жидкой фазы раствора, т. е. происходит водоотделение. Понятие выход тампонажного камня определяет установившийся объем осадка после затвердевания раствора при статическом состоянии его и выражается процентным отношением объема осевшего раствора к первоначальному объему его. При расчетах выход тампонажного камня выражается десятичной дробью.

Экспериментально в лабораторных условиях выход тампонажного камня определяется таким образом.

Раствор по окончании его приготовления наливается в мерный сосуд до черты 100 см<sup>3</sup>, и после отстаивания в течение 1,0—1,5 ч определяется объем осадка. Процентное отношение объема осадка к первоначальному объему и характеризует величину выхода тампонажного камня.

Величина выхода тампонажного камня цементных растворов зависит от вида и концентрации твердых составляющих, вида и количества добавок-активаторов тампонажных растворов.

Искусственное увеличение выхода тампонажного камня имеет большое практическое значение для эффективного выполнения тампонажных работ.

С целью выяснения влияния минералогического состава цементного клинкера, вида и количества добавок-активаторов на изменение выхода тампонажного камня при различных значениях водоцементного отношения раствора были проведены многочисленные лабораторные исследования. Концентрация цементных растворов изменялась от В:Ц=0,4 до В:Ц=5,0. В качестве вяжущего использовали высокоалюминатные, алитовые, среднеалюминатные и сульфатостойкие портландцементы. В качестве химических добавок использовали следующие соли: KCl, NaNO<sub>3</sub>,

$\text{KNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  и жидкое стекло. В качестве минеральных добавок использовали бентонит и глины. Химические и минеральные добавки вводились в состав растворов в различных количествах и соотношениях (от 0,1 до 5,0% от массы цемента в перерасчете на сухое вещество). Исследовались как одинарные, так и комплексные добавки с различным соотношением составляющих.

На основании проведенных исследований получены следующие результаты.

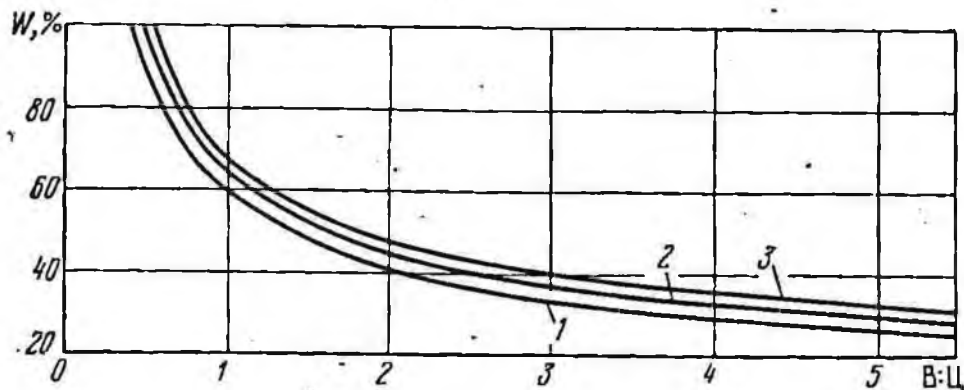


Рис. 9. Зависимость выхода камня  $W$  цементных растворов от В:Ц:

1 — сульфатостойкий цемент; 2 — среднеалюминатный цемент; 3 — высокоалюминатный цемент

1. Минералогический состав цементного клинкера оказывает влияние на величину выхода тампонажного камня (рис. 9). Наибольший выход камня дают высокоалюминатные портландцементы, наименьший — сульфатостойкие. Это объясняется различным содержанием в составе клинкера цемента наиболее активных минералов — трехкальцевого алюмината и четырехкальцевого алюмоферрита. Цементы с большим содержанием этих минералов имеют больший выход тампонажного камня.

2. Добавки солей одновалентных металлов, за исключением добавок тринатрийфосфата ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) и жидкого стекла, практически не влияют на изменение выхода тампонажного камня (рис. 10).

3. Добавки тринатрийфосфата, жидкого стекла, солей двух- и трехвалентных металлов, за исключением добавок хлористого кальция, значительно увеличивают выход тампонажного камня (рис. 10).

4. Введение в состав цементных растворов добавок хлористого кальция практически не влияет на степень увеличения выхода тампонажного камня.

5. Количество вводимых добавок влияет на степень увеличения выхода тампонажного камня (рис. 11).

6. Введение в цементный раствор комплексных добавок, состоящих из реагентов, влияющих и не влияющих на изменение

выхода камня, увеличивают выход тампонажного камня, при этом в реакции участвуют лишь добавки, увеличивающие выход тампонажного камня (рис. 12).

7. Минеральные добавки (бентонит и глина) увеличивают выход тампонажного камня (рис. 13).

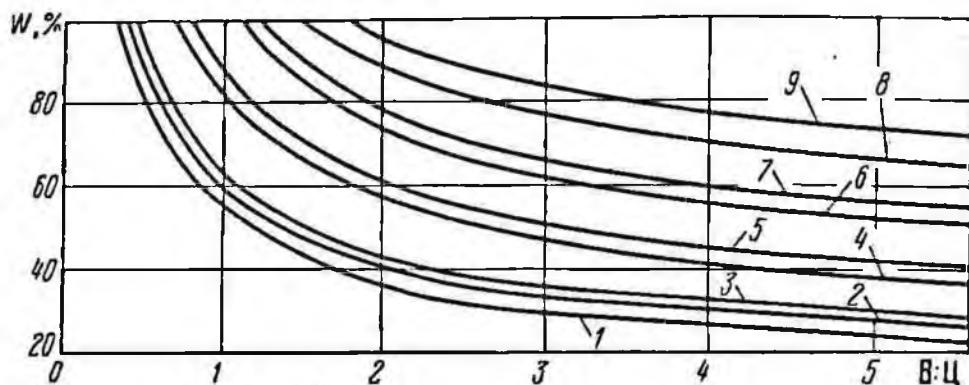


Рис. 10. Зависимость выхода камня цементных растворов от В:Ц при различных добавках-активаторах в количестве 5% от массы цемента:

1 — NaCl, KCl, NaNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>; 2 — без добавок; 3 — хлористый кальций; 4 — ZnCl<sub>2</sub>; 5 — CuCl<sub>2</sub>; 6 — FeCl<sub>3</sub>; 7 — Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; 8 — AlCl<sub>3</sub>; 9 — жидкое стекло

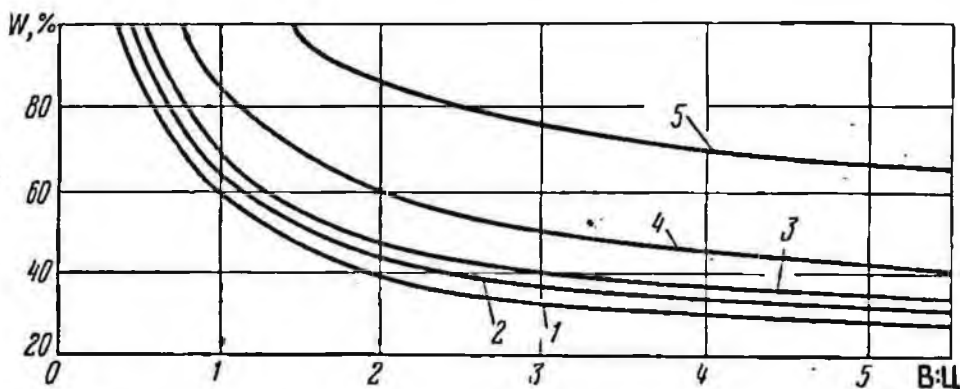


Рис. 11. Зависимость выхода камня цементных растворов от В:Ц при разном количестве добавок хлористого алюминия:

1 — без добавок; 2 — 0,1% AlCl<sub>3</sub>; 3 — 0,25% AlCl<sub>3</sub>; 4 — 0,5% AlCl<sub>3</sub>; 5 — 1,0% AlCl<sub>3</sub>

8. С увеличением водоцементного отношения выход тампонажного камня снижается.

На основании математической обработки данных лабораторных исследований была разработана следующая формула для определения аналитическим путем величины выхода тампонажного камня:

$$W = \frac{1}{1 + B_{\gamma_{\text{ц}}}} [1 + 1,65 B_{\text{н.г}} \gamma_{\text{ц}} + q (B - 1,65 B_{\text{н.г}})], \quad (\text{II.1})$$

где В — водоцементное отношение раствора, для которого определяется величина выхода тампонажного камня;

$$q = \frac{1 + 1,65B_{п.г}\gamma_{п.г}}{5,0 - 1,65B_{п.г}}; \quad (II.2)$$

$\gamma_{п.г}$  — удельный вес цемента в безразмерных единицах;  $B_{п.г}$  — водоцементное отношение цементного теста при нормальной густоте его. Нормальная густота цементного теста определяется на приборе:

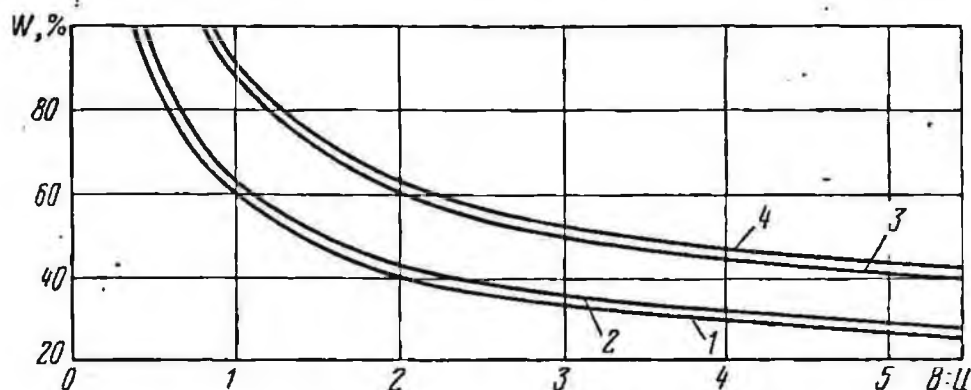


Рис. 12. Зависимость выхода камня цементных растворов от В:Ц раствора при различном виде и количестве добавок-активаторов:

1 — без добавок; 2 — 3%  $\text{CaCl}_2$ ; 3 — 2%  $\text{FeCl}_2$ ; 4 — 3%  $\text{CaCl}_2$  + 2%  $\text{FeCl}_2$

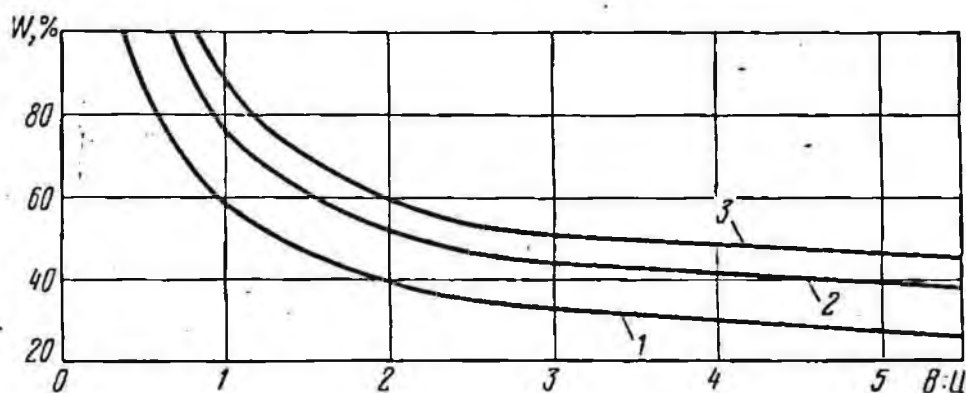


Рис. 13. Зависимость выхода камня цементных растворов от В:Ц при добавках глины и бентонитов:

1 — без добавок; 2 — 5% каолиновой глины; 3 — 5% натриевого бентонита

ре Вика путем погружения в цементное тесто пестика диаметром 10 мм под нагрузкой 300 гс. За значение  $B_{п.г}$  принимается водоцементное отношение цементного теста с таким вязкопластичным состоянием, при котором пестик прибора не доходит до дна кольца на 5—7 мм. При определении  $B_{п.г}$  в состав цементного теста вводятся добавки того же вида и в том же количестве (% от массы цемента), в котором они вводятся в состав исследуемого раствора.

Установленная зависимость применима при значениях водоцементных отношений тампонажного раствора от  $B:Ц = 1,65 \cdot B_{п.г}$  до  $B:Ц = 5,0$ .



Анализ экспериментальных данных и установленной зависимости свидетельствует о хорошей сходимости расчетных и экспериментальных результатов.

Как известно, портландцементы обладают способностью удерживать определенный объем воды, избыточной для гидратации и гидролиза минералов клинкера. Количество удерживаемой цементом избыточной воды зависит от интенсивности сил взаимодействия между частицами твердых составляющих раствора. При силах взаимодействия, меньший граничных, находящиеся

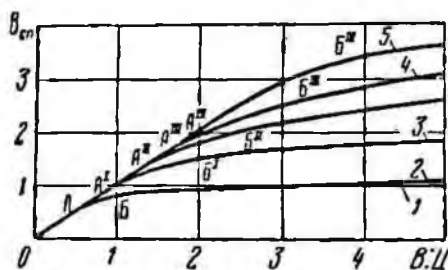


Рис. 14. Зависимость водоудерживающей способности цемента  $V_{сп}$  в составе цементных растворов от  $B:Ц$  с различными добавками-активаторами:

1 — без добавок; 2 — 5%  $ZnCl_2$ ; 3 — 5%  $AlCl_3$ ; 4 — 5%  $Na_2PO_4$ ; 5 — 5% жидкого стекла

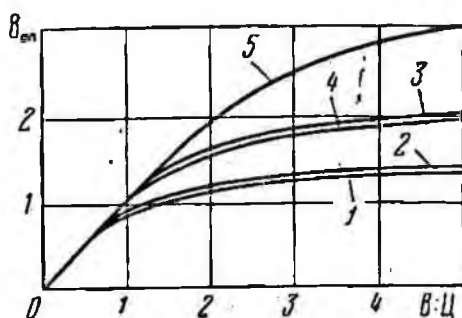


Рис. 15. Зависимость водоудерживающей способности цемента  $V_{сп}$  в составе цементных растворов от  $B:Ц$  при различном виде и количестве добавок-активаторов:

1 — 1%  $AlCl_3$ ; 2 — 1%  $AlCl_3$  + 3%  $CaCl_2$ ; 3 — 2,5%  $AlCl_3$ ; 4 — 2,5%  $AlCl_3$  + 3%  $CaCl_2$ ; 5 — 5%  $AlCl_3$

во взвешенном состоянии частицы цемента постепенно оседают и над осадком образуется слой осветленного фильтрата, толщина которого тем значительнее, чем больше воды содержится в тампонажном растворе сверх водоудерживающей способности цемента при данном водоцементном отношении раствора. Водоцементное отношение осадка выражает величину водоудерживающей способности цемента  $V_{сп}$ .

Максимальная величина водоудерживающей способности цемента без отстоя фильтрата при статическом состоянии раствора зависит от минералогического состава клинкера, крупности помола цемента, вида и количества добавок-активаторов и характеризуется зависимостью

$$V_{сп\max} = 1,65V_{н.г.} \quad (II.2)$$

Величина водоудерживающей способности цементного клинкера в составе тампонажного раствора определяется по формуле

$$V_{сп} = BW - \frac{1}{\gamma_u} (1 - W). \quad (II.3)$$

Лабораторными исследованиями установлено, что при повышении водоцементного отношения раствора сверх  $V_{сп\max}$  наблюдается дальнейший рост водоудерживающей способности цемента.

На рис. 14 можно отметить характерные точки А и Б. Точка А соответствует максимальной водоудерживающей способности цемента без отстоя фильтрата. Кривая от точки А до точки Б соответствует интенсивному росту водоудерживающей способности цемента при наличии отстоя фильтрата в зависимости от водоцементного отношения раствора. На кривой от точки Б и далее прирост водоудерживающей способности незначителен и практически прекращается.

Введение в состав растворов минеральных и химических добавок-активаторов, являющихся в большинстве своем ускорителями схватывания и твердения цементного клинкера, положительно влияет на величину водоудерживающей способности цемента (рис. 15).

### § 9. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРОНИКАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

Одним из основных условий успешного выполнения тампонажных работ, особенно при водогазозоляции выработок, является создание плотного водогазонепроницаемого экрана вокруг них.

Плотный высокопрочный цементный камень образуется при твердении теста, получаемого при затворении сухого цемента и 20—25% (от массы цемента) воды. Однако консистенция таких растворов столь велика, что транспортирование их в тампонируемое пространство невозможно. Поэтому при приготовлении тампонажных растворов в состав их приходится вводить в несколько раз большее количество воды, чем это надо для гидратации цемента.

Показателями, характеризующими текучесть растворов и возможность перекачивания их растворонасосами, являются распыл тампонажного раствора и условная вязкость [6]. Распыл раствора определяется при помощи конуса АзНИИ (рис. 16), условная вязкость — полевым вискозиметром СВП-5.

Конус АзНИИ имеет верхнее основание диаметров  $36 \pm 0,5$  мм, а нижнее  $64 \pm 0,5$  мм. Объем конуса  $120 \text{ см}^3$ . Конус устанавливают на стекло с нанесенными концентрическими окружностями через 5 мм. Стекло имеет регулировочные винты для установки его в горизонтальное положение. Для определения распыла приготовленный раствор тщательно перемешивают и наливают в конус до верхней кромки.

После этого конус плавно поднимается, происходит распыл раствора, по нумерации кругов определяют растекаемость.

Широко применяемые в настоящее время растворонасосы могут перекачивать тампонажные растворы с минимальным распылом 16—20 см и минимальной условной вязкостью 45—50 с.

Проведенными лабораторными исследованиями установлено, что распыл и условная вязкость растворов в основном зависят

от водоудерживающей способности цемента и могут быть изменены введением в состав растворов различных добавок-активаторов.

Расчет параметров нагнетания и режимов движения растворов в растворонагнетательных трубопроводах и тампонируемых породах производят с учетом реологических свойств растворов.

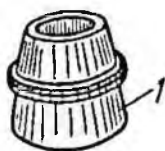


Рис. 16. Конус АзНИИ:

1 — конус; 2 — шкалы; 3 — основание

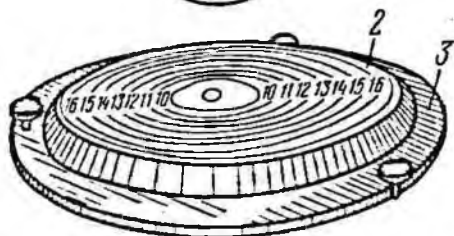
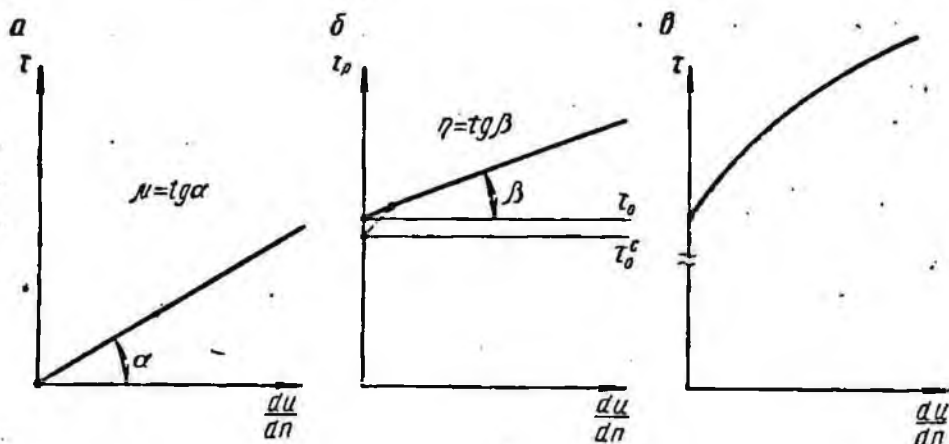


Рис. 17. Характеристики тампонажных растворов:

а — для ньютоновской жидкости; б — для тела Шведова — Бингама; в — для раствора тестообразной консистенции



С реологических позиций большинство однофазных истинных (химических, силикатных) тампонажных растворов относится к первому типу (рис. 17, а), называемому обычно ньютоновскими (бесструктурными) жидкостями. Движение этого типа растворов можно описать уравнением Ньютона

$$\tau = \mu \frac{du}{dn}, \quad (II.4)$$

где  $\tau$  — касательные напряжения трения, действующие между двумя слоями движущейся жидкости, гс/см<sup>2</sup>;  $\mu$  — коэффициент динамической вязкости раствора, гс·с/см<sup>2</sup>;  $\frac{du}{dn}$  — градиент скорости по нормали, 1/с; широко применяемые в настоящее время тампонажные растворонасосы обеспечивают градиенты скорости не более 100 1/с.

Графически уравнение (II.4) представляет прямую, проходящую через начало координат с угловым коэффициентом, равным  $\mu$  (рис. 17, а).

Законы движения неоднородных дисперсных тампонажных растворов значительно отличаются от законов движения ньютоновских жидкостей. Дисперсные растворы можно подразделить на растворы, описываемые с достаточной степенью точности уравнением Шведова — Бингама (рис. 17, б), и растворы, отличающиеся от характеристик идеализированного бингамового тела (рис. 17, в). Последние растворы имеют тестообразную консистенцию, очень высокие значения вязкости  $\eta$  (0,1 гс·с/см<sup>2</sup> и более) и поэтому практически непригодны для тампонажа.

Процесс движения грубодисперсных тампонажных растворов достаточно точно отражает закон Шведова — Бингама:

$$\tau_p = \tau_0 + \eta \frac{du}{dn}, \quad (II.5)$$

где  $\tau_p$  — касательное напряжение в растворе, соответствующее градиенту скорости  $\frac{du}{dn}$ , гс/см<sup>2</sup>;  $\tau_0$  — напряжение начала текучести, или предельное динамическое напряжение сдвига, гс/см<sup>2</sup>;  $\eta$  — структурная, или пластическая, вязкость раствора, гс·с/см<sup>2</sup>.

Уравнение Шведова — Бингама графически представляет собой прямую, отсекающую на оси напряжений отрезок, равный  $\tau_0$ , а ее угловой коэффициент определяет постоянную пластическую вязкость  $\eta$ , не зависящую от градиента скорости (см. рис. 17, б).

При малых касательных напряжениях ввиду наличия сопротивления структуры тампонажный раствор не течет. Когда напряжение достигает величины предельного статического напряжения сдвига  $\tau_0^c$ , начинается разрушение структуры и медленное течение раствора. С ростом  $\tau_p$  и  $\frac{du}{dn}$  происходит разрушение структуры раствора во все большей и большей степени. Однако полного разрушения структуры движущегося раствора не происходит, так как некоторая доля связей, образующих пространственную структуру раствора, успевает обратно восстановиться в потоке даже при больших скоростях течения. Таким образом, величина  $\tau_0^c$  характеризует напряжение, необходимое для начального разрушения структуры (начало текучести), а величина  $(\tau_p - \tau_0^c)$  представляет собой добавочное напряжение, которое затрачивается на разрушение структуры в текущем (движущемся) растворе.

Структурная вязкость растворов, особенно в период схватывания раствора, резко увеличивается. Тампонажный раствор приобретает некоторую пластическую прочность, которая характеризуется величиной предельного напряжения сдвига.

В отличие от прочностных характеристик, которые определяют физико-механические параметры тампонажного камня,  $\tau_0^c$ ,  $\tau_0$ ,  $\mu$ ,  $\eta$  и  $\rho_{\max}$  часто называют основными реологическими параметрами.

рами тампонажных растворов, так как они характеризуют структурно-механические свойства растворов в потоке.

Для измерения величин динамической  $\mu$  и пластической  $\eta$  вязкости, предельного статического напряжения сдвига  $\tau_0^c$  и предельного динамического напряжения сдвига  $\tau_0$  используют вискозиметры различных конструкций.

При исследованиях реологических параметров ньютоновских жидкостей (химические и силикатные растворы) используют в основном капиллярные вискозиметры СПВ-5 и ВЗ-4.

Стандартный полевой вискозиметр СПВ-5 (рис. 18) состоит из воронки 1, заканчивающейся трубкой 2 диаметром 5 мм, кружки 3 с глухой перегородкой, разделяющей ее на две части емкостью 200 и 500 см<sup>3</sup>. Перед определением вязкости раствор взбалтывают и пропускают через сетку. Воронку промывают водой и заполняют 700 см<sup>3</sup> раствора, предварительно закрыв трубку воронки снизу. После этого в отделение кружки емкостью 500 см<sup>3</sup> выпускают через трубку раствор. Время истечения 500 см<sup>3</sup> раствора замедляется при помощи секундомера. По замеренному времени истечения 500 см<sup>3</sup> раствора, пользуясь тарировочными кривыми, с достаточной степенью точности определяют динамическую вязкость раствора.

Аналогичную методику определения вязкости применяют на вискозиметре ВЗ-4.

Рис. 18. Стандартный полевой вискозиметр СПВ-5

В практике производства тампонажа при использовании вискозиметра СПВ-5, а также ВЗ-4 обычно определяют условную вязкость раствора, под которой понимается время истечения в секундах определенного количества тампонажного раствора через калиброванное отверстие-сопло вискозиметра. Время истечения раствора обычно сравнивается с временем истечения чистой воды. Время истечения 500 см<sup>3</sup> воды при применении СПВ-5 равно 15 с — это так называемое водное число вискозиметра.

При исследованиях реологических параметров дисперсных тампонажных растворов применяют ротационные вискозиметры, в том числе СНС-2, ВСН-2, РВЦ-1, РПЦ-1.

Основными частями ротационного вискозиметра СНС-2 (рис. 19) являются соосно расположенные цилиндр 5 и стакан 6. В кольцевой зазор между цилиндром и стаканом заливается исследуемый тампонажный раствор. Вращение стакана 6 производится от электродвигателя с редуктором. Частота вращения стакана приблизительно равна 0,2 об/мин. Для измерения реологических параметров раствора служат упругая нить 13 диаметром 0,3—2,0 мм, закрепленная на внутреннем цилиндре, и градуированный лимб. К штативу прибора прикреплен указатель.

После заливки исследуемого тампонажного раствора включается двигатель. В начальный момент исследований внутренний цилиндр вращается вместе со стаканом, так как усилие вращения передается ему через структуру тампонажного раствора. При этом внутренний цилиндр может несколько отставать от стакана за счет пластических деформаций раствора. По мере закручивания стальной нити сопротивление закручиванию возрастает и, наконец, превышает прочность структуры раствора. В этот момент происходит резкий сдвиг, внутренний цилиндр останавливается, хотя наружный продолжает вращаться. С помощью лимба определяют угол наибольшего поворота внутреннего цилиндра от его начального положения, по которому определяют статическое напряжение сдвига [21].

Для одновременного определения реологических параметров тампонажных растворов на основе цемента, глина и т. д. используют в основном многоскоростные ротационные вискозиметры. Одним из таких вискозиметров является вискозиметр РПЦ-1, кинематическая схема которого показана на рис. 20. Вращение внутреннего цилиндра осуществляется электродвигателем с помощью вариатора и углового редуктора. Частота вращения внутреннего цилиндра может изменяться от 0,1 до 1000 об/мин. Диапазон измерения напряжений сдвига при статических измерениях 0—0,4 гс/см<sup>2</sup>, при динамических измерениях 0—2 гс/см<sup>2</sup>.

Методика измерения предельного статического напряжения сдвига  $\tau_0^c$  отличается от методики определения  $\tau_0^c$  на приборах СНС-2 тем, что разрушение структуры раствора, предшествующее измерению, обеспечивается вращением подвижного цилиндра с максимально возможной для данного прибора скоростью в течение 0,5 мин.

Для измерения  $\tau_0$  и  $\eta$  после измерения  $\tau_0^c$  включают наибольшую частоту вращения подвижного цилиндра. Через 5 мин измеряют угол закручивания измерительного элемента. Далее последовательно включают меньшие частоты, вращая подвижный цилиндр в течение 3 мин. По полученным замерам угла закручивания определяют  $\tau_0$  и  $\eta$  по формулам:

$$\tau_0 = \frac{\Delta\varphi_1 m}{\ln \frac{R_n}{R_b}}, \text{ гс/см}^2, \quad (\text{II.6})$$

$$\eta = m \frac{\Delta\varphi'' - \Delta\varphi'}{\omega'' - \omega'}, \quad (\text{II.7})$$

где  $m = K \frac{R_n^2 - R_b^2}{4\pi L R_n^2 R_b^2}$  — константа вискозиметра на 1° закручивания измерительного элемента, кг/см<sup>2</sup>;  $K$  — упругость измерительного элемента на 1° закручивания, гс·см;  $R_n$  — внутренний радиус наружного цилиндра, см;  $R_b$  — внешний радиус внутреннего цилиндра, см;  $L_{\text{оп}}$  — высота внутреннего цилиндра, см;  $\Delta\varphi$  — угол закручивания внешнего цилиндра, градус;  $\omega$  — угловая скорость вращения подвижного цилиндра, градус.

Величины  $\tau_0$  и  $\eta$  в основном зависят от водоцементного отношения раствора, от вида и количества добавок-активаторов, времени перемешивания и технологии приготовления растворов,

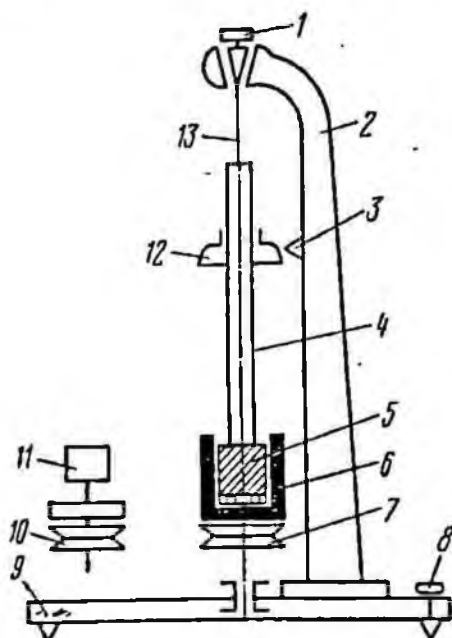
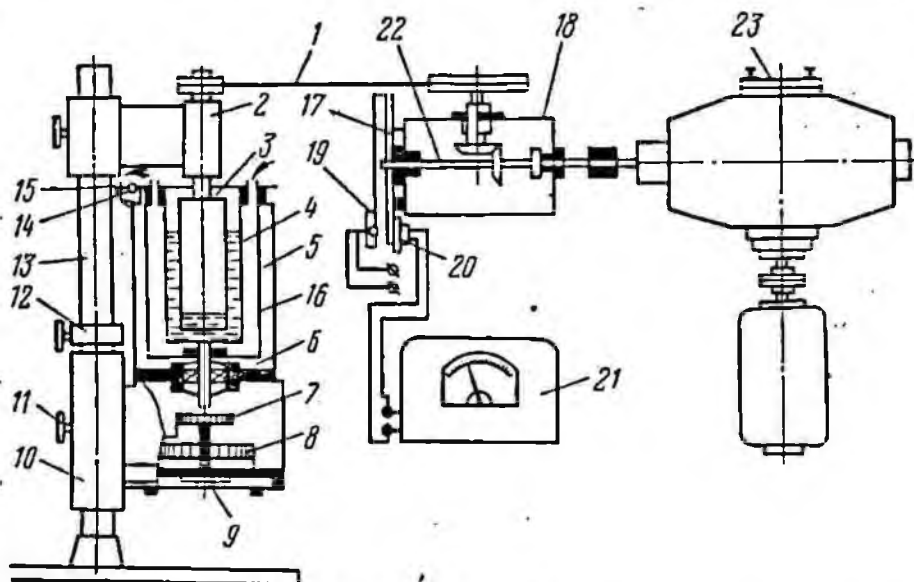


Рис. 19. Ротационный вискозиметр РНС-2:

1 — пробка; 2 — стойка; 3 — указатель; 4 — трубка; 5 — внутренний цилиндр; 6 — стакан; 7 — шкив; 8 — установочный винт; 9 — плата; 10 — шкив; 11 — электродвигатель; 12 — лимб; 13 — стальная упругая нить

Рис. 20. Кинематическая схема вискозиметра РПЦ-1:

1 — ремень; 2 — опора внутреннего цилиндра; 3 — внутренний цилиндр; 4 — наружный цилиндр; 5 — кожух; 6 — верхняя опора термостата; 7, 8 — спиральные пружины; 9 — нижняя опора термостата; 10 — направляющая втулка; 11 — стопорный винт; 12 — фиксатор; 13 — стойка; 14 — лимб; 15 — указатель угла поворота; 16 — рубашка термостата; 17 — датчик счетчика оборотов; 18 — угловой редуктор; 19 — лампочка; 20 — фотозлемент; 21 — счетчик оборотов; 22 — валик; 23 — варнатор



а также от периода времени  $\Delta t$  между концом затворения раствора и замером реологических характеристик.

Максимальные величины  $\tau_0$  и  $\eta$  имеют тампонажные растворы с водоцементным отношением, равным  $B_{н.г.}$  и находящиеся в статическом состоянии. С увеличением водоцементного отношения величина  $\tau_0$  резко снижается и при  $B : Ц \approx 2$ , для цементных ра-



створов без добавок практически равно нулю. Величина  $\eta$  при увеличении  $B : Ц$  от 0,5 до 2,0 снижается почти в 20 раз.

Добавки-активаторы и наполнители, повышающие водоудерживающую способность цемента, и ускорители схватывания при прочих равных условиях существенно повышают величины  $t_0$  и  $\eta$ . Добавки, уменьшающие водоудерживающую способность цемента, в том числе и поверхностно-активные добавки, вызывают снижение или  $t_0$ , или  $\eta$ , а чаще всего обоих этих показателей. Количество добавок, вводимых в состав раствора, оказывает влияние на степень изменения реологических характеристик раствора. Относительная эффективность действия добавок, снижающих или увеличивающих значения  $t_0$  и  $\eta$  при прочих равных условиях уменьшается по мере увеличения водоцементного отношения раствора.

При прочих равных условиях время перемешивания тампонажных растворов оказывает существенное влияние на реологические параметры их. Так, при приготовлении раствора в мешалках с частотой вращения смесительного вала 50—200 об/мин увеличение времени перемешивания в интервале от 10 до 30 мин ведет к резкому (в 2—3 раза) снижению  $t_0$  и  $\eta$  тампонажных растворов. Продолжительность перемешивания раствора более 30 мин не оказывает существенного влияния на дальнейшее изменение реологических параметров раствора. Оптимальное время приготовления (перемешивания) тампонажных растворов на основе цемента по этому фактору можно принимать 15—20 мин для растворомешалок с частотой вращения смесительного вала до 200 об/мин; для турбулентных смесителей КузНИИшахтоостроя (600—800 об/мин) оптимальное время перемешивания составляет 1—2 мин.

При вибрировании раствора значительно снижаются величины  $t_0$  и  $\eta$ .

С увеличением  $\Delta t$  реологические характеристики тампонажных растворов, находящихся в статическом состоянии, увеличиваются. При турбулентном характере движения раствора реологические характеристики его практически не изменяются во времени. При ламинарном движении изменение реологических характеристик раствора во время движения имеет сложный характер.

Таким образом, регулирование абсолютных значений  $t_0$  и  $\eta$  в довольно широких пределах возможно в первую очередь введением в состав растворов различных добавок-активаторов и изменением водоцементного отношения раствора с учетом технологических и временных факторов процесса тампонажа.

В табл. 3 приведены реологические характеристики отдельных составов тампонажных растворов, составленные на основании некоторых литературных источников.

Из данных табл. 3 видно, что при градиентах скорости сдвига не более  $100 \text{ с}^{-1}$  решающее влияние на величину сопротивления движению тампонажных растворов оказывает динамическое напряжение сдвига  $t_0$ , а не структурная вязкость раствора. По мере

Таблица 3

| Состав тампонажного раствора                               | Динамическое напряжение сдвига $\tau_0$ , гс/см <sup>2</sup> | Структурная или пластическая вязкость $\eta$ , гс·с/см <sup>2</sup> |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <i>Цементные растворы</i>                                  |                                                              |                                                                     |
| Ц:В = 1:0,4                                                | 152,9                                                        | 0,603                                                               |
| Ц:В = 1:0,6                                                | 28,22                                                        | 0,147                                                               |
| Ц:В = 1:0,8                                                | 7,47                                                         | 0,087                                                               |
| Ц:В = 1:1                                                  | 4,58                                                         | 0,059                                                               |
| Ц:В = 1:2                                                  | 0                                                            | 0,031                                                               |
| Ц:В = 1:3                                                  | 0                                                            | 0,023                                                               |
| Ц:В = 1:5                                                  | 0                                                            | 0,016                                                               |
| Ц:В = 1:10                                                 | 0                                                            | 0,013                                                               |
| Ц:В = 1:0,6 с добавкой 0,2% ССБ от массы цемента           | 20                                                           | 0,12                                                                |
| Ц:В = 1:0,6 с добавкой 5% бентонита                        | 90                                                           | 0,63                                                                |
| Ц:В = 1:0,6 с добавкой 3% CaCl <sub>2</sub>                | 45                                                           | 0,30                                                                |
| Ц:В = 1:0,6 с добавкой 5% жидкого стекла                   | 63                                                           | 0,96                                                                |
| Ц:В = 1:0,6 (при выдерживании в покое $\Delta t = 30$ мин) | 213                                                          | 0,89                                                                |
| <i>Глаucoцементные растворы</i>                            |                                                              |                                                                     |
| Ц:Г:В = 1:0,5:1,20                                         | 195,3                                                        | 0,215                                                               |
| Ц:Г:В = 1:0,5:1,50                                         | 48,2                                                         | 0,124                                                               |
| Ц:Г:В = 1:0,5:4,5                                          | 0                                                            | 0,034                                                               |
| Ц:Г:В = 1:1:2                                              | 122,3                                                        | 0,167                                                               |
| Ц:Г:В = 1:1:4                                              | 4,9                                                          | 0,053                                                               |
| Ц:Г:В = 1:1:6                                              | 0,3                                                          | 0,039                                                               |

уменьшения градиента скорости удельный вес напряжений, возникающих в движущемся растворе в результате действия  $\eta$ , в общей сумме напряжений постоянно снижается. Поэтому при разработке составов тампонажных растворов следует стремиться прежде всего к снижению  $\tau_0$  как фактора, оказывающего решающее влияние на общую величину внутренних напряжений в нагнетаемых растворах.

Результаты тампонажных работ, особенно при водогазонизоляции выработок, находятся при прочих равных условиях в прямой зависимости от величины проникающей способности применяемого тампонажного раствора. Критерий оценки проникающей способности растворов различен. Одни авторы за такой критерий принимают глубину проникновения раствора в трещины и поровые каналы, другие — объем закачанного раствора.

В лабораторных условиях относительная проникающая способность растворов различных составов определяется глубиной проникновения их в систему трубок под действием одинакового давления. За единицу относительной проникающей способности принимается глубина проникновения цементного раствора без

Таблица 4

| В : Ц раствора | Добавки к раствору, %<br>от массы цемента | Относительный<br>показатель<br>проникающей<br>способности |
|----------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 0,5            | Без добавок                               | 1,0                                                       |
| 0,5            | 0,5% алюмината натрия                     | 0,58                                                      |
| 0,5            | 3,0% жидкого стекла                       | 0,48                                                      |
| 0,5            | 0,02% винсола                             | 1,48                                                      |
| 0,5            | 0,5% окзила                               | 3,40                                                      |
| 0,65           | Без добавок                               | 2,91                                                      |
| 0,65           | 3,0% хлорного железа                      | 1,53                                                      |
| 0,65           | 5,0% бентонита                            | 1,21                                                      |
| 0,65           | 0,5% окзила                               | 5,11                                                      |

добавок с водоцементным отношением, равным 0,5. Величины относительной проникающей способности некоторых составов цементных растворов с различными добавками, по данным исследований П. П. Гальченко, приведены в табл. 4.

Величина пластической прочности  $p_{\max}$  может быть определена на различного типа пластометрах, из которых наибольшее распространение нашли конический пластометр конструкции МГУ и переоборудованный для измерения пластической прочности прибор Вика. В последнем случае используют наконечники на игле в виде конусов с углом при вершине 90 и 60°. Конусные наконечники изготавливают из легкого материала — сплавов алюминия или оргстекла.

Определение пластической прочности тампонажных растворов на приборе Вика состоит в следующем. Приготовленный тампонажный раствор заливают в стальное кольцо прибора, установленное на стеклянной подставке. После выравнивания поверхности раствора кольцо устанавливают на прибор и острие конуса подводят к поверхности раствора. При отпускании стопора конус погружается в раствор под действием веса подвижной системы прибора. По величине погружения конуса рассчитывают пластическую прочность структуры раствора по формуле

$$p_{\max} = K_a \frac{G}{h^2}, \text{ гс/см}, \quad (\text{II.8})$$

где  $p_{\max}$  — пластическая прочность структуры, гс/см<sup>2</sup>;  $G$  — вес погружаемой системы, гс;  $h$  — глубина погружения конуса в исследуемый раствор, см;  $K_a$  — коэффициент, зависящий от угла конуса.

Коэффициент  $K_a$  может быть определен по формуле

$$K_a = \frac{1}{\pi} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (\text{II.9})$$

Максимальная величина пластической прочности зафиксирована в цементных растворах с В:Ц, равным или несколько меньшим  $B_{н-г}$  ( $p_{max}$  теста нормальной густоты, по данным Е. Е. Сегаловой и других, равна 100—120 гс/см<sup>2</sup>). Пластическая прочность цементных растворов с В:Ц=2,0 и выше практически равна нулю. Пластическая прочность раствора может в определенной степени характеризовать седиментационную устойчивость их. Экспериментально было установлено, что седиментационная устойчивость растворов обеспечивается, если в начальный момент после затворения пластическая прочность превышает 70—80 мгс/см<sup>2</sup>.

Продолжительность перемешивания раствора при приготовлении его оказывает существенное влияние на рост пластической прочности в первые 10—15 мин перемешивания. Пластическая прочность в этот период возрастает в 10—20 раз по сравнению с пластической прочностью раствора после затворения его, при дальнейшем перемешивании пластическая прочность раствора снижается.

Пластическая прочность растворов, находящихся в статическом состоянии, непрерывно возрастает во времени вплоть до схватывания раствора. Интенсивность возрастания пластической прочности во времени определяется активностью цемента, водоцементным отношением раствора, температурой окружающей среды и влиянием введенных в состав растворов добавок-активаторов.

Введение в состав растворов добавок-активаторов оказывает существенное влияние на величину пластической прочности раствора после приготовления его. Пластифицирующее влияние оказывают поверхностно-активные добавки ССБ, мылонафт, СДБ, виксол и т. д. (при значениях водоцементных отношений менее 1,0 при больших значениях В:Ц влияние поверхностно-активных добавок на пластическую прочность раствора незначительно). Введение в состав растворов добавок-ускорителей и тонкодисперсных минеральных добавок (бентониты, глины и т. д.) значительно увеличивает пластическую прочность растворов при всех значениях В:Ц.

## § 10. ОТЖИМ ВОДЫ ИЗ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

При нагнетании раствора в тампонируемое пространство происходит отжим воды затворения из нагнетаемого раствора — водоотдача, в результате чего изменяются водоцементное отношение, сроки схватывания и реологические параметры закачанного раствора, плотность, прочность, пористость и водопрооницаемость затвердевшего цементного камня.

В отличие от водоотделения, которое происходит под влиянием гравитационной силы, водоотдача раствора — явление более сложное. Водоотдача представляет собой процесс отфильтровывания избыточной воды из раствора под действием разности давлений по обе стороны от поверхности фильтрации. Водоотда-

ча происходит только при наличии фильтрующей поверхности и перепада давления. При отсутствии какого-нибудь из этих факторов водоотдачи не происходит.

При тампонировании горных пород фильтрующая среда, через которую происходит отфильтровывание жидкой фазы раствора, состоит из проницаемой среды самого тампонажного раствора и проницаемой среды тампонируемых пород. При водоотдаче под воздействием перепада давлений происходит уплотнение структуры нагнетаемого раствора. Цементное тесто в период превращения его в твердое тело обладает значительной проницаемостью и при наличии перепада давлений хорошо пропускает через себя отжимаемый фильтрат. При гидратации цементного клинкера происходит непрерывное упрочнение цементного камня во времени, что приводит к снижению проницаемости тампонажного заполнения.

В лабораторных условиях были проведены опыты по выявлению влияния величины давления нагнетания и длительности приложения этого давления к закачанному раствору на степень и интенсивность обезвоживания (водоотдачи) цементного раствора.

Под степенью обезвоживания понимается количество отжатой воды при приложении давления в течение определенного промежутка времени. Степень обезвоживания определяется как разность между первоначальным значением водоцементного отношения закачиваемого тампонажного раствора и конечным значением водоцементного отношения цементного теста после приложения давления нагнетания на раствор.

Под интенсивностью водоотдачи понимается количество отжимаемой воды в единицу времени.

Исследования процессов водоотдачи проводили на приборе для испытаний грунтов на сдвиг П-9с. В гильзу прибора заливали цементный раствор. По верхнему и нижнему основаниям раствора прокладывали листки фильтровальной бумаги или сетки с мелкими ячейками. Это позволило исключить вынос мелких цементных частиц через относительно большие отверстия дренажных решеток прибора. К цементному раствору прикладывали при помощи рычагов сжимающую нагрузку (рис. 21). Величина вертикальной нагрузки на образец соответствует величине перепада давления на поверхностях фильтрации. Нагрузку на цементный раствор прилагали ступенями через  $0,5 \text{ кгс/см}^2$ .

Применение для исследования процессов водоотдачи более сложных приборов дает аналогичные результаты, близкие к описанным выше.

Проведенные исследования позволили установить следующее.

Оптимальным давлением нагнетания по степени и интенсивности водоотдачи является давление, превышающее гидростатический напор более чем на  $3\text{--}5 \text{ кгс/см}^2$ ; при меньшем превышении необходимо длительное (до 25 мин) приложение давления, что не всегда представляется возможным при производстве там-

показных работ. При таком превышении давления нагнетания водоцементное отношение цементного теста достигает 0,32—0,35.

Образовавшийся после отжима воды несхватившийся цементный тампон способен фильтровать через себя воду в направлении меньшего давления. Вынос цементных частиц при этом минимален.

Фильтрат (отжатая вода) представляет собой раствор химических соединений в воде. На основании качественного химиче-

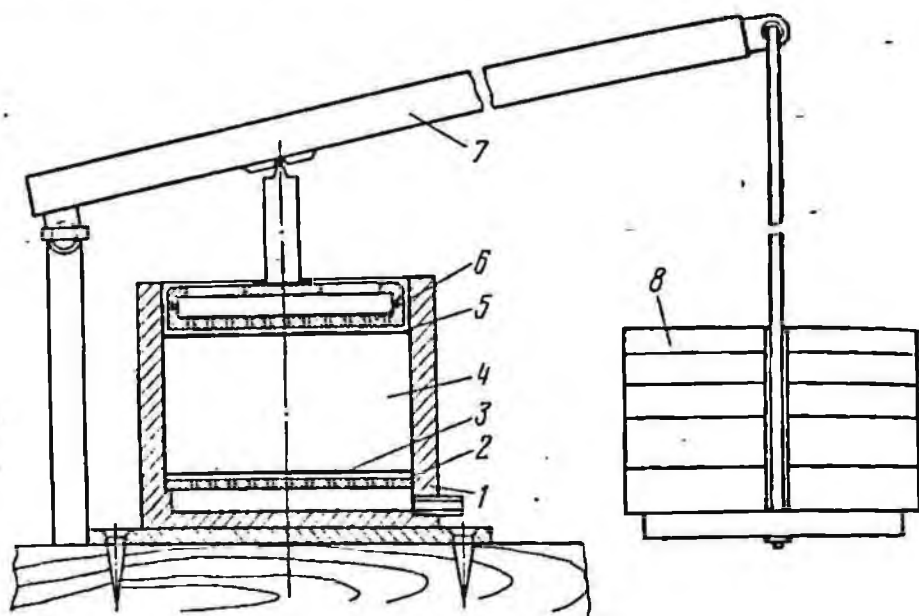


Рис. 21. Схема установки для определения параметров отжима воды затворения из растворов под давлением нагнетания:

1 — корпус прибора; 2 — нижняя дренажная решетка; 3 и 5 — фильтровальная бумага; 4 — тампоновый раствор; 6 — верхняя дренажная решетка; 7 — система тяг; 8 — набор грузов

ского анализа установлено, что химический состав фильтрата представлен:

при применении в качестве химических добавок хлористых и хлорных соединений — раствором в воде гидроокиси кальция, следов хлоридов и сернистого кальция;

при введении в состав раствора жидкого стекла или алюмината натрия — низкоконцентрированном гидрогелем продуктов взаимодействия цемента с добавками гидроокиси кальция и следов сернистого кальция;

без добавок — раствором в воде гидроокиси кальция и следов сернистого кальция.

Вводимые в цементный раствор добавки-активаторы в основном связываются с продуктами гидратации цемента в период приготовления (перемешивания) раствора. Гидрогель продуктов взаимодействия жидкого стекла или алюмината натрия с продуктами гидратации цемента частично уносятся отжимаемой при на-

гнетании водой затворения. Гидрогель, как показали лабораторные исследования, обладая значительными (до 24 ч) сроками геолообразования, активно взаимодействует с хлоридами и некоторыми кислотами, при этом происходит практически мгновенное выпадение в осадок новообразований.

При ликвидации притоков взаимодействующих с гидрогелем минерализованных подземных (в основном хлоридного типа) вод возможны случаи забивания новообразованиями вблизи расположенных к скважине мелких пор и тонких трещин, что приводит к ограничению зоны распространения раствора и неэффективному выполнению водоизоляционных работ при тампонировании мелкопористых и тонкотрещиноватых породных массивов.

При тампонировании трещиновато-пористых породных массивов со средней и крупной трещиноватостью, а также горных пород, содержащих, кроме тампонируемых, густую сеть тонких трещин, как показали исследования КузНИИШахтоостроя, новообразования перекрывают тонкие трещины и поры, в результате чего отфильтрование жидкой фазы из нагнетаемого раствора из-за уменьшения фильтрующей поверхности массива горных пород резко снижается, что, в свою очередь, ведет к уменьшению сопротивления движению тампонажного раствора в трещинах.

Увлекаемый отжимаемой водой гидрогель при гидроизоляции не взаимодействующих с ним подземных вод практически не влияет на результаты тампонажа. Последние в основном определяются горно-геологическими условиями тампонируемого участка, физико-механическими и реологическими характеристиками растворов и принятой технологией тампонажных работ.

Первоначальная концентрация цементных растворов, вид и количество добавок-активаторов практически не влияют на степень водоотдачи раствора. Интенсивность обезвоживания в значительной мере зависит от величины давления нагнетания и первоначальной концентрации цементного раствора, но не зависит от вида и количества добавок-активаторов раствора.

Лабораторные исследования по отжиму воды затворения из растворов, нагнетаемых под давлением в закрепное пространство, были проверены при выполнении последующего тампонажа ствола шахт № 18 «Капитальная» и «Западно-Донбасская» № 2.

При тампонаже вентиляционного ствола шахты № 18 «Капитальная» (Печорский угольный бассейн) использовали цементный раствор состава 1:1 (цемент:вода) с добавкой 3% хлористого кальция и 1,2% хлорного железа от массы цемента. Этот раствор при температуре окружающей среды  $+3 \div +4^\circ\text{C}$  должен был схватиться в трещинах через 35 ч при условии сохранения первоначальной концентрации. Однако при контрольном бурении шпуров по истечении 12 ч после окончания нагнетания было установлено, что закачанный цементный раствор схватился и твердеет. Контрольный шпур был пробурен на глубину 2,5 м. До глубины 2 м приток воды в шпур отсутствовал. После глубины 2 м (глубина распространения тампонажного раствора) приток воды



и шпур составил  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$  при гидростатическом напоре  $8-10 \text{ кгс/см}^2$ . Тампонируемые породы были представлены сильно трещиноватыми песчаниками с равномерным распространением трещин. Отсутствие воды в контрольном шпуре в зоне распространения тампонажного раствора убедительно свидетельствует о том, что закачанный раствор схватился и твердеет. Конец схватывания раствора через 12 ч после нагнетания соответствует водоцементному отношению тампонажного камня, равному как максимум 0,35.

При последующем тампонаже пород закрепного пространства выработок, закрепленный бетонной крепью с мелкими трещинами и порами в бетоне, можно наблюдать, как в первоначальный период нагнетания через трещины выносятся разжиженный тампонажный раствор. При дальнейшем нагнетании вынос твердых составляющих тампонажного раствора прекращается и через трещины выходит осветленная жидкость, представляющая фильтрат.

Таким образом, закачанный в тампонируемое пространство цементный раствор претерпевает существенные изменения, в результате чего сроки схватывания, прочностные показатели и водопроницаемость затвердевшего тампонажного камня соответствуют аналогичным показателям цементного раствора с водоцементным отношением 0,35, затвердевшего в статическом состоянии.

Исходя из этого физико-механические параметры закачанного и твердеющего в закрепном пространстве раствора с достаточной степенью точности могут быть определены при исследованиях раствора с  $B : Ц = 0,35$ , твердеющего в статическом состоянии.

## § 11. СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

Сроки схватывания цементных растворов зависят от минералогического состава и марки цемента, количества воды затворения, вида и количества вводимых в состав раствора добавок-ускорителей или замедлителей схватывания и температуры окружающей среды.

Процесс схватывания цементных растворов обычно оценивают прибором Вика. Иглу прибора погружают в цементный раствор через каждые 5 мин — до начала схватывания и через 15 мин — в последующее время до конца схватывания. Началом схватывания считают время от начала затворения до того момента, когда игла не будет доходить до дна прибора на  $0,5-1,0 \text{ мм}$ . Концом схватывания считают время от начала затворения до момента, когда игла будет опускаться в раствор не более чем на  $1,0 \text{ мм}$ .

Процесс загустевания — схватывания цементных растворов может также изучаться на пластометрах различных конструкций. Типичные кривые изменения пластической прочности во времени для цементного раствора составов  $1:0,5$  и  $1:1$  (цемент : вода) без добавок показаны на рис. 22. В начальный период

пластическая прочность невелика и нарастает медленно. Первый период характеризуется наличием в системе разобщенных частиц и гидратных новообразований, поэтому, например, перемешивание раствора в этот период не нарушает процесса твердения. Второй период — характеризуется интенсивным нарастанием пластической прочности, когда начинают возникать кристаллообразования. Нарушение структуры в этот период приводит к образованию рыхлой массы.

Начало схватывания раствора из портландцемента, определяемое с помощью прибора Вика, соответствует по кривой пластичности  $1,0-1,5 \text{ кгс/см}^2$ . Это значение находится выше места перегиба и указывает на первую потерю пластичности. Конец схватывания по кривой пластической прочности соответствует приблизительно  $5 \text{ кгс/см}^2$ , что указывает на возрастание скорости твердения в первый период.

Для других видов цемента пределы начала и конца схватывания на кривой пластичности могут иметь другие значения.

В лабораторных условиях было исследовано влияние различных добавок-активаторов на сроки схватывания цементных растворов различной концентрации — В : Ц от 0,35 до 5 при температурах окружающей среды  $-5, +5, +20, +40^\circ \text{C}$ . Вводились добавки в различных количествах от массы цемента и различной последовательности в процессе затворения раствора. Исследовались как одинарные, так и комплексные добавки с различным соотношением составляющих.

В результате экспериментальных исследований выявлен ряд закономерностей.

Сроки схватывания цементных растворов без добавок увеличиваются в соответствии с ростом водоудерживающей способности цементного клинкера. Интенсивность увеличения сроков схватывания раствора согласуется с ростом водоудерживающей способности цемента (рис. 23).

Зависимость сроков схватывания цементного раствора от водоудерживающей способности цемента имеет линейный характер

$$\frac{t'_{\text{н}}}{t''_{\text{н}}} = \frac{t'_{\text{к}}}{t''_{\text{к}}} = \frac{B'_{\text{сп}}}{B''_{\text{сп}}}, \quad (\text{II.10})$$

где  $t'_{\text{н}}$ ,  $t'_{\text{к}}$  — соответственно начало и конец схватывания раствора при водоудерживающей способности цемента, равной  $B'_{\text{сп}}$

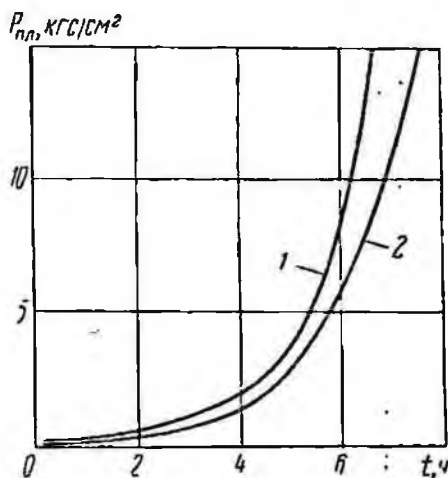


Рис. 22. Зависимость пластической прочности от времени для цементных растворов:

1 — для состава Ц : В = 1 : 0,5; 2 — для состава Ц : В = 1 : 1

(в частности при нормальной густоте цементного теста  $B_{н-г}$ );  $t_{н''}$ ,  $t_{к''}$  — соответственно начало и конец схватывания раствора при водоудерживающей способности цемента, равной  $B''_{сп}$ .

Зависимость (II.19) позволяет просто и достаточно быстро определять сроки схватывания растворов при различных значе-

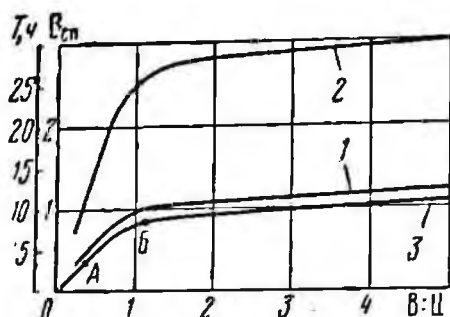


Рис. 23. Зависимость сроков схватывания и водоудерживающей способности цемента в составе цементных растворов без добавок от  $B:Ц$ : 1 — начало схватывания; 2 — конец схватывания; 3 — водоудерживающая способность цемента

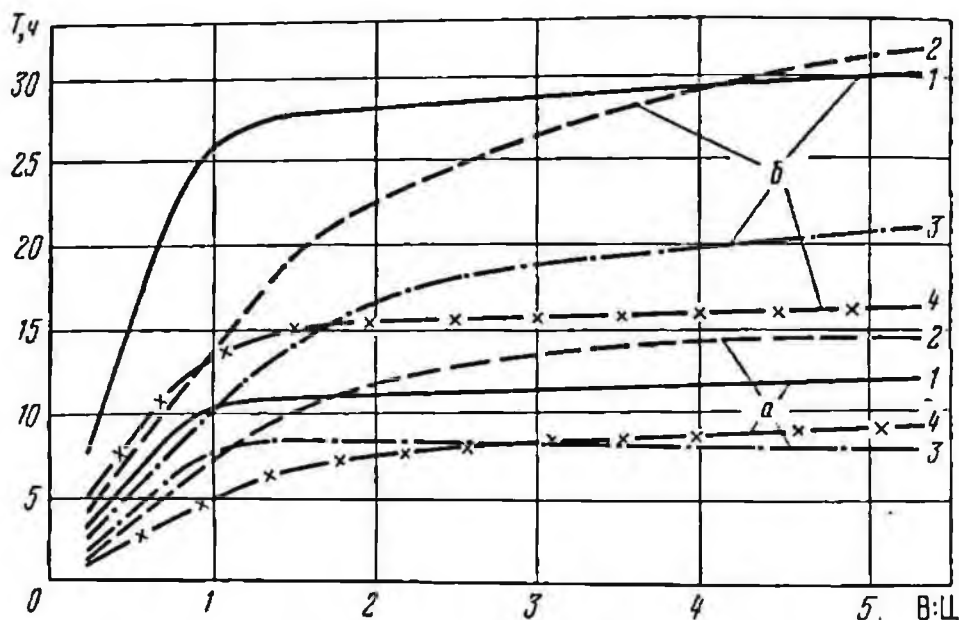


Рис. 24. Зависимость сроков схватывания цементных растворов от  $B:Ц$  при различных добавках-ускорителях:

$a$  — начало схватывания;  $b$  — конец схватывания; 1 — раствор без добавок; 2 — с добавкой 5%  $AlCl_3$ ; 3 — с добавкой 5%  $CaCl_2$ ; 4 — с добавкой 3%  $CaCl_2$  + 1%  $AlCl_3$

ниях водоцементного отношения по имеющимся данным о водоудерживающей способности цемента и известном сроке схватывания раствора при каком-нибудь водоцементном отношении.

Добавки хлористого кальция, практически не влияющие на изменение водоудерживающей способности цемента, существенно уменьшают сроки схватывания цементного раствора при различных значениях водоцементного отношения (рис. 24).

Добавки — ускорители схватывания, увеличивающие водоудерживающую способность цемента, за исключением добавок хлористого алюминия и жидкого стекла, значительно уменьшают сроки схватывания раствора по сравнению с раствором без добавок при водоцементных отношениях до 2. При водоцементных отношениях раствора более 2 сроки схватывания растворов с добавками несколько больше сроков схватывания растворов без добавок (рис. 24 и 25).

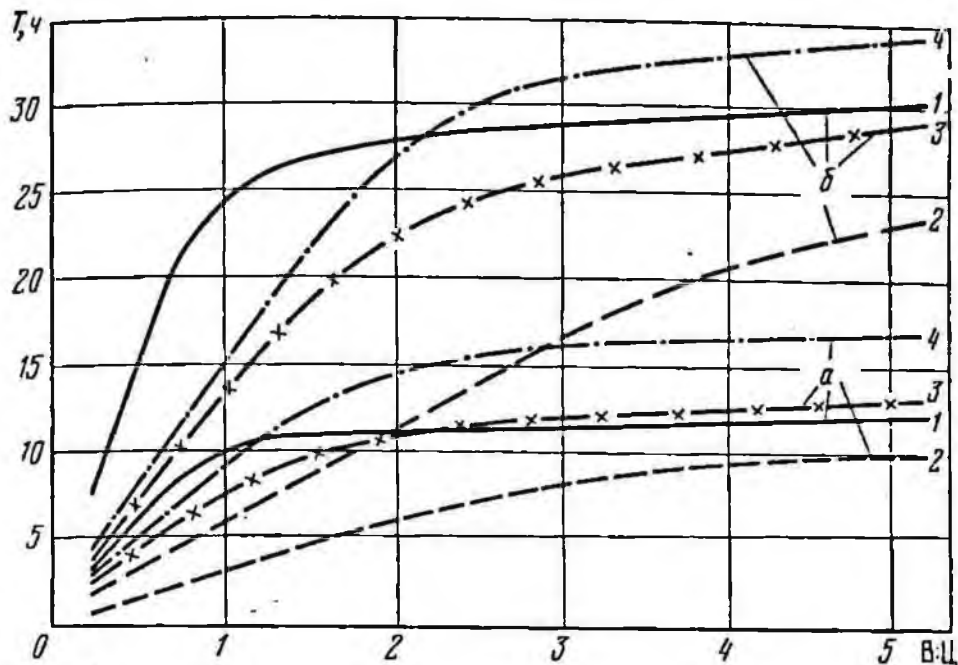


Рис. 25. Зависимость сроков схватывания цементных растворов от В:Ц при различных добавках-активаторах:

а — начало схватывания; б — конец схватывания; 1 — без добавок; 2 — с добавкой 5% жидкого стекла; 3 — с добавкой 3%  $\text{CaCl}_2 + 1,5\%$   $\text{FeCl}_3$ ; 4 — с добавкой 1%  $\text{Na}_3\text{PO}_4 + 5\%$  бентонита

Добавки хлористого алюминия в количестве 3% и более от массы цемента и жидкого стекла наряду с интенсивным увеличением водоудерживающей способности цемента значительно уменьшают по сравнению с растворами без добавок сроки схватывания во всем диапазоне изменения водоцементного отношения.

Существенное влияние на процессы схватывания оказывают температурные условия. Наиболее благоприятными температурными условиями для твердения растворов является температура в пределах  $+17 \div +25^\circ\text{C}$ . При понижении температуры сроки схватывания цементных растворов увеличиваются и при температуре  $+2 \div 0^\circ\text{C}$  процессы гидратации цемента в растворах без добавок практически прекращаются. Дальнейшее понижение температуры окружающей среды приводит к замерзанию жидкой фазы раствора. Для активизации процессов гидратации цемента при малых положительных и отрицательных температурах

окружающей среды в состав тампонажных растворов вводятся добавки химических реагентов — хлористого кальция, хлорного железа, хлористого алюминия, поташа, поваренной соли, нитрата натрия и др. В отдельных случаях более эффективно применение комплексных добавок, например: поваренная соль + хлористый кальций, хлористый кальций + хлорное железо, хлористый кальций + хлористый алюминий и т. д. Выбор вида и количества «противоморозных» добавок или композиции их определяется конкретными геокриологическими условиями тампонажа и видом применяемого портландцемента.

С повышением температуры окружающей среды сроки схватывания цемента уменьшаются. В отдельных случаях при высоких температурах ( $+40^{\circ}\text{C}$  и более) окружающей среды в состав растворов для замедления сроков схватывания вводят замедлители, например молотый песок, сахар и т. д. При нагнетании раствора в тампонируемое пространство, т. е. при воздействии на раствор давления нагнетания, как отмечалось выше, происходит отжим воды затворения, в связи с чем изменяются и сроки схватывания закачанного раствора в сторону уменьшения.

Таким образом, при производстве тампонажных работ имеют место два значения сроков схватывания раствора: срок схватывания раствора при первоначальной концентрации и срок схватывания раствора после закачки его в тампонируемое пространство.

С точки зрения технологии и организации производства тампонажа наиболее целесообразно применять тампонажные растворы, имеющие очень большие сроки схватывания при первоначальной концентрации и минимальные — в пределах нескольких минут — после закачки их в тампонируемое пространство. Применение таких растворов значительно уменьшает возможность схватывания затворенного раствора в приемных емкостях, нагнетательных трубопроводах, растворонасосе и т. п. Малые сроки схватывания закачанного раствора обеспечивают меньший расход материалов при тампонировании пород с проточными водами, значительно уменьшают сроки выполнения тампонажных работ и т. д.

Оптимальные сроки схватывания и повышение седиментационной устойчивости могут быть обеспечены введением в состав цементных растворов следующих комплексных добавок:

1. хлористого кальция (ускоритель схватывания) до 5% от массы цемента и хлорного железа (стабилизатор раствора) до 1,5% от массы цемента;
2. тринатрийфосфата в количестве до 1,5% от массы цемента и натриевый бентонит в порошке в количестве до 5—7% от массы цемента;
3. хлористого кальция в количестве до 5% от массы цемента и хлористого алюминия в количестве до 1,5% от массы цемента;
4. хлористого кальция в количестве до 5% от массы цемента и хлористого цинка в количестве до 2% от массы цемента.

Область применения этих растворов определяется дефицитностью тех или иных добавок-активаторов.

## § 12. ПРОЧНОСТЬ ЗАТВЕРДЕВШИХ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

Основным параметром, характеризующим физико-механические свойства тампонажного камня, является предел прочности при сжатии.

В зависимости от целей и вида тампонажа к прочностным показателям твердеющего камня предъявляются различные требования.

Так, растворы, используемые для усиления нарушенных пород и постоянной крепи, должны обеспечивать высокие конечные прочностные показатели, по величине приближающиеся к проектной прочности материала крепи.

Заполнение трещин, пустот и пор при производстве предварительного тампонажа должно производиться раствором, обеспечивающим в ранние сроки твердения — первые трое суток — прочность камня, достаточную для противодействия выдавливанию тампонажного заполнения из трещин. Так как трещины извилисты, их стенки шероховаты, то считается, что тампонажный камень работает на срез вдоль трещин. Исходя из этой предпосылки для приближенного расчета прочности камня можно воспользоваться такой формулой:

$$R_{сж} \geq 2 \frac{pd}{Kr}, \quad (II.11)$$

где  $R_{сж}$  — расчетное сопротивление тампонажного камня одноосному сжатию, кгс/см<sup>2</sup>;  $p$  — гидростатический напор подземных вод в трещине, кгс/см<sup>2</sup>;  $K$  — коэффициент перехода от прочности тампонажного камня на сжатие к прочности на сдвиг;  $d$  — толщина наибольшей трещины в тампонируемом массиве, см;  $r$  — глубина заполнения трещин тампонажным камнем, см.

По предварительно определенной величине прочности и планируемому промежутку времени между окончанием тампонажных работ и началом проходки в затампонируемой зоне пород можно подобрать необходимый состав тампонажного раствора с обязательным учетом отжима воды из раствора при нагнетании. Отсутствие надежных данных о параметрах трещин не позволяет выполнить качественно подсчет необходимой прочности камня.

Вместе с тем практикой установлено, что значения прочности, обеспечивающие противодействие выдавливанию, малы и поэтому состав раствора разрабатывают исходя из необходимой водо- или газопроницаемости тампонажного камня, заполняющего трещины.

Прочность твердеющего тампонажного камня при одноосном сжатии определяют на кубиках-образцах размером 3×3×3 см в такой последовательности: через 12 ч после укладки раствора в формы; через 1 сут; через 3 сут; через 7 сут; через 28 сут.

Разопалубку образцов производят через 2—3 ч после конца схватывания раствора. Обычно одновременно испытывают 3—6 образцов одного и того же срока и режима хранения. По дан-

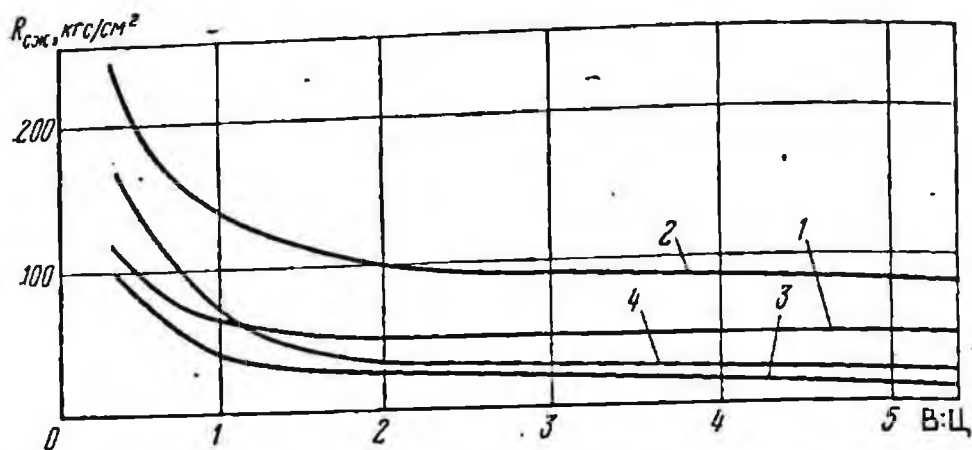


Рис. 26. Зависимость предела прочности при сжатии цементных растворов в возрасте 3 сут от В:Ц при различных добавках:

1 — без добавок; 2 — с добавкой 3%  $\text{CaCl}_2$ ; 3 — с добавкой 5% натриевого бентонита; 4 — с добавкой 1%  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  + 5% натриевого бентонита

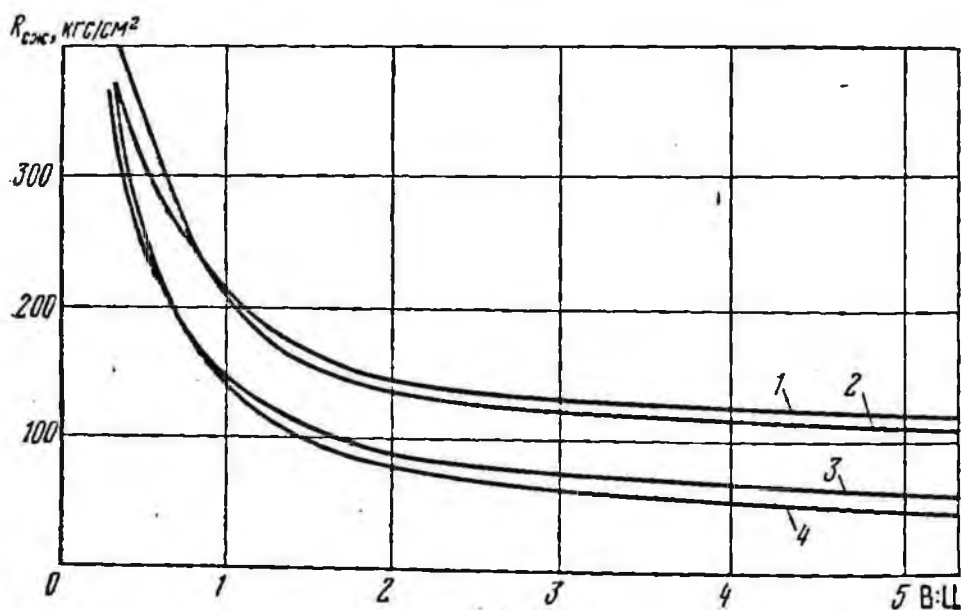


Рис. 27. Зависимость предела прочности при сжатии цементных растворов в возрасте 28 сут от В:Ц при различных добавках:

1 — без добавок; 2 — с добавкой 3%  $\text{CaCl}_2$ ; 3 — с добавкой 5% натриевого бентонита; 4 — с добавкой 1%  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  + 5% натриевого бентонита

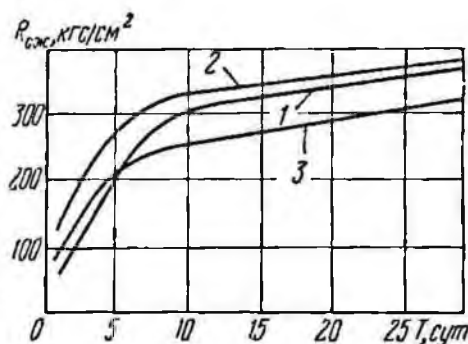


ным испытаний строят диаграммы роста прочности тампонажного камня во времени.

В зависимости от гидро-геологических и температурных условий производства тампонажа образцы тампонажного раствора до испытаний после разопалубки из форм хранят в воздушно-сухой или в водной средах при нормальных температурных условиях ( $+15 \div +20^\circ \text{C}$ ) или при малых положительных и отрицательных температурах окружающей среды. Водная среда хранения должна соответствовать по минерализации подземным водам, контактирующим с тампонажным камнем.

Рис. 28. Зависимость прочности при сжатии цементных растворов состава 1:0,4 (цемент:вода) от времени при различной температуре окружающей среды:

1 — без добавок,  $t^\circ$  окружающей среды  $+20^\circ \text{C}$ ; 2 — с добавкой 5%  $\text{CaCl}_2 + 1,2\%$   $\text{FeCl}_3$ ,  $t^\circ$  окружающей среды  $+20^\circ \text{C}$ ; 3 — с добавкой 5%  $\text{CaCl}_2 + 1,2\%$   $\text{FeCl}_3$ ,  $t^\circ$  окружающей среды  $-2^\circ \text{C}$



При тампонировании пород с агрессивными водами дополнительно изучается прочность образцов после более длительных сроков хранения их в агрессивной среде.

Для установления зависимости предела прочности при одноосном сжатии затвердевших тампонажных растворов, хранившихся в статическом состоянии, от водоудерживающей способности цемента была определена прочность камня цементных растворов с различными значениями водоцементных отношений (от 0,5 до 5).

Определение предела прочности при сжатии цементных растворов с выходом тампонажного камня менее единицы производилось следующим образом.

На верхний срез форм ставились металлические надставки высотой 50 см и сечением, равным сечению форм. Стык формы с надставкой герметизировался при помощи изоленты. Формы с надставками заливались раствором на высоту, равную  $H/V$ , см, где  $H$  — высота образца, см;  $V$  — выход тампонажного камня в долях единицы. Перед испытаниями надставки снимали, отстоявшуюся воду сливали, образцы распалубливали и тщательно измеряли их размеры.

Данные испытаний твердеющего тампонажного раствора в возрасте 3 сут показаны на рис. 26, а в возрасте 28 сут — на рис. 27.

Зависимость роста прочности цементного раствора во времени от температурных условий хранения его ясно видна из диаграмм на рис. 28.

Как видно из экспериментальных данных, с ростом водоудерживающей способности цемента прочность тампонажного камня уменьшается в линейной зависимости:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{B''_{\text{сп}}}{B'_{\text{сп}}}, \quad (II.12)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  — предел прочности при одноосном сжатии образцов цементного камня соответственно при водоудерживающей способности цемента  $B'_{\text{сп}}$  и  $B''_{\text{сп}}$ . Формула применима при исследованиях образцов тампонажного камня одного и того же срока твердения.

Для интенсификации процессов твердения цементного камня в тампонируемом пространстве с малыми положительными и отрицательными температурами в состав нагнетаемых растворов должны вводиться различные химические добавки, в частности: комплексные — хлористый кальций + хлорное железо, хлористый кальций + хлористый натрий и т. д. Выбор добавок, их количества производится в зависимости от конкретных температурных условий в тампонируемом пространстве, от вида и минералогического состава применяемого цемента на основании лабораторных исследований.

### У § 13. ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ ТАМПОНАЖНОГО КАМНЯ

Тампонажные растворы, используемые для ликвидации водопритокков в горные выработки, должны обладать повышенной водонепроницаемостью, в том числе — в ранние сроки твердения.

Увеличение водонепроницаемости тампонажных растворов на основе портландцементов достигается введением в их состав: минеральных добавок (бентониты, глины, суглинки) и тонкомолотых шлаков; химических добавок (хлорное железо, хлористый алюминий, алюминат натрия); полимерных материалов.

Область применения того или иного вида добавок, повышающих водонепроницаемость тампонажного камня, обуславливается конкретными горно-геологическими и экономическими условиями проведения тампонажа.

Наиболее широкое применение в практике тампонажных работ нашли минеральные активные добавки (натриевые бентонитовые глины) и химические добавки-активаторы, позволяющие достичь эффективных результатов при тампонаже горных пород при минимальных экономических затратах.

Водонепроницаемость затвердевших цементных растворов определяется на приборе конструкции ВНИИОМШСа (рис. 29). Прибор представляет собой цилиндр, по которому при помощи винта перемещается поршень с резиновыми уплотнительными кольцами. Создаваемое поршнем давление воды изменяется от 0 до 100 кгс/см<sup>2</sup>. В нижней части прибора устанавливают образец тампонажного камня цилиндрической формы диаметром

72 мм и высотой 40 мм. В боковые стенки рабочего цилиндра вмонтированы два патрубка: один служит для заливки цилиндра водой, второй для установки манометра, фиксирующего давления воды, создаваемое перемещающимся при помощи винта поршнем.

Испытываемые тампонажные растворы заливают в металлические формы, из которых их извлекают после затвердевания и хранят до начала испытаний.

Образцы раствора перед испытанием на толщину около 1 мм тщательно очищают от цементной пленки.

Критерием водонепроницаемости было принято максимальное давление воды, при котором тампонажный камень практически водонепроницаем, т. е. имеет коэффициент фильтрации не более  $1 \cdot 10^{-8} \div 2 \cdot 10^{-8}$  см/с.

Определение коэффициента фильтрации производили согласно методике, разработанной ВНИИОМШСом, с использованием формулы

$$K_f = \frac{V h \mu}{S p t}, \text{ см/с,} \quad (\text{II.13})$$

где  $V$  — расход профильтровавшейся через образец воды, см<sup>3</sup>;  $t$  — время фильтрации, с;  $h$  — высота испытываемого образца, см;  $S$  — площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>;  $p$  — давление воды на образец, фиксируемое манометром прибора, кгс/см<sup>2</sup>;  $\mu = 0,01$  — коэффициент динамической вязкости воды при 20° С, гс·с/см<sup>2</sup>.

Определение расхода профильтровавшейся через образец тампонажного камня воды в силу незначительности  $K_f$  производится собиранием профильтровавшейся жидкости впитывающей бумагой. Последняя тщательно взвешивается до и после проведения испытаний.

В зависимости от принятой величины давления минимальное время выдерживания испытываемых образцов под давлением принимается согласно табл. 5, которая составлена на основании подсчетов по формуле (II.13) для образцов высотой  $h = 40$  мм и диаметром 72 мм.

Обычно испытания водонепроницаемости тампонажного камня проводят при давлениях 10—15 кгс/см<sup>2</sup>. При отсутствии фильтра-

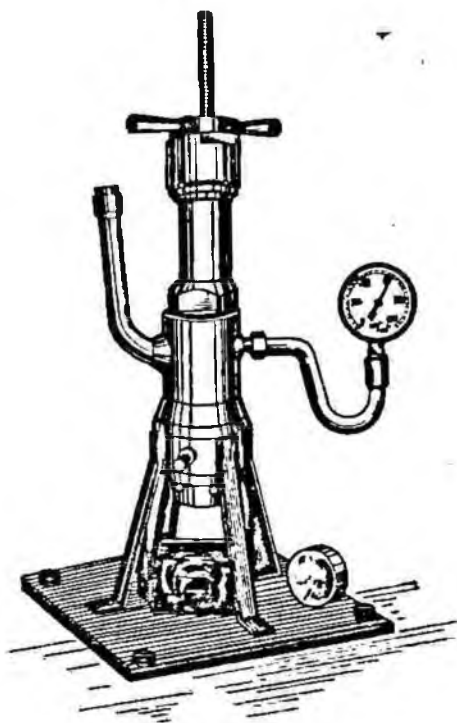


Рис. 29. Прибор для определения водонепроницаемости тампонажного камня конструкции ВНИИОМШС (внизу показано отражение испытываемого образца тампонажного камня в зеркале)

Таблица 5

| Давление,<br>кгс/см <sup>2</sup> | Оптимальное время выдерживания образцов высотой 40 мм<br>при коэффициенте фильтрации, см/с |                   |                   |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                                  | $1 \cdot 10^{-5}$                                                                          | $1 \cdot 10^{-7}$ | $1 \cdot 10^{-8}$ |
| 5                                | 5 мин 20 с                                                                                 | 3 сут 16 ч        | 37 сут            |
| 10                               | 2 мин 40 с                                                                                 | 4 ч 23 мин        | 18 сут            |
| 20                               | 1 мин 30 с                                                                                 | 2 ч 13 мин        | 22 ч 13 мин       |
| 30                               | 53 с                                                                                       | 1 ч 26 мин        | 14 ч 48 мин       |
| 40                               | 40 с                                                                                       | 1 ч 6 мин         | 11 ч 6 мин        |
| 50                               | 32 с                                                                                       | 53 мин            | 8 ч 53 мин        |

ции воды по истечении времени, указанного в графе 4 табл. 5, образцы испытываемого тампонажного камня считаются практически водонепроницаемыми. При наличии фильтрации с целью получения более достоверных результатов образцы выдерживают под давлением дополнительно 8 ч сверх норматива (см. табл. 5).

Водонепроницаемость тампонажного камня зависит от его плотности. Последняя зависит от количества вводимых в состав раствора минеральных, химических и полимерных добавок, марки цемента, условий твердения тампонажного камня и его возраста.

В лабораторных исследованиях в качестве добавок были использованы химические добавки — хлористый кальций, хлорное железо, хлористый алюминий, жидкое стекло и тринатрийфосфат и минеральная добавка — натриевый бентонит в порошке. Натриевый бентонит вводили в состав тампонажных растворов совместно с тринатрийфосфатом. Сотрудниками ИГД им. А. А. Скочинского, Украинского филиала Укрвнигаза, ВНИИОМШСа выполнены исследования влияния добавок битумной и акриловой эмульсий, латекса, мочевино-формальдегидных смол, поливинилового спирта и других добавок на степень водонепроницаемости цементного тампонажного камня.

Водоцементное отношение растворов было принято равным 0,4.

Данные исследований водонепроницаемости затвердевшего тампонажного камня приведены в табл. 6.

На основании проведенных опытов можно сделать следующие выводы.

При использовании высокоалюминатных портландцементов водонепроницаемость тампонажного камня, особенно в ранние сроки твердения, меньше водонепроницаемости камня, изготовленного на низкоалюминатном цементе. С увеличением марки применяемого цемента водонепроницаемость тампонажного камня увеличивается.

Введение в состав тампонажных растворов химических реагентов повышает водонепроницаемость камня. Влияние различных до-

Таблица 6

| Добавки                         |                                      | Время<br>твердения,<br>сут | Давление,<br>кгс/см <sup>2</sup> | Коэффициент<br>фильтрации,<br>см/с |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| наименование                    | количество, %<br>от массы<br>цемента |                            |                                  |                                    |
| —                               | —                                    | 3                          | 6                                | $4,1 \cdot 10^{-4}$                |
| —                               | —                                    | 28                         | 10                               | $2,8 \cdot 10^{-7}$                |
| CaCl <sub>2</sub>               | 5                                    | 3                          | 10                               | $3,7 \cdot 10^{-7}$                |
| FeCl <sub>3</sub>               | 1,2                                  | 3                          | 25                               | $3,8 \cdot 10^{-4}$                |
| Жидкое стекло                   | 5                                    | 3                          | 10                               | $4,5 \cdot 10^{-7}$                |
| AlCl <sub>3</sub>               | 1                                    | 3                          | 25                               | $3,5 \cdot 10^{-4}$                |
| Бентонит + тринатрий-<br>фосфат | 1                                    | 3                          | 40                               | 0                                  |
| Битумная эмульсия               | 8                                    | 28                         | 20                               | $3,2 \cdot 10^{-4}$                |

бавок на повышение водонепроницаемости тампонажного камня различно. Так, введение хлористого кальция, жидкого стекла, хлористого цинка увеличивает водонепроницаемость в значительно меньшей степени, чем введение в раствор хлористого алюминия, хлорного железа и алюмината натрия. Это объясняется тем, что последние добавки, отличаясь высокой комплексообразующей способностью, при гидратации цемента образуют устойчивые гидрохлоралюминаты, обеспечивающие более плотное заполнение микропор структурной решетки цементного камня, чем комплексные соединения гидрохлоралюминатов кальция, калия, натрия или цинка. К тому же гидрохлоралюминаты железа и алюминия отличаются повышенной водостойчивостью.

Количество вводимой химической добавки влияет на степень увеличения водонепроницаемости. Для каждого вида цемента существует оптимальное количество добавки, с понижением или повышением которого водонепроницаемость уменьшается. Так, например, для среднеалюминатных цементов оптимальными являются следующие количества добавок: CaCl<sub>2</sub> — 5÷6% от массы цемента; FeCl<sub>3</sub> — 1÷1,5%; AlCl<sub>3</sub> — 1÷1,5%; жидкое стекло — 3÷5% алюминат натрия — 1,5÷2%; CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O — 2,5÷3%.

Введение в состав растворов минеральных и некоторых видов полимерных материалов значительно увеличивает водонепроницаемость тампонажного камня.

Продолжительность и условия твердения тампонажного камня оказывают существенное влияние на величину водонепроницаемости его. С увеличением срока твердения образцов в результате уплотнения и упрочнения структуры цементного камня водонепроницаемость тампонажного камня возрастает. Интенсивность увеличения водонепроницаемости во времени практически соответствует росту прочности раствора во времени.

При твердении тампонажного камня во влажной или водной среде процесс гидратации цемента протекает более полно, и там-

попавший камень в этом случае имеет большую водонепроницаемость, чем растворы того же состава, твердеющие в воздушно-сухих условиях.

#### § 14. ВЫБОР ДОБАВОК-АКТИВАТОРОВ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ НАЛИЧИИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД

Наличие минерализованных подземных вод на участке тампонажа предъявляет дополнительные требования к выбору добавок-активаторов, вводимых в состав растворов. В частности, необходимо учитывать влияние минерализации вод на вводимые добавки.

Лабораторные исследования влияния минерализованных вод на тампонажные растворы проводились в условиях Западного Донбасса.

Воды карбонатных отложений в этом районе — хлоридно-натриевого и сульфатно-гидрокарбонатно-кальциево-натриевого типа, характеризуется следующими показателями: содержание ионов  $\text{Na}^+$  — 4470—10 000 мг/л,  $\text{Ca}^{2+}$  — 1490 мг/л,  $\text{Mg}^{2+}$  — 621 мг/л, катионов  $\text{Cl}^-$  — 8363—20 000 мг/л,  $\text{SO}_4^{2-}$  — 475—600 мг/л,  $\text{HCO}_3^-$  — 20 мг/л. Воды — щелочные с большим сухим остатком (15 000—32 000 мг/л). Воды агрессивные.

В процессе тампонажа из нагнетаемого раствора под действием давления нагнетания происходит интенсивное отфильтрование жидкой фазы. Отжимаемый фильтрат движется впереди нагнетаемого раствора. В связи с этим, например, при введении в состав раствора таких добавок, как жидкое стекло и алюминат натрия, отжимаемая жидкая фаза растворов на основе цемента (низкоконцентрированный гидрогель продуктов взаимодействия добавок с гидроокисью кальция) при попадании в среду минерализованных вод Западного Донбасса мгновенно коагулирует с образованием желатинообразного хлопьевидного осадка молочного цвета. Выпадающий в осадок продукт взаимодействия гидрогеля и минерализованных вод перекрывает мелкие поры и тонкие трещины, в первую очередь расположенные вблизи стенок тампонажной скважины. Этим при тампонировании мелкопористых и тонкотрещиноватых пород резко уменьшается проницаемость массива, что отрицательно сказывается на результатах тампонажа.

В зависимости от длительности взаимодействия минерализованных вод на осадок результаты взаимодействия для различных добавок-активаторов различны. Осадок, полученный в результате взаимодействия гидрогеля жидкого стекла с минерализованной водой, под воздействием последней в течение трех-четырех недель распадается на растворимые вещества. При наличии фильтрующих под осадок разлагается еще быстрее — в течение одной-двух недель. Осадок, полученный в результате взаимодействия гидрогеля алюмината натрия и минерализованной воды (шахта «Западно-Донбасская» № 6/42), под воздействием стоячей минерализован-

ной воды не распадается в течение значительного периода времени (более шести месяцев).

В качестве добавок, значительно увеличивающих плотность и водонепроницаемость тампонажного камня, довольно широко применяются порошковые натриевые бентониты, вводимые в состав цементных растворов в количестве 5—7% от массы цемента. Способность натриевого бентонита значительно увеличивать объем при наличии воды обеспечивает плотное заполнение структур-

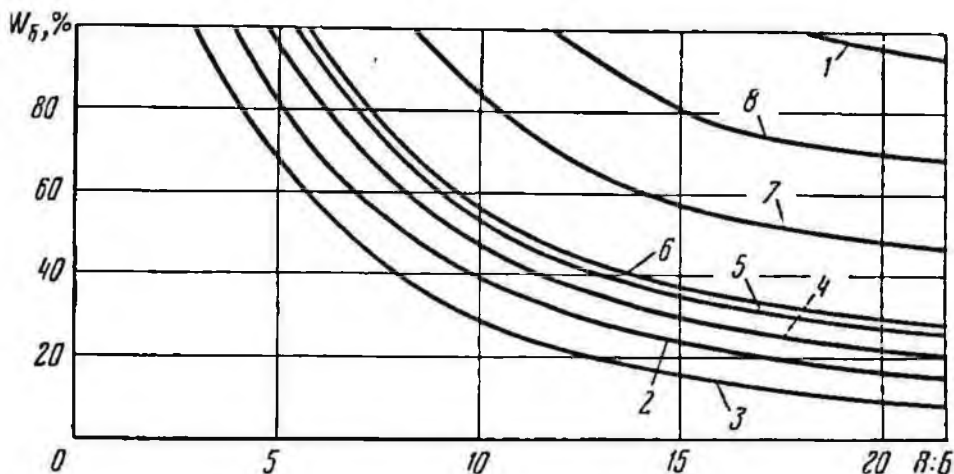


Рис. 30. Зависимость выхода бентонитового геля от водобентонитового отношения для растворов, затворенных на пресной и минерализованной воде

пой решетки твердеющего цементного камня и этим самым создается высокая водонепроницаемость.

В результате воздействия минерализованных вод, в частности подземных вод Западного Донбасса, натриевый бентонит в значительной степени утрачивает свою способность резко увеличиваться в объеме.

С целью изыскания химической добавки-активатора, нейтрализующей воздействие минерализованных подземных вод на способность натриевого бентонита необратимо увеличиваться в объеме, было исследовано влияние следующих химических добавок:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{NaHCO}_3$  и некоторых других. Количество вводимых в состав бентонитовых растворов добавок-активаторов колебалось в пределах 0,25÷1,0% от массы бентонита в пересчете на сухое вещество.

Влияние химических добавок и их количества на выход бентонитового геля при затворении бентонита шахтной водой (шахта «Западно-Донбасская» № 29) показано на рис. 30. Здесь кривая 3 отражает выход бентонитового геля при введении в состав растворов с различными значениями водобентонитового отношения хлоридов, сульфатов и нитратов; кривая — 4 при введении  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  количестве 0,25% от массы бентонита; кривая 5 — при введении  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в количестве 0,5% от массы бентонита; кривая 6 — при



введении 0,25% тринатрийфосфата; кривая 7 — при введении 0,5%  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , кривая 8 — при введении в состав раствора 1,0%  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  от массы бентонита в пересчете на сухое вещество. Кривая 1 характеризует реакцию бентонита с неминерализованной водой, а 2 — с минерализованной, без добавок.

Исследования проводили следующим образом.

Приготавливали густое бентонитовое тесто состава 1:1, добавки вводили в воду затворения. После приготовления тесто в объеме 50 см<sup>3</sup> помещали в химический стакан объемом 100 см<sup>3</sup> и уплотняли. Оставшуюся емкость осторожно заливали водой — пресной или минерализованной шахтной. Через 12 ч после заливки воды определяли увеличение объема бентонитового теста.

В результате экспериментов выявилось следующее:

Объем воды над бентонитовым тестом уменьшался по мере увеличения объема теста, т. е. объем, занимаемый тестом и водой оставался неизменным.

Увеличение объема бентонитового теста при затворении его пресной водой без добавок и при наличии неминерализованной воды над тестом составило 60%. Поверхность бентонитового теста гладкая, однородная, с небольшим (до 5 мм) поднятием у центра стакана. Размывание теста водой после завершения опыта производилось с трудом без образования комков и чешуек, что свидетельствует о равномерно плотной структуре увеличившегося в объеме бентонитового теста.

При затворении бентонита неминерализованной водой с добавками увеличение объема зафиксировано при наличии над тестом пресной воды лишь при введении добавок  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (95%) и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; при наличии минерализованной воды над тестом — лишь при введении добавок  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (55%) и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (35%). Образования комков и чешуек при размывании не зафиксировано.

При затворении теста минерализованной водой с добавками увеличение объема бентонитового теста зафиксировано при наличии над тестом пресной воды лишь при добавке 1% по отношению к массе бентонита  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (25%), при наличии над тестом минерализованной воды — лишь при введении в состав теста добавки 1%  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (10%).

Образование комков и чешуек при размывке теста водой не зафиксировано.

Активность натриевого бентонита в составе цементных растворов характеризуется увеличением выхода тампонажного камня. С целью подтверждения активности натриевого бентонита, вводимого в состав цементных растворов совместно с тринатрийфосфатом, были определены величины выхода тампонажного камня при различных значениях водоцементного отношения раствора. В качестве воды затворения использовали минерализованную (шахтную) воду. Бентонит вводился в состав раствора в количестве 5—7% от массы воды затворения, тринатрийфосфат — в количестве 1% от массы воды затворения. Обработанные данные исследований показаны на рис. 31, где кривая 1 отражает выход

тампонажного камня цементного раствора без добавок; кривая 2 — с добавкой 5% от массы цемента бентонита; кривая 3 — 5% бентонита и 1% тринатрийфосфата от массы цемента.

В результате экспериментов установлено, что добавка тринатрийфосфата в количестве 1% от массы цемента в пересчете на сухое вещество нейтрализует отрицательное влияние минерализованных вод Западного Донбасса и продуктов гидратации цемента на способность бентонита увеличиваться в объеме, обеспечи-

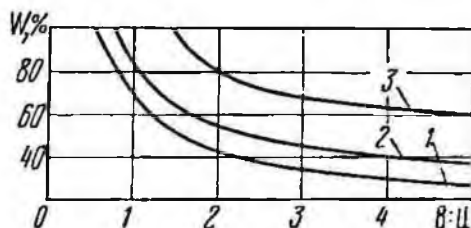


Рис. 31. Зависимость выхода камня цементных растворов от В:Ц

вая плотное заполнение бентонитов гелем структурной решетки твердеющего цементного камня и повышенную водонепроницаемость тампонажного заполнения.

При исследованиях была разработана очередность введения в воду затворения комплексной добавки при приготовлении цементного раствора. В воду затворения в виде водного раствора вводили тринатрийфосфат. Затем в емкость, в которой приготавливали тампонажный раствор, засыпали натриевый порошкообразный бентонит.

После перемешивания бентонита в течение 3—5 мин в растворомешалку вводили остальные составляющие тампонажного раствора. При определении количества воды затворения принимали во внимание объем воды в водном растворе тринатрийфосфата. В качестве воды затворения использовали только неминерализованную воду.

СМЕШАННЫЕ И ХИМИЧЕСКИЕ  
ТАМПОНАЖНЫЕ РАСТВОРЫ

## § 13. ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫЕ РАСТВОРЫ

С целью сокращения расхода цемента для заполнения объемных пустот за крепью, карстовых пустот и выработанных пространств применяют цементно-песчаные растворы, с различными соотношениями цемента и песка. Установлено, что при крупнозернистых песках затвердевшие растворы при одном и том же расходе цемента имеют лучшие физико-механические показатели, чем растворы на мелком и среднезернистом песках. Обладая малой суммарной поверхностью, крупнозернистые пески для связи зерен требуют меньшее количество цемента. Однако в растворах жидкой консистенции, даже при применении добавок-стабилизаторов, эти пески очень быстро выпадают в осадок, что резко ограничивает область применения их. Поэтому тампонажные растворы на крупнозернистых песках могут быть рекомендованы лишь при подаче их в тампонируемое пространство самоотёком по трубам, проложенным в стволе или скважине. В этом случае предельная крупность зерен песка ограничивается диаметром труб или тампонажных отверстий тубингов.

При подаче тампонажного раствора насосами необходимо применять средне- и мелкозернистые пески, хотя при этом несколько снижается механическая прочность раствора после затвердевания, а также удлиняются сроки схватывания. Нижеприведенные исследования и рекомендации относятся к растворам на средне и мелкозернистых песках, подаваемых в тампонируемое пространство раствором насосами.

Выход тампонажного камня цементно-песчаных растворов зависит от водоцементного отношения растворов, соотношения цемента и песка в составе растворов, вида и количества добавок — стабилизаторов цемента. Для установления взаимосвязи между этими факторами были выполнены лабораторные эксперименты.

Водоцементное отношение цементно-песчаных растворов изменялось от 0,4 до 5. В качестве вяжущего использовали портландцемент марок 300 и 400. Песок средне- и мелкозернистый. В качестве химических добавок использовали  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  и жидкое стекло. В качестве минеральных добавок использовали бентонитовые глины. Химические добавки вводились в состав растворов в количестве до 5% от массы цемента, минеральные — в количествах до 15% от массы песка.

Как показали эксперименты, с увеличением содержания песка в составе раствора при прочих равных условиях выход тампонажного камня возрастает (рис. 32).

Введение в состав цементно-песчаных растворов химических добавок не влияет на изменение выхода тампонажного камня. Введение в состав растворов добавок жидкого стекла в количестве более 5% от массы цемента и минеральных добавок в количествах более 10% от массы песка увеличивает выход тампонажного камня.

Выход тампонажного камня  $W_n$  в зависимости от водоцементного отношения и состава с достаточной точностью выражается формулой

$$W_n = \left(1,25 + \frac{1,5}{C+P} B\right) \left(\frac{P\gamma_n + \gamma_p}{\gamma_n + P\gamma_n + B\gamma_n\gamma_p}\right), \quad (III.1) \quad \checkmark$$

где  $C, P, B$  — весовые соотношения цемента, песка и воды в составе раствора;  $\gamma_n, \gamma_p$  — удельные веса цемента и песка в безразмерных единицах.

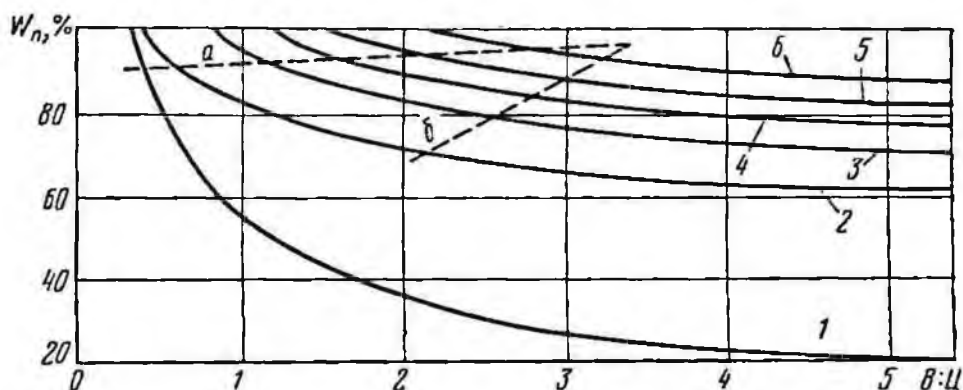


Рис. 32. Зависимость выхода тампонажного камня цементно-песчаных растворов при различных значениях  $B:C$  для:

1 —  $C:P=1:0$ ; 2 —  $C:P=1:1$ ; 3 —  $C:P=1:3$ ; 4 —  $C:P=1:5$ ; 5 —  $C:P=1:7$ ; 6 —  $C:P=1:10$

Зависимость (III.1) справедлива при весовом отношении цемента и песка в составе раствора более 1:0,5 при введении добавок жидкого стекла в состав раствора не более 5% от массы цемента и минеральных добавок — не более 10% от массы песка.

Водоудерживающая способность твердых составляющих цементно-песчаных растворов  $B_{св.т}$  в зависимости от водоцементного отношения  $B:C$  раствора, выхода тампонажного камня  $W_n$ , соотношения цемента и песка в составе раствора может быть рассчитана по формуле

$$B_{св.т} = (B:C) W_n - \left(\frac{P}{\gamma_n} + \frac{1}{\gamma_n}\right) (1 - W_n). \quad (III.2)$$

Зерна песка могут содержать некоторое количество гигроскопической воды. Водопоглощение песка различной гранулометрии разное и согласно исследованиям И. Н. Ахвердова, М. Г. Элбанидзе и И. А. Кириенко характеризуется следующими данными:

|                                          |       |         |         |         |         |            |
|------------------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|------------|
| Размер фракций песка, мм . . .           | 5—2,5 | 2,5—1,2 | 1,2—0,6 | 0,6—0,3 | 0,3—1,5 | Менее 0,15 |
| Водопоглощение, % от массы песка W . . . | 0,72  | 0,788   | 1,32    | 2,65    | 5,04    | 10,4       |

Водоудерживающую способность цемента в составе цементно-песчаного раствора с учетом гигроскопической влаги в песке определяют по формуле

$$B_u = (B : C) W_u - \left( \frac{P}{\gamma_n} + \frac{1}{\gamma_n} \right) (1 - W_n) - PK, \quad (III.3)$$

где  $K = \frac{\sum m_i w_i}{100}$  — водопоглощение песка данного гранулометрического состава, % от массы песка;  $w_i$  — водопоглощение отдельных фракций песка, %;  $m_i$  — содержание отдельных фракций в составе песка, %. Остальные обозначения прежние.

Водопоглощение мелкозернистых и среднезернистых песков, обычно применяемых для приготовления тампонажных растворов, колеблется от 4,2 до 4,75% от массы.

Существенное значение для практики может иметь знание пористости тампонажного камня. Коэффициент пористости тампонажного камня твердеющего в статическом состоянии может быть определен по формуле

$$n = \frac{\gamma_o - \gamma_k}{\gamma_o} 100, \% , \quad (III.4)$$

где  $\gamma_o$  — объемный вес осевшего цементно-песчаного теста;  $\gamma_k$  — объемный вес тампонажного камня, затвердевшего в статическом состоянии.

Седиментационная устойчивость цементно-песчаных растворов характеризуется скоростью оседания твердых составляющих и измеряется временем образования цементно-песчаного осадка.

Основная масса песка и цемента оседает в весьма короткий срок (до 1 мин). Такое время оседания цементных и песчаных частиц не создает нормальных технологических условий производства тампонажных работ из-за частых забиваний растворопроводящей сети и растворонасоса.

Повышение седиментационной устойчивости цементно-песчаных растворов может быть достигнуто введением в состав тонкодисперсных глин. Вводимые в состав тампонажных растворов глины повышают вязкость и плотность тонкодисперсной фазы раствора, в которой во взвешенном состоянии находятся грубодисперсные песчаные частицы; этим самым увеличивается седиментационная устойчивость растворов. Введение в состав цементно-песчаных растворов добавок глин в количествах до 5% от массы песка обеспечивает увеличение времени оседания основной массы песка в 3—4 раза. Поэтому при тампонировании рекомендуется использовать пески с повышенным содержанием глини-

стых включений, при отсутствии таких песков в состав раствора необходимо вводить глину в количестве до 5—7,5% от массы песка.

Повышение содержания в составе раствора глинистых частиц свыше 10% приводит к существенному снижению прочности затвердевшего тампонажного камня. Это необходимо учитывать, если тампонаж преследует цель повышения несущей способности крепи и обеспечения устойчивости выработок.

Увеличение времени образования цементно-песчаного осадка достигается также при помощи постоянного механического перемешивания раствора в процессе нагнетания.

При производстве тампонажных работ целесообразно совместное использование этих двух факторов повышения седиментационной устойчивости, т. е. введение в состав растворов глин и непрерывное механическое перемешивание.

Минимально допустимая величина распыла цементно-песчаных растворов, при которой раствор сравнительно хорошо прокачивается, по данным практики производства тампонажных работ, равна 20—22 см.

Следует иметь в виду, что расслоение раствора находится в прямой зависимости от водоцементного и цементно-песчаного отношений. С ростом этих соотношений возрастает опасность расслоения цементно-песчаных растворов.

Отжим воды из тампонажного раствора под давлением нагнетания, как уже упоминалось, сопровождается уменьшением водоцементного отношения, повышением плотности камня и пр.

Рассмотрим результаты лабораторных работ по изучению процессов отжима воды и формирования тампонажного камня.

Исследования проводились с цементно-песчаными растворами с распылом более 25 см при давлении от 1 до 10 кгс/см<sup>2</sup>.

При давлении нагнетания от 3 до 10 кгс/см<sup>2</sup> водоцементное отношение тампонажного камня в зависимости от цементно-песчаного отношения уменьшается до следующих значений:

|                                   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ц: П                              | 1:1  | 1:2  | 1:3  | 1:4  | 1:5  | 1:6  | 1:7  | 1:10 |
| В: Ц там-<br>понажно-<br>го камня | 0,38 | 0,45 | 0,55 | 0,67 | 0,80 | 0,90 | 1,05 | 1,30 |

При давлении нагнетания менее 3 кгс/см<sup>2</sup> также могут быть достигнуты приведенные значения В:Ц, для чего давление нагнетания должно поддерживаться свыше 30 мин.

Вводимые в состав цементно-песчаных растворов химические и минеральные добавки практически не оказывали влияния на степень и интенсивность отжима воды затворения. Первоначальная концентрация растворов не влияла на степень воотдачи раствора.

Лабораторные исследования отжима воды затворения из растворов при нагнетании были дополнены исследованиями при выполнении тампонажных работ на шахтах «Западно-Донбасских» № 3, 4, 29 и 20/23.

Таблица 7

| Состав раствора (I : II) | Добавки                                 | Время твердения, сут | Давление, кгс/см <sup>2</sup> | Коэффициент фильтрации, см/с |
|--------------------------|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1:4                      | —                                       | 3                    | 7                             | $6,3 \cdot 10^{-6}$          |
| 1:5                      | —                                       | 3                    | 5                             | $7,5 \cdot 10^{-6}$          |
| 1:6                      | —                                       | 3                    | 3,5                           | $8,2 \cdot 10^{-6}$          |
| 1:4                      | 5% бентонита + 1% три-<br>натрийфосфата | 3                    | 20                            | $2,8 \cdot 10^{-8}$          |
| 1:5                      | То же                                   | 3                    | 17                            | $3,5 \cdot 10^{-8}$          |
| 1:6                      | • •                                     | 3                    | 14                            | $4,5 \cdot 10^{-8}$          |

При разборке крепи затампированных участков выработка околоствольных дворов были извлечены образцы тампонажного камня, твердеющего в течение 28 сут. Тампонаж этих участков выполнялся цементно-песчаными растворами состава 1:4:1,5 и 1:5:1,7 (цемент:песок:вода). Прочность извлеченных образцов тампонажного камня соответствовала прочности затвердевшего раствора с водоцементными отношениями, указанными ранее.

Водонепроницаемость цементно-песчаных тампонажных растворов, так же как и цементных растворов, существенно повышается при введении различных химических и минеральных добавок. Приводим некоторые данные по изучению водонепроницаемости цементно-песчаных растворов с комплексной добавкой, состоящей из натриевого бентонита в порошке (5% от массы цемента) и тринатрийфосфата (1% от массы цемента).

Опыты проводились по ранее описанной методике (см. главу II) на растворах с соотношением цемента и песка, равным 1:4; 1:5 и 1:6, при указанном выше водоцементном отношении. При укладке раствора в формы раствор подвергался вибрации в течение 30—40 с и хранился перед испытанием в нормальных температурных условиях в воздушно-сухой среде. Данные испытаний приведены в табл. 7.

Подбор и исследования тампонажных растворов на основе цемента могут быть выполнены с учетом изложенного выше по упрощенной методике, не требующей громоздких и длительных лабораторных исследований. Это достигается за счет использования ранее приведенных формул. При этом учитывается процесс отжима воды затворения и нагнетаемого в закрепное пространство раствора.

Предлагаемая методика сводится к следующему. Для цементных тампонажных растворов (как с добавками, так и без них) в лабораторных условиях определяется удельный вес раствора, водоцементное отношение теста нормальной густоты; срок схватывания цементного теста нормальной густоты; прочность при сжа-



тии затвердевшего цементного камня с  $B:C=0,4$ , коэффициент фильтрации цементного камня с  $B:C=0,4$ .

На основании полученных данных экспериментов, пользуясь формулами (II.1), (II.3), (II.10), (II.12), (III.1), (III.2), (III.3), определяют выход тампонажного камня, водоудерживающую способность цемента, срок схватывания при различных значениях водоцементного отношения раствора.

Для цементно-песчаных растворов лабораторным путем определяют удельный вес, концентрацию и распыл тампонажного раствора, срок схватывания теста нормальной густоты, предел прочности при сжатии и коэффициент фильтрации при соответствующем водоцементном отношении.

На основании полученных данных, по формулам (III.1), (III.2) и (III.3) определяют величины выхода тампонажного камня, водоудерживающей способности твердых составляющих и цемента и сроки схватывания цементно-песчаных растворов при всех интересующих нас значениях водоцементного и цементно-песчаного отношений.

## § 16. ГЛИНИСТЫЕ И ГЛИНО-ЦЕМЕНТНЫЕ РАСТВОРЫ

Глинистые тампонажные растворы впервые были успешно применены в Советском Союзе в 1928 г. при проходке стволов шахты № I «Капитальная» по закарстованным известнякам (Кизеловский угольный бассейн). Несмотря на полученные положительные результаты, глинистые тампонажные растворы, за редким исключением, в подземном строительстве не нашли распространения.

Широкое распространение глинистых пород, дешевизна и достаточно высокая эффективность создают основу для более широкого применения тампонажных растворов на основе глин.

Глины относятся к полиминеральным породам и состоят в основном из высокодисперсных частиц нескольких минералов — монтмориллонита, каолинита, иллита и других, органических примесей и водорастворимых солей.

Особенностью большинства глинистых минералов является способность их адсорбировать на поверхности частиц некоторые катионы из водной среды, отдавая взамен эквивалентное количество других катионов. Количество и вид обменных катионов зависят от типа кристаллической решетки и являются важнейшей характеристикой глинистых минералов, определяющих в значительной мере качество тампонажных растворов.

Свойства глинистых растворов зависят от количества и физико-химических свойств твердой фазы и ее взаимодействия с водой затворения, количества высокодисперсной фракции в составе твердой фазы, вида и количества введенных в состав растворов добавок химических реагентов.

Исследования глинистых растворов показали, что растворы, приготовленные из высокодисперсных глин, представляют собой

устойчивые дисперсные системы, в которых частицы твердой фазы равномерно распределены в жидкой фазе раствора.

Растворы, приготовленные из грубодисперсных низкосортных глин, в частности из суглинков, содержащих 20—40% мелких песчаных частиц, являются малоустойчивыми системами. При увеличении концентрации высокодисперсных глинистых частиц раствора, под влиянием сил взаимодействия их с водой, происходит образование сплошной сетчатой структуры. Благодаря этому глинистые растворы могут удерживать во взвешенном состоянии крупные частицы и длительное время находиться в гелеобразном состоянии.

Отдельные глинистые частицы соединяются между собой и укрепляются. Процесс укрепления — коагуляции приводит к образованию осадка геля. Одновременно происходит отстой воды. Процесс коагуляции может быть ускорен введением в состав глинистых растворов химических реагентов-коагулянтов. Процесс, обратный коагуляции, т. е. переход геля под действием некоторых химических веществ — пептизаторов в состояние жидкого коллоидного раствора, называется пептизацией.

В практике тампонажных работ в качестве коагулянтов применяют известь, хлористый кальций, хлористый магний, хлористый натрий, жидкое стекло и т. д. В качестве пептизаторов используют углекислый натрий, едкий натр, кремнефтористый натрий, три-натрийфосфат, сульфитно-спиртовую барду и т. д.

Консистенция глинистых растворов зависит от содержания в составе их количества воды затворения, а также количества и вида введенных добавок химических реагентов. Зависимость консистенции глинистого раствора без добавок от содержания в нем воды показана на рис. 33.

Исследования влияния химических реагентов на консистенцию и водоотдачу глинистых растворов показали, что при введении даже малых количеств реагентов изменяются консистенция и водоотдача глинистых растворов. Например, при введении в глинистый раствор с распылом 30 см гидроокиси кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в количестве 0,5% консистенция раствора характеризуется распылом 11 см. Введением в тот же раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  можно вновь довести распыл раствора до 30 см (рис. 34). Пептизирующее действие  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  зависит от количества его, введенного в состав раствора.

Наиболее оптимальными являются следующие добавки коагуляторов глинистого раствора: хлористого кальция 5% от массы сухой глины, жидкого стекла 2%, гидрата окиси кальция 0,5%. Введение коагуляторов при приготовлении глинистого раствора производится в глиномешалку или же перед всасом растворонасоса. Коагуляторы не только ускоряют выпадение твердой фазы в осадок, но и понижают вязкость раствора, благодаря чему увеличивается проникающая способность его.

Глинистые растворы даже при давлении нагнетания 20—30 кгс/см<sup>2</sup> очень слабо отдают воду затворения. Осадок глины, выпадающий из раствора и подвергшийся естественному уплот-

нению, обладает малой прочностью, а следовательно, слабым сопротивлением внешнему давлению. Для увеличения прочности осадка последний может подвергаться опрессовке путем нагнетания или глинистого, или цементного раствора под давлением 80—100 кгс/см<sup>2</sup>. Под этим давлением из глинистого осадка дополнительно отжимается вода затворения, глина в трещинах тампонируемых пород уплотняется и прочность ее повышается.

В последние годы в практике тампонирования водо- и газонесных пород все более широкое применение получают глиноце-

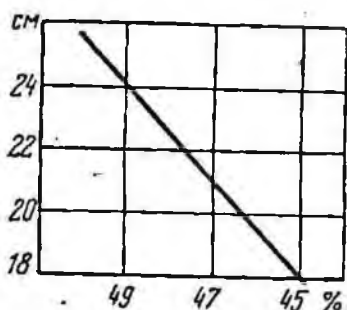


Рис. 33. Зависимость распыла глинистого раствора от содержания в нем воды

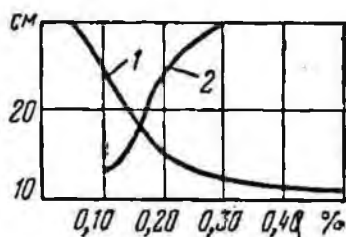


Рис. 34. Зависимость консистенции глинистых растворов от введения в них химических реагентов:

1 — с добавкой  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 2 — раствор с добавкой 0,5%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . При переменном содержании  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (по оси реагентов).

ментные растворы, имеющие по сравнению с цементными растворами ряд преимуществ:

уменьшенный расход цемента за счет использования местных дешевых глин;

высокую седиментационную устойчивость системы глина — цемент — вода;

легкую разбураиваемость глиноцементного камня, что способствует ускорению и удешевлению буровых работ при производстве предварительного тампонажа;

высокую водо-газонепроницаемость и устойчивость тампонажного камня глиноцементных растворов при воздействии на него подземных агрессивных вод;

повышенную пластичность глиноцементного камня, что позволяет избежать повторного образования водо-газопроводящих трещин в затампонируемых породах при выемке их буровзрывным способом. К глиноцементным растворам относятся тампонажные растворы, имеющие в своем составе глину в количествах более 50% от массы цемента.

Качества раствора зависят от соотношения количества глины и цемента в составе раствора.

Гидратация цемента в растворах, содержащих глину, происходит в условиях активной среды, обусловленной наличием в со-

ставе растворов тонкодисперсных частиц глины. Последние, активно взаимодействуя с продуктами гидратации цемента, создают устойчивые новообразования, определяющие свойства тампонажного раствора.

Взаимодействие продуктов гидратации цемента с глинистыми частицами происходит на поверхности частиц цемента и глин. И чем больше поверхность частиц, тем интенсивнее происходят процессы взаимодействия.

Воздействие глин на процесс гидратации цемента происходит путем обволакивания коллоидными глинистыми пленками частиц цемента и последующим химическим взаимодействием их с гидратом окиси кальция, образующимся в процессе гидратации цемента.

В результате обволакивания частиц цемента коллоидными пленками процессы гидратации и гидролиза цемента тормозятся и при определенных соотношениях глины и цемента могут прекращаться.

Формирование камня глиноцементных растворов идет двумя параллельно протекающими процессами. Образующиеся коагуляционные структуры продуктов гидратации цемента с течением времени перекристаллизуются и упрочняются с образованием плотной мелкокристаллической структуры твердеющего цементного камня. Параллельно с этим процессом образуется коагуляционная пространственная структура из глинистых частиц, обладающая тиксотропными свойствами. Под влиянием продуктов гидратации цемента и введенных в состав раствора коагуляторов глинистая структура уплотняется, что ведет к переходу глинистых тиксотропных структур в необратимо упрочненную глинистую пространственную решетку.

В результате экспериментальных работ установлены определенные закономерности в поведении глиноцементных растворов.

С увеличением содержания в составе раствора глин существенно увеличиваются сроки схватывания растворов (рис. 35), уменьшается прочность тампонажного камня (рис. 36), улучшаются реологические характеристики тампонажного камня.

Глиноцементные растворы (при содержании глины не более 200% от массы цемента) с расплывом более 18 см в зависимости от их реологических свойств можно разделить на две группы. В первую группу входят растворы состава 1:0,5:1,0—1:0,5:1,5; 1:1:1,5—1:1:2 и 1:2:2,5—1:2:3,5 (цемент — глина — вода), во вторую — все остальные. Растворы, входящие во вторую группу, характеризуются низким пределом текучести от 0 до  $7,5 \times 10^{-3}$  гс/см<sup>2</sup>, что без введения в состав растворов добавок-стабилизаторов приводит к быстрому оседанию частиц цемента и глины. В то же время достаточно прочная структура растворов, входящих в первую группу —  $(48 \div 50) \cdot 10^{-3}$  кгс/см<sup>2</sup> и более, предопределяет образование седиментационных тампонажных растворов со 100%-ным выходом тампонажного камня и однородными механическими свойствами осадка по всему объему. Растворы первой

группы в течение сравнительно длительного периода времени обладают тиксотропными свойствами. Повторное перемешивание растворов после 15-минутного покоя приводит к полному восстановлению консистенции раствора. Структура глино-цементных растворов первой группы не склонна к расслоению при нагнетании, размыву и уносу растворов подземными водами, что особенно важно при тампонировании в условиях интенсивного движения подземных вод. Тиксотропность растворов позволяет регули-

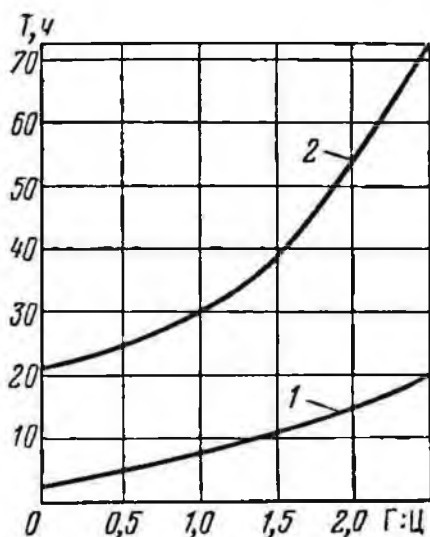


Рис. 35. Зависимость сроков схватывания глино-цементных растворов с распылом 18 см от содержания глины в составе растворов:

1 — начало схватывания; 2 — конец схватывания

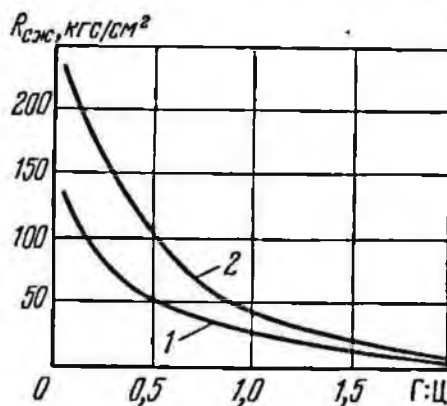


Рис. 36. Зависимость предела прочности при сжатии глино-цементных растворов с  $\text{В:Ц}=2$  от содержания в них глины:

1 — в возрасте 7 сут; 2 — в возрасте 28 сут

ровать зону их распространения. Влияние гранулометрического состава глин в основном сказывается на седиментационной устойчивости растворов. Седиментационная устойчивость растворов на грубодисперсных глинах достигается введением в состав растворов химических реагентов-пептизаторов. Вид и количество электролита определяются на основании лабораторных исследований в зависимости от химического и минералогического состава применяемых глин и цемента.

Добавка глины в количестве 25% и более от массы цемента в 2—3 раза уменьшает фильтрацию тампонажного камня по сравнению с образцами, приготовленными из цементного раствора. Количество глины от 25 до 200% от массы цемента, при прочих равных условиях, практически не влияет на величину коэффициента фильтрации. Большое влияние на фильтрационные свойства тампонажного камня глиноцементных растворов оказывает количество воды затворения в составе раствора. Так, например, для раствора с цементно-глинистым соотношением 1:0,5 увеличение водоцементного отношения от 0,75 до 4,5 приводит

к увеличению коэффициента фильтрации от  $10^{-8}$  до  $5 \cdot 10^{-7}$  см/с. Наилучшие показатели водонепроницаемости имеет камень, приготовленный из глино-цементных растворов при соотношении Ц+Г:В до 1,0.

Глиноцементно-песчаные растворы являются промежуточными между глиноцементными и цементно-песчаными. Эти растворы благодаря содержанию в своем составе глины обладают необходимой водонепроницаемостью, а за счет содержания цемента и песка — повышенной по сравнению с глиноцементными растворами механической прочностью после затвердевания. Растворы обладают прочной структурой, не расслаиваются при нагнетании, хорошо перекачиваются тампонажными растворонасосами, имеют большой выход тампонажного камня.

Высокими прочностными показателями и хорошей водонепроницаемостью тампонажного камня обладают следующие составы глиноцементно-песчаных растворов: 1:1:2,5÷1:1:3:3 (цемент:глина:песок:вода) и суглиноцементных 1:1:1,25÷1:4:3 (цемент:суглинок:вода) при цементе марок 400 и 500.

Смешанные глиноцементно-песчаные тампонажные растворы обладают хорошей водоотдачей, особенно при высоких давлениях нагнетания, при этом повышается механическая прочность камня. Так, при проведении предварительного тампонирования горных пород на шахте № 7 «Ново-Волынская» цементно-суглинистыми растворами состава 1:2:1,25÷1:2:2,0 прочность тампонажного камня в зависимости от величины давления нагнетания увеличивалась соответственно при давлении нагнетания от 1 до 5 кгс/см<sup>2</sup> — в 1,2—1,5 раза, при давлении нагнетания от 5 до 15 кгс/см<sup>2</sup> — в 2,5 раза, при давлении нагнетания от 15 до 30 кгс/см<sup>2</sup> — в 4 раза, а при давлении нагнетания от 30 до 45 кгс/см<sup>2</sup> — в 5—6 раз.

#### § 17. РАСТВОРЫ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН

Для водоизоляционных завес вокруг горных выработок, когда не ставится задача упрочнения окружающих пород, наиболее целесообразно применять тампонажный заполнитель, обладающий высокими гидроизолирующими качествами при небольшой механической прочности. Этими качествами обладают тампонажные растворы на основе бентонитовых глин, в последние годы широко применяющиеся при тампонировании различных подземных сооружений в СССР и за рубежом. При помощи бентонита можно выполнить водоизоляцию горных выработок даже в тех случаях, когда применение цементных и глинистых растворов не дает нужных результатов. Тампонирование бентонитовыми растворами осуществляется просто, без какого-либо специального оборудования, с большим радиусом распространения раствора и значительно дешевле по сравнению с тампонированием цементными, химическими и битумными растворами.

Бентонит представляет собой тонкодисперсную глину, состоящую в основном из минералов группы монтмориillonита  $Al_2O_3 \cdot X$

$\times 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Состав бентонитовых глин очень сложный и зависит от условий их образования.

Как уже отмечалось, в природе встречаются в основном два вида бентонитовых глин: натриевые (щелочные), содержащие в себе ионы натрия и кальциевые (щелочно-земельные), содержащие преимущественно ионы кальция. По своим свойствам натриевые и кальциевые бентониты существенно отличаются один от другого.

Чтобы кальциевые бентониты можно было использовать для тампонирования, их активизируют путем удаления из глин ионов  $\text{Ca}^{++}$ , заменяя их ионами  $\text{Na}^{+}$ . Процесс активизации кальциевых бентонитов заключается в обработке их водным раствором кальцинированной соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) или тринатрийфосфата ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ):

В результате активизации бентонита повышается его водопоглощающая способность, а следовательно, увеличивается и набухание. Количество реагентов для активизации щелочноземельных бентонитов зависит от степени насыщения глины ионами кальция и определяется на основе предварительных лабораторных исследований.

Натриевые бентониты при достаточном количестве воды затворения и тщательном перемешивании образуют тиксотропные растворы коллоидного состояния, довольно вязкие и подвижные. При прекращении перемешивания или остановке процесса нагнетания раствор становится студнеобразным. Бентонитовый раствор очень чувствителен к присутствию в тампонируемом пространстве или в воде затворения солей-коагуляторов, в результате воздействия последних происходит коагуляция раствора, сопровождающаяся резким повышением водоотдачи.

В качестве коагуляторов бентонитового геля применяют хлориды, сульфаты, гидроокись кальция, продукты гидратации цемента и др. Наличие в тампонируемом пространстве указанных солей является препятствием к применению бентонитовых растворов в качестве тампонажных. В этом случае необходимо в состав растворов вводить добавки химических реагентов, нейтрализующих вредное воздействие солей закрепного пространства на тампонажные качества бентонита. Наиболее употребительны для этих целей тринатрийфосфат и углекислый натрий. Вода с малейшими признаками коагуляторов для затворения бентонитовых растворов не применима.

Процесс водопоглощения (набухания) бентонитов происходит в течение длительного периода времени, однако основной объем воды бентонит поглощает в первые часы после приготовления раствора. Поэтому при производстве тампонажных работ надо стремиться к тому, чтобы бентонитовый раствор сразу же после приготовления нагнетался в тампонируемое пространство, т. е. процесс набухания бентонита заканчивался в горной породе. В этом случае бентонитовый гель, увеличиваясь в объеме, уплотняется в ограниченных по размерам трещинах и порах тампонируемых пород, бентонитовый камень при соприкосновении с подземной



Таблица 8

| Концентрация раствора бентонита, %     | 1                 | 3                   | 5                 | 6                  | 7                  | 10                 |
|----------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Вязкость, г·с/см <sup>2</sup>          | $10^{-3} \cdot 2$ | $3,5 \cdot 10^{-3}$ | $7 \cdot 10^{-3}$ | $12 \cdot 10^{-3}$ | $23 \cdot 10^{-3}$ | $58 \cdot 10^{-3}$ |
| Размер образуемой грязевой лепешки, мм | 0,5               | 0,5                 | 0,5               | 0,5                | 0,5                | 1                  |

водой не вымывается, чем обеспечивается высокая водонепроницаемость затампонированной породы.

Бентонит, предназначенный для тампонажа, должен быть тщательно изучен. В процессе лабораторных исследований устанавливают реакцию бентонитовых глин на различные химические вещества, растворенные в водах тампонируемого горизонта, и динамику процесса поглощения бентонитом воды, а также условия ее удержания и конечную величину водонепроницаемости.

Пригодный для использования в тампонажных растворах бентонит должен иметь следующее водопоглощение:

|                                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Время набухания, ч . . . . .                      | 1   | 2   | 5   | 10  | 24  | 48  | 72  | 96  |
| Водопоглощение, % от массы сухого бентонита . . . | 210 | 240 | 300 | 370 | 480 | 550 | 600 | 620 |

Водоотдача должна быть не более 30% первоначального объема пятипроцентной суспензии бентонита при центрифугировании ее в течение 30 мин при 3000 об/мин.

Бентонитовая пленка, образующаяся на трубке при погружении ее в десятипроцентную суспензию, не должна размываться при нахождении в воде, текущей со скоростью 1 м/с, а при нахождении в стоячей воде — в течение 6 мес.

Таблица 9

| Соотношение бентонита и воды | Плотность бентонитового раствора, г/см <sup>3</sup> | Содержание сухого бентонита в 1 м <sup>3</sup> раствора, кг | Содержание воды в 1 м <sup>3</sup> раствора, л |
|------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1:3                          | 1,19                                                | 298                                                         | 892                                            |
| 1:4                          | 1,14                                                | 228                                                         | 912                                            |
| 1:5                          | 1,12                                                | 186                                                         | 934                                            |
| 1:8                          | 1,075                                               | 119                                                         | 956                                            |

Вязкость бентонитового раствора и размеры грязевой лепешки должны соответствовать данным табл. 8.

Содержание бентонита по заданной плотности или концентрации раствора можно определить по данным табл. 9.

Опыт показывает, что иногда для обеспечения эффективного водоподавления кроме бентонитового раствора в закрепное пространство необходимо нагнетать цементный или глиноцементный раствор. Во всех случаях тампонирующие начинают с нагнетания бентонитовых растворов, с помощью которых заполняют наиболее тонкие трещины и поры тампонируемых пород.

## § 18. СИЛИКАТНЫЕ И ЦЕМЕНТНО-СИЛИКАТНЫЕ ТАМПОНАЖНЫЕ РАСТВОРЫ

Основу силикатных и цементно-силикатных тампонажных растворов составляет растворимый силикат натрия или калия (жидкое стекло).

Под действием многих химических реагентов раствор жидкого стекла способен коагулировать с образованием кремнеземистого геля.

В качестве коагуляторов применяют соли металлов (хлористый калий, хлористый магний, хлорное железо, сернокислый алюминий и т. д.); кислоты (соляная, ортофосфорная, уксусная и др.), смеси кислот с солями (серная кислота и сернокислый алюминий; соляная кислота и железный или медный купорос и т. д.); кислые соли (бикарбонат аммония, бикарбонат натрия, бисульфат натрия, бифосфат натрия и др.); известковое молоко и продукты гидратации цементов.

При взаимодействии жидкого стекла с солями металлов происходит мгновенное образование и выпадение в осадок гидрогеля кремневой кислоты (студнеобразный осадок). Мгновенное образование гидрогеля кремниевой кислоты предопределяет поочередное нагнетание в тампонируемые породы жидкого стекла и коагуляторов. Процесс поочередного нагнетания жидкого стекла и коагуляторов в тампонируемое пространство называют двухрастворной силикатизацией.

При использовании всех других коагуляторов получается силикатный тампонажный раствор с регулируемыми сроками гелеобразования (однорастворная силикатизация). Для целей инъекции в тонкотрещиноватые и мелкопористые породы однорастворная силикатизация является целесообразной.

Вязкость силикатных растворов для однорастворной силикатизации близка к вязкости воды. Время гелеобразования может регулироваться в больших пределах — от нескольких минут до суток, причем вязкость растворов до начала гелеобразования остается практически неизменной. Состав силикатных растворов и сроки гелеобразования определяются на основании лабораторных исследований и назначаются в зависимости от конкретных

горно-геологических и гидро-геологических условий тампонажа, в частности от коэффициента фильтрации и гранулометрии тампонируемых пород. Механическая прочность силикатного геля низкая — около  $0,1-1,0$  кгс/см<sup>2</sup>, прочность закрепленных песчаных пород при однорастворной силикатизации составляет  $2-20$  кгс/см<sup>2</sup>, в зависимости от гранулометрического состава и коэффициента фильтрации тампонируемых пород. С повышением коэффициента фильтрации и уменьшением крупности частиц, слагающих пород, механическая прочность закрепленных пород снижается. Зато породы, затампонируемые силикатными растворами, приобретают практически полную водонепроницаемость (коэффициент фильтрации снижается до  $10^{-7}-10^{-10}$  см/с).

Концентрацию раствора жидкого стекла при двухрастворной силикатизации назначают по плотности в зависимости от коэффициента фильтрации тампонируемых пород:

|                                                                                    |           |           |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Коэффициент<br>фильтрации, м/сут . . . . .                                         | 2—10      | 2—10      | 2—80      |
| Плотность жидкого<br>стекла (модуль<br>2,5—3,0 при +18°С), г/см <sup>3</sup> . . . | 1,35—1,38 | 1,38—1,41 | 1,41—1,45 |

Раствор хлористого кальция должен иметь плотность в пределах  $1,21-1,28$  г/см<sup>3</sup>.

Плотность жидкого стекла при однорастворной силикатизации должна быть  $1,13-1,25$  кг/см<sup>3</sup>.

Силикатные растворы в шахтном строительстве имеют весьма ограниченное распространение. Однако в комбинации с другими растворами они могут дать положительные результаты. В этом случае силикатные растворы нагнетаются в породы с двойной целью.

Во-первых, при тампонировании трещиновато-пористых пород силикатные растворы, коагулируя, перекрывают мелкие поры и тонкие трещины, чем снижают фильтрующую поверхность водопроводящих щелей. Этим практически исключается отфильтрование (отжим) жидкой фазы из нагнетаемых тампонажных растворов на основе цементов или глин и повышается проникающая способность их. Нагнетаемый вслед за силикатным цементный или глинистый раствор проникает в средние и крупные трещины массива с гораздо большей легкостью. Этим объясняется так называемый смазывающий эффект силикатных растворов.

Во-вторых, силикатный раствор заполняет все мельчайшие поры и трещины пород, в которые цемент или глинистые частицы не могут проникнуть, и обеспечивает тем самым высокую степень гидроизоляции. Комбинируя нагнетение силикатного и цементного растворов, можно добиться необходимой степени гидроизоляции и укрепления тампонируемых пород с минимальными затратами даже в крайне неблагоприятных гидро-геологических условиях. Портландцемент по аналогии с целым рядом химических реаген-

тов действует на раствор жидкого стекла как коагулятор. Процесс взаимодействия между жидким стеклом и продуктами гидратации цемента весьма сложен.

Время начала коагуляции жидкого стекла в цементных растворах при  $B:Ц=1÷3$  составляет 1—5 мин. Такое быстрое гелеобразование и твердение раствора затрудняют выполнение процесса тампонажа. Для удлинения срока гелеобразования цементный раствор после заливки в него жидкого стекла интенсивно перемешивается в течение 10—15 мин. При этом образующаяся структура геля разрушается, раствор разжижается. Дальнейшее структурообразование наступает как вторичный процесс взаимодействия между цементными частицами и разрушенным силикатным гелем. Этот процесс протекает более замедленно.

В структурообразовании тампонажного камня участвуют все три элемента раствора — цемент, силикатный гель и вода, которая поглощается гелем полностью. Как указывает В. В. Аскалонов, содержание воды, поглощенной гелем вследствие образования сильно развитой сети микрокапилляров, достигает 1000% от массы геля.

По этой причине механическая прочность геля-цементного камня оказывается значительно ниже прочности цементного.

Цементно-силикатные растворы, используемые для тампонирувания горных пород, имеют водоцементное отношение от 3 до 15 при содержании в составе растворов жидкого стекла от 10 до 15% от массы цемента.

Время коагуляции жидкого стекла в цементном растворе можно также замедлить с 1—5 мин до 1—1,5 ч введением в состав воды затворения или жидкого стекла двууглекислого аммония —  $NH_4HCO_3$  в количестве до 10% от массы цемента.

При использовании добавки  $NH_4HCO_3$  вязкость цементно-силикатных растворов сохраняется неизменной в пределах первоначальной вплоть до начала гелеобразования. Выход тампонажного камня достигает 100%. Предел прочности камня при сжатии по сравнению с растворами с нарушенным гелеобразованием возрастает в 2—10 раз в зависимости от водоцементного отношения цементно-силикатного раствора.

Максимальный промежуток времени от конца затворения раствора до начала гелеобразования достигается введением двууглекислого аммония в количествах 6—10% от массы цемента в растворах с  $B:Ц=5—15$  и содержанием в них жидкого стекла от 40 до 100% от массы цемента.

Порядок введения жидкого стекла в раствор оказывает заметное влияние на его свойства. При введении жидкого стекла в приготовленный цементный раствор смесь быстро загустевает, что может осложнить работу растворонасоса.

Замедление коагуляции достигается за счет образования «буферного раствора», когда жидкое стекло вводят двумя порциями — сначала в воду затворения до засыпки цемента вводится

$\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{3}$  часть расчетного объема жидкого стекла, затем после засыпки цемента и образования однородной смеси вводится остальное количество жидкого стекла. Чем больше величина первой порции жидкого стекла и длительнее период перемешивания, тем сильнее замедление процесса коагуляции. Этим способом можно замедлять гелеобразование в цементно-силикатных растворах с В:Ц более 5.

Механическая прочность цементно-силикатного камня с повышением водоцементного отношения и содержания в нем жидкого стекла значительно снижается.

Разрушительной средой для цементно-силикатных растворов с В:Ц > 1 является воздушно-сухая среда хранения, в которой вода из тампонажного камня с течением времени испаряется, что сопровождается растрескиванием и разрушением камня. Поэтому применение цементно-силикатных растворов для тампонажа сухих горных пород нерационально.

Как показывают опыты, лучшие показатели тампонажных свойств цементно-силикатных растворов достигаются при использовании портландцемента, хуже — при использовании шлакопортландцемента и глиноземистого цемента.

Фильтрационные показатели тампонажного камня цементно-силикатных растворов различны для растворов с различными методами замедления гелеобразования. Коэффициент фильтрации затвердевших цементно-силикатных растворов с нарушенным гелеобразованием несколько больше коэффициента фильтрации камня цементных растворов идентичных значений водоцементных отношений.

Цементно-силикатный камень, полученный из растворов с ненарушенным гелеобразованием, обладает высокой водонепроницаемостью, превышающей водонепроницаемость цементного камня.

Цементно-силикатные растворы с ненарушенным гелеобразованием обладают высокой проникающей способностью. Повышенная проникающая способность цементно-силикатных растворов объясняется тем, что жидкая фаза растворов, являясь по существу силикатным раствором, под давлением нагнетания отфильтровывается из нагнетаемого раствора и проникает в тампонируемую среду на гораздо большие расстояния, чем сами цементные частицы. Поэтому цементно-силикатными растворами можно заполнить поры и трещины с минимальной шириной 0,03 мм против 0,1 мм при использовании цементных растворов. Кроме того, при тампонировании мелкотрещиноватых и пористых пород проявляется «смазывающий эффект» силиката натрия, облегчающего проникновение в тампонируемый массив цементных частиц.

Цементно-силикатные растворы с нарушенным гелеобразованием вследствие более вязкой структуры имеют меньший показатель проникающей способности, чем цементные растворы с таким же В:Ц. Нижним пределом их практической применимости является ширина трещин и пор, равная 0,25 мм.

## ✓ § 19. ХИМИЧЕСКИЕ ТАМПОНАЖНЫЕ РАСТВОРЫ

До последнего времени в понятие химические тампонажные растворы включались и силикатные растворы, используемые для целей тампонажа. Однако более целесообразным является, особенно при нынешнем развитии химической промышленности, выделение силикатных и цементно-силикатных тампонажных растворов в специальную группу, а термин химические тампонажные растворы распространить только на растворы на основе органических синтетических продуктов химической промышленности.

Водогазоизоляция сооружаемых выработок и упрочнение вмещающих пород химическими тампонажными растворами основаны на способности их после закачки в тампонируемое пространство в результате реакции взаимодействия со специальными отвердителями приобретать в течение определенного промежутка времени необходимую прочность и водогазонепроницаемость.

Как отмечалось выше, тампонажные растворы на основе цемента из-за крупных частиц составляющих, глинистые и силикатные растворы из-за малой механической прочности во многих случаях не могут быть применены при упрочнении мелкозернистых рыхлых неустойчивых пород.

В этих условиях наиболее эффективно применение химических тампонажных растворов, которые имеют высокую проникающую способность, по затвердении обеспечивают значительную механическую прочность и водо-газонепроницаемость, высокую адгезионную способность и регулируемые сроки твердения.

В настоящее время для целей тампонажа применяют четыре типа смол: ненасыщенные полиэферы, эпоксида, меламин и мочевиноформальдегидные (карбамидные) смолы и полиуретаны.

Впервые для целей тампонажа растворы на основе синтетических смол были применены в 1957 г. в США. В СССР химические тампонажные растворы впервые применены при проведении наклонного ствола шахты «Александровская» (1962 г.).

В связи с бурным развитием химической промышленности как в СССР, так и за рубежом разработан и внедрен в производство целый ряд составов химических тампонажных растворов, стоимость которых в отдельных случаях делает экономически целесообразным применением их.

В шахтостроительной практике Советского Союза наибольшее применение нашли тампонажные растворы на основе карбамидных смол. Сотрудниками ИГД им. А. А. Скочинского, ВНИИОМШСа, ВИОГЕМа и других научно-исследовательских институтов разработан и внедрен целый ряд тампонажных растворов на основе следующих смол: мочевиноформальдегидной, меламинамочевиноформальдегидной, мочевиноформальдегидно-ацетоновой, мочевиноформальдегидной, модифицированной акриламидом, фурфоролом и ацетоном, поливиниловым или фурфуроловым спиртами, и т. д.

Все разработанные составы тампонажных растворов представляют собой различной концентрации водные растворы синтетических смол, отверждение которых происходит в тампонируемом пространстве под воздействием различных отвердителей. В качестве последних в лабораторных и промышленных условиях в основном используют:

различные кислоты—силикатная, щавелевая, фосфорная и т. д., хлориды—хлористый аммоний, хлорное железо, хлористый кальций и т. д.

Хлориды вводятся в состав тампонажного раствора или раздельно, или в различных комбинациях (по содержанию и виду) друг с другом.

Отвердители в состав тампонажного раствора вводятся в виде водных растворов, обычно 30—40%-ной концентрации.

Смешивание смолы с отвердителем в зависимости от принятой технологии тампонажа и необходимых сроков отверждения растворов можно производить как в процессе приготовления тампонажного раствора, так и при нагнетании его непосредственно у тампонажной скважины. В последнем случае при тампонаже используют нагнетательную установку, состоящую из двух насосов, из которых один насос подает в специальный смеситель раствор смолы, другой—отвердитель. Смешивание смолы и отвердителя производится в смесителе, к которому подсоединены нагнетательные патрубки обоих насосов и тампонируемая скважина. Насосы такой установки должны иметь регулируемую производительность, что позволяет при тампонаже изменять соотношение смолы и отвердителя в нагнетаемом растворе.

Все виды выпускаемых промышленностью смол имеют довольно большую начальную вязкость  $(1-2) \cdot 10^{-3}$  гс·с/см<sup>3</sup> и более, что не позволяет применять смолу в естественном состоянии для целей тампонажа, особенно мелкозернистых, тонкотрещиноватых и пористых пород. Для снижения начальной вязкости тампонажного раствора смола разбавляется водой. Уменьшая концентрацию смолы в составе тампонажного раствора, можно добиться вязкости раствора, близкой к вязкости воды. Однако снижение концентрации смолы ведет к изменению, обычно в худшую сторону, всех физико-механических характеристик отвердевшего геля тампонажного раствора и поэтому допустимое разбавление смолы водой в обязательном порядке должно подтверждаться лабораторными исследованиями механических характеристик отвердевшего раствора.

Вязкость химического тампонажного раствора определяется обычно вискозиметром ВЗ-4.

Время отверждения химических тампонажных растворов зависит от вида смолы и концентрации ее в растворе, вида и количества отвердителя, температуры и вида окружающей среды.

Сроки отверждения химических тампонажных растворов в лабораторных условиях определяются на мелкозернистом песке, затворенном химическими тампонажными растворами, аналогич-



но определению сроков схватывания цементно-песчаных растворов.

Влияние содержания смолы в растворе, вида и количества отвердителя, температуры окружающей среды на сроки отверждения показано на рис. 37. Отверждение химических тампонажных растворов для подавляющего большинства смол происходит более ускоренно в воде, чем в воздушно-сухих условиях.

Прочностные показатели отвержденных химических растворов зависят от вида и количества смолы в составе раствора, вида

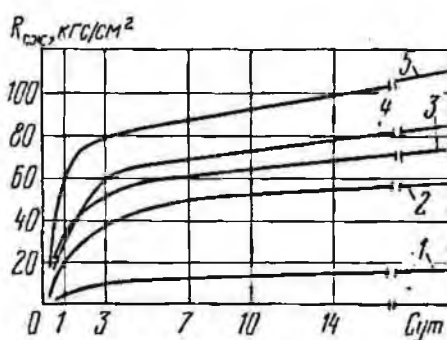
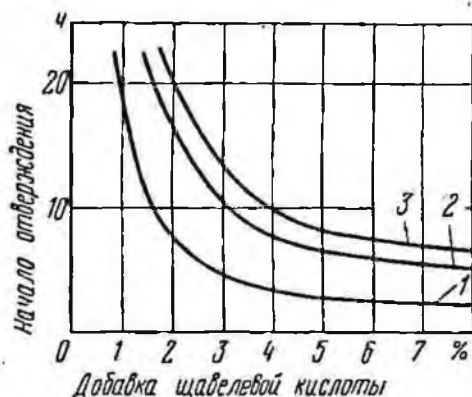


Рис. 37. Зависимость начальных сроков отверждения смолы МФ-17 различной концентрации от добавок щавелевой кислоты:

1 — 30%-ный раствор смолы; 2 — 40%-ный раствор смолы; 3 — 50%-ный раствор смолы

Рис. 38. Зависимость прочности на сжатие образцов смолы от сроков и среды твердения:

1 — 40%-ный раствор смолы МФ-17+4% щавелевой кислоты (водная среда хранения); 2 — 40%-ный раствор смолы МФ-17+4% щавелевой кислоты (воздушная среда хранения); 3 — 10%-ный раствор смолы МФА+4% щавелевой кислоты (водная среда хранения); 4 — 80%-ный раствор смолы ММ-2+10% щавелевой кислоты (воздушная среда хранения); 5 — 80%-ный раствор смолы ММ-2+10% щавелевой кислоты (водная среда хранения)

и количества отвердителя, свойств среды. Влияние некоторых факторов на прочность при сжатии затвердевших химических растворов показано на рис. 38.

Водонепроницаемость отвердевших химических тампонажных растворов в основном определяется составом тампонажного раствора, сроком твердения и свойствами среды. Для повышения водонепроницаемости в состав раствора вводят в небольшом количестве (0,25—0,5%) добавки — кремнийорганическую жидкость МГС-9, акриламид, кремнийорганические эмульсии и др.

Значения коэффициентов фильтрации (см/с) некоторых составов химических тампонажных растворов приведены в табл. 10.

Значительным технологическим недостатком применяемых химических тампонажных растворов является то, что отверждение их происходит только в кислой среде (при  $pH < 5$ ).

При определении возможности применения химических растворов необходимо изучение намеченного к тампонируемому массива для выяснения степени кислотности среды и определения содержания карбонатов в породах. При кислотности среды  $pH > 5$

Таблица 10

| Значения коэффициента фильтрации, см/с                                                                                |                          |                      |                           |                       |                        |                       |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Состав тампонажного раствора                                                                                          | Воздушная среда хранения |                      | При сроках твердения, сут |                       |                        |                       | Воздушная среда хранения |
|                                                                                                                       |                          |                      |                           |                       |                        |                       |                          |
|                                                                                                                       | 1                        | 7                    | 28                        | 1                     | 7                      | 28                    |                          |
| 40%-ный раствор мочевиноформальдегидной смолы МФ-17 с добавкой 4% щавелевой кислоты                                   | $4,8 \cdot 10^{-3}$      | —                    | $1,4 \cdot 10^{-3}$       | $2,3 \cdot 10^{-3}$   | —                      | $1,2 \cdot 10^{-3}$   |                          |
| 40%-ный раствор смолы МФ-17 с добавкой 4% щавелевой кислоты и 0,5% МСГ-9                                              | $3,2 \cdot 10^{-3}$      | $0,2 \cdot 10^{-3}$  | $0,1 \cdot 10^{-3}$       | $0,19 \cdot 10^{-3}$  | $0,015 \cdot 10^{-3}$  | $0,038 \cdot 10^{-3}$ |                          |
| 60%-ный раствор смолы МФ-17 с добавкой 4% щавелевой кислоты и 1% кремнийорганической эмульсии Ф-90                    | —                        | —                    | —                         | $0,017 \cdot 10^{-3}$ | $0,011 \cdot 10^{-3}$  | $0,01 \cdot 10^{-3}$  |                          |
| 50 %-ный раствор меламиномочевинноформальдегидной смолы, модифицированной акриламидом и добавкой 4% щавелевой кислоты | $0,03 \cdot 10^{-3}$     | $0,03 \cdot 10^{-3}$ | $0,033 \cdot 10^{-3}$     | $0,017 \cdot 10^{-3}$ | $0,0036 \cdot 10^{-3}$ | $0,005 \cdot 10^{-3}$ |                          |

и наличии карбонатов в породах их предварительно обрабатывают кислотами. Обычно для этой цели используют 2—5%-ный раствор соляной кислоты.

В последние годы начаты изыскания новых видов смол, способных отверждаться в щелочных и нейтральных средах, т. е. при  $pH > 5$ . Наиболее эффективной и перспективной, проходящей в настоящее время промышленные испытания, является смола ТСД-9. Химические тампонажные растворы на основе смолы ТСД-9 способны отверждаться при  $pH = 8—9$ , что дает возможность применять их в карбонатных и зацементированных породах.

Значительная стоимость синтетических смол и их дефицит требуют детального экономического обоснования целесообразности применения их для тампонажа горных пород.

В зарубежной практике широкое применение получили химические тампонажные растворы АМ-9 (США, Канада, Англия), сумисойл (Япония), RWG (США), Терраниер А и С (США), цианлок № 62 (США), полиуретаны (ФРГ), растворы на основе эпоксидных смол.

Наибольшее распространение в практике тампонажных работ получили растворы АМ-9, сумисойл и полиуретаны.

Состав АМ-9 представляет собой хорошо растворимую в воде смесь акриламида и метилбисакриламида в виде белого порошка. В качестве отвердителя используют персульфат аммония и деметиламинопропионитрил. Концентрация водного раствора АМ-9 при закачке его в тампонируемое пространство принимается от 3 до 50% по содержанию. Вязкость водного раствора АМ-9 незначительна, так, например: раствор 10%-ной концентрации имеет вязкость  $1,2 \cdot 10^{-5}$  г·с/см<sup>2</sup>, что позволяет закачивать его в породы с весьма незначительной проницаемостью. Время полимеризации (гелеобразования) закачанного в закрепное пространство раствора регулируется концентрацией раствора, количеством катализатора,  $pH$  раствора и температурой среды.

Сумисойл представляет собой хорошо растворимый в воде порошок, являющийся смесью акриламида и небольшого количества агента поперечной связи. По данным фирмы-изготовителя «Сумито Кемикал Компани», эффективность сумисойла мало отличается от эффективности АМ-9, но характер гелеобразования и применяемый отвердитель иные.

Водный раствор сумисойла по вязкости мало отличается от вязкости воды, при этом вязкость раствора сохраняется неизменной до момента гелеобразования, которое регулируется концентрацией сумисойла и отвердителя от нескольких секунд до нескольких часов. Максимальная прочность геля достигается сразу же после образования его. Повышение температуры окружающей среды заметно сокращает сроки гелеобразования. Добавка цемента в некоторых пределах ускоряет процесс гелеобразования и повышает конечную прочность геля.

Значительный практический интерес представляет применение для целей тампонажа полиуретанов. Полиуретаны получают при

реакции взаимодействия диизоцианата и полимерного спирта. Путем выбора различных диизоцианатов, полимерных спиртов и добавок, а также технологии приготовления можно получить различные формы полиуретанов. В горной промышленности наибольшее применение нашли достаточно высокой прочности вспенивающиеся полиуретаны, так как последние позволяют использовать эффект самонагнетания при увеличении объема исходных материалов и плотно перекрытой тампонажной скважине. В качестве вспенивающей добавки обычно используют воду. При введении в состав закачиваемой в тампонируемое пространство смолы небольшого количества воды происходит частичное разложение диизоцианата с выделением двуокиси углерода, которая вспенивает закачанный материал и остается при твердении в смоле. Вспенивание полиуретана начинается через 3—5 мин, основная реакция заканчивается через 15—20 мин, конечная прочность достигается через 1—2 ч после смешивания составляющих. Коэффициент вспенивания — отношение объемов исходных компонентов к объему вспенившегося полиуретана — в свободном состоянии составляет от 1:6 до 1:8. Прочность на сжатие и растяжение вспенившегося полиуретана обратно пропорциональна величине коэффициента вспенивания. Вспенивающиеся полиуретаны обладают высокой адгезионной способностью как с горными породами, так и с металлами, деревом.

Полиуретановые смолы при тампонаже вводят в тампонируемый массив или методом вливания без давления, или методом нагнетания. В последнем случае используют двухкомпонентный насос, всасывающий раздельно оба компонента раствора. Лишь непосредственно у скважины производят смешивание компонентов в лабиринтном смесителе.

## § 20. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

Тампонажные растворы готовят в зависимости от конкретных условий в передвижных или стационарных растворосмесительных установках.

Передвижные растворосмесительные установки применяют в стесненных условиях, когда отсутствует необходимая площадка для размещения стационарных растворосмесительных узлов. Стационарные растворосмесительные узлы применяют при больших расходах тампонажного раствора и больших объемах работ, особенно при использовании для тампонажа смешанных растворов.

При ведении тампонажных работ в удаленных от ствола горизонтальных или наклонных выработках раствор приготавливают непосредственно у места тампонажа в передвижных растворомешалках. Доставку составляющих к растворомешалке производят в шахтных вагонетках или в специальных контейнерах. В отдельных случаях целесообразно при тампонировании удаленных от ствола выработок раствор приготавливать на поверхности в стационарных или передвижных установках и доставлять его к месту

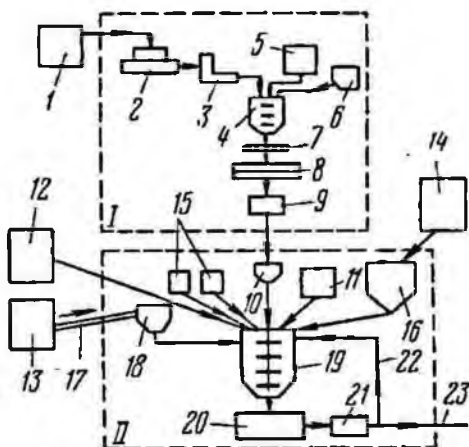
тампонажа по трубам, проложенным по стволу или в специально пробуренной для этой цели скважине.

Компоненты для приготовления растворов — цемент, глина, песок, химические реагенты, минеральные добавки и т. п. — заготавливают в необходимых для бесперебойной работы количествах и складывают в удобных для производства работ местах.

В зимнее время необходимо предусмотреть мероприятия по защите составляющих и раствора от замерзания.

Рис. 39. Схема стационарного растворосмесительного узла для приготовления тампонажных растворов:

1 — цех приготовления глинистого раствора; 11 — цех приготовления тампонажных растворов; 1 — склад комовой глины или суглинка; 2 — глиномялка; 3 — весы; 4 — глиномешалка; 5 — емкость с водой; 6 — дозатор с реагентом; 7 — сито; 8 — емкость для глинистого раствора с побудителем; 9 — насос; 10 — дозатор глинистого раствора; 11 — емкость для воды с дозатором; 12 — склад бентонитовой глины в порошке; 13 — склад песка; 14 — склад цемента; 15 — емкость для добавок активаторов с дозатором; 16 — дозатор цемента с ситом; 17 — конвейер для подачи песка; 18 — дозатор песка с ситом; 19 — растворомешалка; 20 — емкость для готового тампонажного раствора с побудителем раствора; 21 — тампонажный растворонасос; 22 — трубопровод слива избытка раствора; 23 — растворонагнетательный трубопровод



Набор оборудования для приготовления тампонажных растворов регламентируется объемами работ и составом растворов.

На рис. 39 показана технологическая схема растворосмесительной установки для приготовления как двухкомпонентных — цементных, глинистых, бентонитовых, так и многокомпонентных — глиноцементных, цементно-песчаных, глиноцементно-песчаных растворов. В последнем случае подготовку глины и суглинков производят в отдельном цехе.

Очередность введения компонентов в растворомешалку при приготовлении тампонажных растворов следующая: вода, глина, бентонит, цемент, песок.

Загрузку в емкость растворомешалки каждого последующего компонента производят при получении однородной смеси после загрузки предыдущих компонентов в полном количестве.

Порядок введения добавок-активаторов устанавливают на основании результатов лабораторных исследований. Очередность введения наиболее распространенных добавок-активаторов подробно рассмотрена выше при описании результатов исследований свойств тампонажных растворов.

При приготовлении смешанных растворов и растворов на основе глин наиболее целесообразно в качестве жидкости затвердения использовать глинистые растворы, для чего предназначен цех подготовки глин. Концентрация глинистого раствора в этом

случае должна приниматься такой, чтобы исключить введение дополнительных количеств воды в растворомешалку. Подача глинистого раствора в растворомешалку из емкости для хранения производится при помощи растворонасоса или по лотку самотеком. Введение в состав растворов бентонитовых глин производится в виде порошка.

Дозирование составляющих для приготовления тампонажных растворов можно осуществлять как по объему, так и по массе, для чего используют выпускаемые промышленностью дозаторы для сыпучих и жидких материалов. При незначительных объемах тампонажных работ экономически целесообразно дозирование составляющих производить с помощью мерных ящиков или бункеров.

Для процеживания (просеивания) составляющих растворов при небольших объемах работ можно применять ручные качающиеся сита, а в остальных случаях — механические приводные сита. Размеры отверстий сит принимают исходя из допустимых размеров частиц твердой фазы тампонажных растворов для конкретной трещиноватости.

Склады сыпучих материалов располагают так, чтобы обеспечить меньший объем погрузочно-разгрузочных работ. Для складирования цемента наиболее целесообразно применять силосы С-753, которые позволяют полностью механизировать загрузочно-разгрузочные работы. Склады других сыпучих материалов должны быть оборудованы механизмами для подачи их в дозаторы.

Смесительное оборудование стационарных растворосмесительных узлов состоит из растворомешалок, расходных емкостей и побудителей раствора. В качестве расходных емкостей используют специальные емкости или растворомешалки. Побудители растворов используют для того, чтобы при остановках нагнетания находящийся в расходных емкостях раствор не осаждался и непрерывно находился в движении. В качестве побудителей используют или специальные механические устройства, или сжатый воздух. Расходные емкости устанавливают таким образом, чтобы приготовленный раствор сливался из них самотеком.

Введение растворимых химических реагентов-ускорителей или стабилизаторов производится только в виде водных растворов. Дозирование растворимых добавок производится в литрах раствора. Введение водных растворов-добавок осуществляется тонкой струей при непрерывном перемешивании тампонажного раствора. Соблюдение этого условия обязательно при использовании добавок, значительно увеличивающих выход тампонажного камня. При введении растворимых добавок количество воды затворения уменьшается на количество воды, вводимой с добавкой.

При изготовлении растворов-добавок необходимо соблюдать определенные правила.

Раствор хлористого кальция, хлористого аммония, хлористого натрия, азотнокислого натрия получается путем растворения их в воде до необходимой плотности.

Таблица 11

| Плотность раствора, г/см <sup>3</sup> | Содержание в 1 л раствора, г       |      |
|---------------------------------------|------------------------------------|------|
|                                       | хлористого кальция, сухое вещество | воды |
| 1,15                                  | 202                                | 948  |
| 1,20                                  | 280                                | 920  |
| 1,25                                  | 362                                | 888  |
| 1,30                                  | 445                                | 855  |

Таблица 12

| Плотность раствора, г/см <sup>3</sup> | Содержание в 1 л раствора, г        |      |
|---------------------------------------|-------------------------------------|------|
|                                       | хлористого алюминия, сухое вещество | воды |
| 1,14                                  | 170                                 | 970  |
| 1,19                                  | 240                                 | 950  |
| 1,24                                  | 310                                 | 930  |
| 1,30                                  | 390                                 | 910  |

Таблица 13

| Плотность раствора, г/см <sup>3</sup> | Содержание в 1 л раствора, г      |      |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------|
|                                       | хлористого натрия, сухое вещество | воды |
| 1,10                                  | 157                               | 943  |
| 1,15                                  | 250                               | 950  |
| 1,20                                  | 360                               | 840  |
| 1,25                                  | 450                               | 800  |

Таблица 14

| Плотность раствора, г/см <sup>3</sup> | Содержание в 1 л раствора, г    |      |
|---------------------------------------|---------------------------------|------|
|                                       | хлорного железа, сухое вещество | воды |
| 1,10                                  | 108                             | 992  |
| 1,15                                  | 183                             | 967  |
| 1,20                                  | 250                             | 950  |
| 1,25                                  | 324                             | 926  |
| 1,30                                  | 390                             | 910  |
| 1,35                                  | 475                             | 875  |

Таблица 15

| Плотность раствора, г/см <sup>3</sup> | Содержание в 1 л раствора, г   |      |
|---------------------------------------|--------------------------------|------|
|                                       | нитрата натрия, сухое вещество | воды |
| 1,10                                  | 145                            | 955  |
| 1,15                                  | 250                            | 950  |
| 1,20                                  | 354                            | 846  |
| 1,25                                  | 450                            | 800  |

Таблица 16

| Плотность раствора, г/см <sup>3</sup> | Содержание в 1 л раствора, г   |      |
|---------------------------------------|--------------------------------|------|
|                                       | жидкого стекла, сухое вещество | воды |
| 1,11                                  | 110                            | 1000 |
| 1,17                                  | 175                            | 995  |
| 1,24                                  | 250                            | 990  |
| 1,30                                  | 320                            | 980  |

10.2 Приготовление раствора хлористого алюминия необходимо выполнять с максимальными предосторожностями, небольшими порциями, растворяя сухой хлористый алюминий в воде.

11.5 Раствор хлорного железа в воде получается непосредственно в местных условиях при взаимодействии пиритных огарков и технической соляной кислоты. Технология получения раствора хлорного железа описана выше.

11 Содержание химических реагентов и воды в составе растворов в зависимости от плотности растворов приведено в табл. 11, 12, 13, 14, 15 и 16.



Таблица 17

| Состав раствора (Ц:В) | Плотность раствора, г/см <sup>3</sup> | Расход на 1 м <sup>3</sup> раствора |         | Состав раствора (Ц:В) | Плотность раствора, г/см <sup>3</sup> | Расход на 1 м <sup>3</sup> раствора |         |
|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------|
|                       |                                       | цемента, кг                         | воды, л |                       |                                       | цемента, кг                         | воды, л |
| 1:0,5                 | 1,75                                  | 1150                                | 575     | 1:2                   | 1,27                                  | 425                                 | 850     |
| 1:0,75                | 1,75                                  | 885                                 | 675     | 1:3                   | 1,20                                  | 300                                 | 900     |
| 1:1                   | 1,45                                  | 725                                 | 725     | 1:5                   | 1,15                                  | 190                                 | 960     |
| 1:1,5                 | 1,33                                  | 530                                 | 800     |                       |                                       |                                     |         |

12. Пользуясь данными таблиц, можно определять расход реагента и необходимое количество добавок на запланированный объем тампонажных работ.

Расчет составляющих для приготовления 1 м<sup>3</sup> тампонажного раствора производится на основании заданного состава раствора и его удельного веса.

13. Расчет расхода составляющих для приготовления 1 м<sup>3</sup> цементного раствора производится по формулам:

расход цемента

$$Ц_1 = \frac{\rho_p Ц}{Ц + В}, \text{ кг/м}^3; \quad (III.5)$$

расход воды

$$В_1 = \frac{\rho_p В}{Ц + В}, \text{ кг/м}^3. \quad (III.6)$$

где  $\rho_p$  — плотность цементного раствора, кг/м<sup>3</sup>; Ц:В — количественное соотношение цемента и воды в составе раствора.

Плотность раствора при заданном Ц:В определяется по формуле

$$\rho_p = \frac{\frac{Ц + В}{\rho_n} + В}{\frac{Ц}{\rho_n} + В}, \text{ т/м}^3, \quad (III.7)$$

где  $\rho_n$  — плотность цемента.

В зависимости от необходимой концентрации примерный расход материалов для приготовления 1 м<sup>3</sup> цементного раствора приведен в табл. 17.

14. При приготовлении растворов контроль за составом их производится путем периодического определения его плотности.

Расчет расхода составляющих приготовления 1 м<sup>3</sup> цементно-песчаных растворов производится по формулам:

расход цемента

$$Ц_1 = \frac{\rho_n Ц}{Ц + П + В}, \text{ кг/м}^3; \quad (III.8)$$

расход песка

$$\Pi_1 = \frac{\rho_n \Pi}{\Pi + \Pi + B}, \text{ кг/м}^3; \quad (\text{III.9})$$

расход воды

$$B_1 = \frac{\rho_n B}{\Pi + \Pi + B}, \text{ кг/м}^3, \quad (\text{III.10})$$

где  $\rho_n$  — плотность цементно-песчаного раствора, кгс/м<sup>3</sup>.

Расход составляющих для приготовления 1 м<sup>3</sup> смешанных растворов принимается на основании лабораторных подборов составов растворов.

Расчет расхода глин для приготовления 1 м<sup>3</sup> глинистого раствора заданной плотности производится по формуле

$$\Gamma = \frac{\rho_1 \rho - \rho_2}{\rho_1 - \rho_2}, \text{ м}^3 \quad (\text{III.11})$$

где  $\rho$  — заданная плотность глинистого раствора, т/м<sup>3</sup>;

$\rho_1$  — плотность глины в сухом состоянии, т/м<sup>3</sup>;  $\rho_2$  — плотность воды, т/м<sup>3</sup>.

16 Расход добавок-ускорителей и стабилизаторов  $D$  в пересчете на сухое вещество обычно задается в процентах к основному компоненту тампонажного раствора и определяется по формулам:

$$D = k \Pi, \text{ кг/м}^3;$$

$$D = k_1 B, \text{ кг/м}^3,$$

где  $k$  и  $k_1$  — процентное содержание добавки от массы цемента или воды затворения.

При необходимости изменения состава тампонажного раствора в процессе нагнетания в растворомешалку вводят дополнительное количество тех или иных компонентов раствора.

Правильность дозировки составляющих и соответствие свойств приготавливаемых тампонажных растворов проектным должна контролироваться. Контроль свойств приготавливаемых растворов заключается в определении на месте производства тампонажа: распыла раствора, плотности и сроков схватывания его. Определение остальных характеристик растворов производится по мере необходимости в специально оборудованных для этой цели помещениях.

## ПРОИЗВОДСТВО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ТАМПОНАЖА

### § 21. ВЫБОР СПОСОБА ТАМПОНАЖА

Предварительный тампонаж горных пород выполняется до сооружения в них горных выработок и служит целям создания наиболее благоприятных условий проходки, так как проведение горных выработок в затампонированных породах происходит в этом случае при полном отсутствии или значительном снижении ожидаемых притоков воды или газа.

В настоящее время предварительный тампонаж применяется преимущественно при сооружении вертикальных стволов, значительно реже — при сооружении наклонных и горизонтальных горных выработок.

Предварительный тампонаж при сооружении вертикальных стволов шахт осуществляется или с земной поверхности, или из забоя ствола. С земной поверхности тампонаж проводится в подготовительный период строительства шахты параллельно с сооружением временных зданий и применяется при большой мощности тампонируемых пород, залегающих на сравнительно небольшой глубине от поверхности. Тампонаж из забоя ствола применяют при большой глубине залегания тампонируемых пород от поверхности и сравнительно малой мощности их. Предварительный тампонаж пород при сооружении горизонтальных и наклонных выработок в основном осуществляется из забоя проходимой выработки.

Различают следующие способы проведения предварительного тампонажа (рис. 40):

- ✓ тампонаж с земной поверхности одновременно всех горных пород, подлежащих тампонированию (рис. 40, а);
- ✓ тампонаж из забоя проходимой выработки всех пород, подлежащих тампонированию с одной отметки при проходке вертикальных стволов или с одной стоянки бурового и нагнетательного оборудования при проведении горизонтальных и наклонных горных выработок (рис. 40, б);
- ✓ тампонаж пород из забоя проходимой выработки несколькими участками (зонами) (рис. 40, в).

Возможна также комбинация этих способов. Так, например, в определенных горно-геологических условиях тампонаж пород можно осуществлять в два приема: сначала с земной поверхности при помощи малого числа тампонажных скважин, пробуренных на полную глубину, тампонируются трещины и пустоты, дающие основной приток воды или газа. Второй этап тампонажа производят из забоя при подходе выработки к месту вскрытия

мелкотрещиноватых пород, которые не были затампонированы с земной поверхности.

Нагнетание раствора под давлением в тампонируемые породы производят под защитой вышерасположенной толщи нетампонируемых пород при тампонаже с земной поверхности, при тампонаже из забоя выработки — под защитой тампонажных подушек (перемычек) или предохранительных породных целиков.

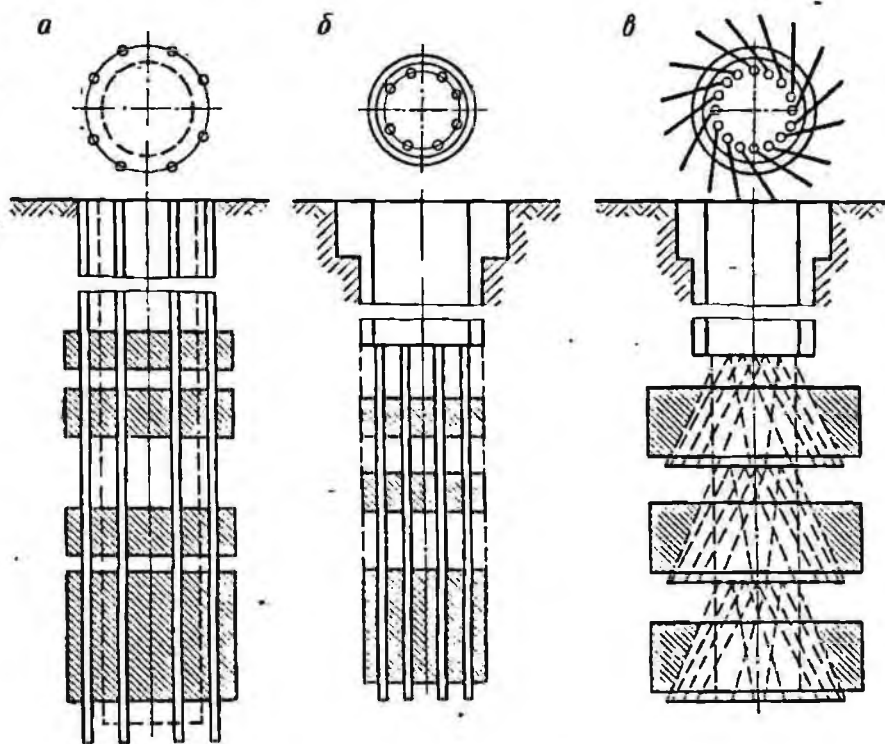


Рис. 40. Способы тампонажа горных пород:

а — с земной поверхности; б — из забоя ствола с одного горизонта; в — из забоя ствола с различных горизонтов

Зона тампонажа называется участок горных пород, тампонирующее которого осуществляется с одной отметки при проведении вертикальных стволов или с одного места стоянки тампонажного оборудования при проведении горизонтальных или наклонных выработок. Тампонажные зоны обычно включают как пласты, подлежащие тампонируванию, так и нетрещиноватые породы. С земной поверхности тампонаж пород производится одной зоной, тампонаж из забоя выработки можно производить как одной, так и несколькими зонами (рис. 40, в). В свою очередь, тампонажные работы в пределах зоны можно производить сразу в пределах всей толщи одной заходкой или же последовательно, отдельными участками сверху вниз — метод нисходящих заходов или снизу вверх — метод восходящих заходов.

Наиболее простым является способ тампонажа горных пород сразу на полную их мощность, т. е. одной зоной. В этом случае тампонажные скважины пробуривают на проектную глубину и после установки тампонажной головки тампонируют. Однако целесообразная область применения этого способа весьма ограничена. Это обусловлено тем, что породы с разной степенью трещиноватости по длине зоны для получения удовлетворительных результатов необходимо тампонировать различными по свойствам и составам растворами, зачастую при различных давлениях и режимах нагнетания. Далее, при пересечении пород, склонных к размоканию, происходит зашламовывание водогазопроводящих трещин, особенно в верхней части их, что отрицательно сказывается на результатах тампонажа. Наконец, при значительной мощности сильнопроницаемых пород тампонирование их сразу на полную мощность повлечет такое поглощение жидкости, что имеющееся тампонажное оборудование не обеспечит качественной промывки, необходимого давления и режимов нагнетания.

При тампонаже зоны по методу восходящих заходок скважины пробуривают на полную глубину; нагнетание раствора ведут заходками в направлении снизу вверх. Для ограничения распространения раствора только пределами тампонируемой заходки у верхней ее границы устанавливают уплотнительные тампоны-пакеры. Подача раствора к месту тампонажа производится или по буровой колонне, или по специальному тампонажному трубопроводу.

В настоящее время при тампонаже наиболее широкое применение находят одинарные съемные уплотнительные пакеры ДАУ-1 или конструкции ВНИИОМШСа. После окончания тампонажа заходки пакер переносится к верхней границе следующей выше-расположенной заходки. Этот способ тампонажа является менее трудоемким и более экономически выгодным по сравнению с тампонажем зоны нисходящими заходками, так как исключаются операции по разбуриванию скважин на участках ранее затампонируемых заходок. Однако применение тампонажа восходящими заходками возможно при отсутствии в породах в местах проектной установки уплотнительных устройств трещин и каналов, по которым нагнетаемый раствор может проникнуть в скважину выше места установки тампона; последнее обстоятельство может привести к потере тампонажной скважины, тампона и нагнетательного трубопровода, проложенного по скважине.

При тампонаже зоны нисходящими заходками скважины сначала бурят только на глубину первой заходки. После промывки скважины приступают к нагнетанию тампонажного раствора. Убедившись в достаточной эффективности тампонажа пород первой заходки, разбуривают затвердевший в скважине тампонажный раствор и пробуривают ее на глубину второй (нижерасположенной) заходки и т. д., пока породы тампонажной зоны не будут затампонированы на необходимую глубину. К недостаткам

этого способа тампонажа относятся: необходимость многократного чередования операций по бурению скважины и нагнетанию в нее раствора, что приводит к увеличению удельного веса вспомогательно-подготовительных операций; большой объем работ по разбуриванию затвердевшего тампонажного раствора вышерасположенных заходок.

Достоинствами этого способа являются простота операций по герметизации устья скважины, высокое качество тампонажа благодаря многократному тампонажу вышерасположенных заходок, возможность нагнетания раствора в нижерасположенные заходки под более высоким давлением, чем в вышерасположенные, минимальное шламование трещин и пор в горных породах в процессе бурения скважин.

Способ тампонажа зоны нисходящими заходками в практике тампонажных работ принят как основной.

Каждый способ тампонажа с земной поверхности или из забоя проходимой выработки имеет свои преимущества и недостатки. Так, работы по тампонажу горных пород с земной поверхности можно выполнять задолго до начала основных горнопроходческих работ. Бурение тампонажных скважин и нагнетание раствора в тампонируемые породы можно выполнять более производительными, мощными машинами и установками, чем применяемые при тампонаже из забоя проходимой выработки, и параллельно с работами подготовительного периода. Однако при тампонировании горных выработок с поверхности не всегда удается установить и качественно затампонировать все водо-газоносные трещины и поры.

При тампонаже горных пород из забоя проходимой выработки имеется возможность достаточно точно установить все водо-газопроводящие трещины и поры и затем качественно затампонировать их. Однако в этом случае существенно снижается скорость проведения выработок.

Горно-геологические условия и степень проницаемости пород также оказывают существенное влияние на выбор способа тампонажа. Так, тампонирование с земной поверхности пористых или мелкотрещиноватых пород нецелесообразно. Эти породы наиболее эффективно тампонировать из забоя проходимой выработки небольшими зонами и заходками.

Целесообразность применения того или иного способа тампонажа при соответствующих горно-геологических условиях определяется на основании технико-экономического расчета. Для расчетов может быть принята методика проф. Н. Г. Трупака [20].

Если  $A$  — стоимость работ при тампонаже горных работ из забоя проходимой выработки, а  $B$  — стоимость работ при тампонаже с земной поверхности, то с экономической точки зрения тампонаж с земной поверхности будет выгоден в случае, если для условий, приведенных на рис. 41, величина затрат  $B$  меньше затрат  $A$ .

Средняя длина забоя для каждого из рассматриваемых пород может быть определена по формулам:

$$L_1 = \frac{V_{1,1} + V_{1,2} + V_{1,3} + V_{1,4} + V_{1,5} + V_{1,6} + V_{1,7} + V_{1,8} + V_{1,9} + V_{1,10}}{n_1} \quad (7.1)$$

$$L_2 = \frac{V_{2,1} + V_{2,2} + V_{2,3} + V_{2,4} + V_{2,5} + V_{2,6} + V_{2,7} + V_{2,8} + V_{2,9} + V_{2,10}}{n_2} \quad (7.2)$$

где  $V_{1,1} + V_{1,2} + V_{1,3} + V_{1,4} + V_{1,5} + V_{1,6} + V_{1,7} + V_{1,8} + V_{1,9} + V_{1,10}$  — суммарный объем пород при тапконаже пород при тапконаже с предварительным тапконажем пород;  $V_{1,1}$  — суммарный объем пород (1-й) тапконажной зоны (перемычки).

и  $V_{1,1} = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{\cos \alpha} (h_{1i} + h_{2i} - h_{3i})$  — объем работ по бурению скважин при тапконаже с предварительным тапконажем пород (перемычки), и  $V_{1,1} = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{\cos \alpha} (h_{1i} + h_{2i})$  — объем работ по бурению сква-

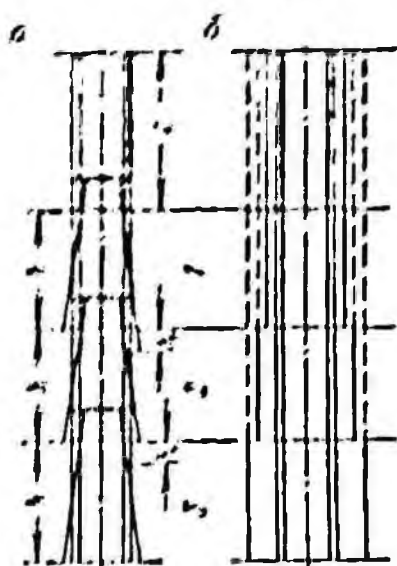


Рис. 41. Схема тапконажа горных пород:

а — из забой ствола; б — с земной поверхности; 1, 2 и 3 — заходки

жина при тапконаже с предварительным тапконажем пород;  $H_i$  — высота скважины в одной (i-й) тапконажной зоне при предварительном тапконаже из забоя проходной выработки;  $h_{1i}$  — мощность пород, намеченных к тапконированию одной (i-й) зоной, м;  $h_{2i}$  — толщина породного целика, остающегося под i-й тапконажной подушкой, м;  $h_{3i}$  — толщина тапконажной подушки (перемычки), м;  $h_{4i}$  — толщина породного предохранительного целика, м;  $V_p = \sum [(n-1)l_{1i} - (n-2)l_{2i} + \dots + l_{(n-1)i}]$  — объем работ по разбурированию затвердевшего тапконажного камня, м;

при одинаковой в пределах i-й зоны высоте (длине) заходок

$$V_p = \sum \left[ \frac{(n+1)l_i}{2} \right], \text{ м};$$

при установке уплотнительных устройств (тапконов)  $V_p = 0$ ;  $n$  — число заходок в i-й тапконажной зоне;  $l_{1i}, l_{2i}, \dots, l_{(n-1)i}$  — высота (длина) первой, второй и т. д. заходок i-й тапконажной зоны, м;  $V_r$  — расчетный расход раствора для тапконажа горных пород общей мощностью  $H$ , м<sup>3</sup>;  $V_{a,b} = \frac{N_a H_a}{\cos \alpha}$  — объем буровых работ по бурению тапконажных скважин при тапконаже с земной поверхности, м;  $N_a$  — число скважин при тапконаже с земной поверхности;  $\alpha$  — zenithный угол наклона тапконажных скважин;  $H_a$  — мощность пород от устья скважины до проектной отметки ее, м;  $V_{a,p} = (n_1-1)l_{1a} + (n_2-2)l_{2a} + \dots + l_{(n-1)a}$  — объем работ по разбурированию затвердевшего тапконажного камня при предварительном тапконаже с земной поверхности, м; при установке



уплотнительных устройств (тампонов)  $V_{a.p}=0$ ;  $n_3$  — число заходов при предварительном тампонаже с земной поверхности;  $l_{1з}, l_{2з} \dots l_{(n_3-1)}$  — высота первой, второй и т. д. тампонажных заходов при тампонаже с земной поверхности, м;  $V_{a.t}$  — расчетный расход раствора при тампонаже с земной поверхности, м<sup>3</sup>;  $c$  и  $c_1$  — стоимость бурения 1 м тампонажной скважины из забоя проходимой выработки и с земной поверхности, руб.;  $a$  и  $b$  — стоимость укладки и разборки 1 м<sup>3</sup> тампонажной подушки, руб.;  $d$  и  $d_1$  — стоимость разбуривания 1 м затвердевшего тампонажного камня при тампонаже из забоя проходимой выработки и с земной поверхности, руб.;  $e$  и  $e_1$  — стоимость приготовления 1 м<sup>3</sup> раствора при тампонаже из забоя проходимой выработки и с земной поверхности, руб.;  $f$  и  $f_1$  — стоимость нагнетания 1 м<sup>3</sup> раствора при тампонаже из забоя проходимой выработки и с земной поверхности, руб.;  $C_0$  и  $C_n$  — общешахтные и накладные расходы, %.

В ряде случаев в одной и той же выработке оказывается целесообразным применение обоих способов тампонажа: до некоторой глубины залегания тампонируемых пород — тампонаж с земной поверхности, а ниже — из забоя проходимой выработки.

Протяженность зон тампонажа определяется при тампонировании с земной поверхности в основном производственными возможностями бурового и нагнетательного оборудования, при тампонировании из забоя проходимой выработки — на основании аналитических расчетов, методика которых предложена Н. Т. Логачевым. По методике Н. Т. Логачева оптимальной протяженностью тампонажной зоны считается такая, при которой затраты времени на тампонаж 1 м выработки являются наименьшими.

Продолжительность тампонажа 1 м выработки в общем виде

$$t_r = \frac{T_r}{h} = \frac{T_n}{h} + \frac{T_6}{h} + \frac{T_n}{h} + \frac{T_p}{h} + \frac{T_b}{h}, \text{ сут}, \quad (\text{IV.3})$$

где  $T_r$  — полное время тампонажа зоны протяженностью  $h$ , сут;  $T_n$  — время, затрачиваемое на сооружение и разборку тампонажной подушки, твердение бетона до начала бурения тампонажных скважин, сут;

$T_6 = \frac{Nh}{\cos \alpha \cdot v_{cm} n}$  — время, затрачиваемое на бурение тампонажных скважин, сут;  $N$  — число тампонажных скважин;  $\frac{h}{\cos \alpha}$  — наклонная длина скважин, м;  $z$  — принятое число рабочих смен в сутки;  $n$  — число буровых станков, работающих в забое;  $v_{cm}$  — сменная производительность бурового станка при бурении тампонажных скважин, м/смену. С увеличением глубины скважины производительность бурения снижается в прямолинейной зависимости (рис. 42) по формуле

$$v_{cm} = v_n - bh, \quad (\text{IV.4})$$

где  $v_n$  — производительность бурения в начале скважины, м/смену;  $b = \text{tg} \beta$  — тангенс угла наклона прямой на графике производи-

тельности бурового станка;  $T_n = \frac{qh}{zq_n}$  — продолжительность нагнетания тампонажного раствора, сут;  $q$  — расход тампонажного раствора на 1 м проходимой выработки, м<sup>3</sup>;  $q_n$  — производительность нагнетания, м<sup>3</sup>/смену;  $T_p = \frac{V_p}{z\nu_{см}}$  — время разбуривания скважин по затвердевшему тампонажному камню, сут;  $V_p$  — объем ра-

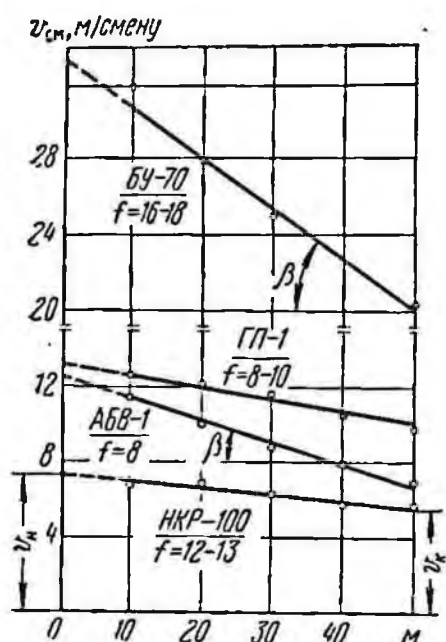


Рис. 42. Зависимость сменной производительности буровых станков от глубины скважин  $h$  при разной крепости пород

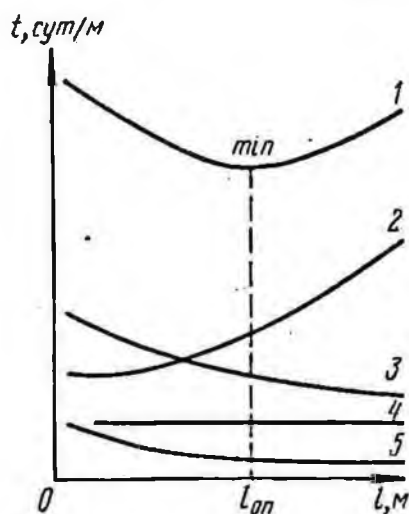


Рис. 43. Зависимость удельных затрат времени на тампонаж горных пород от длины тампонируемой зоны:

$$1 - t_T = \frac{T_T}{h}; \quad 2 - t_6 = \frac{T_{6ур}}{h}; \quad 3 - t_n = \frac{t_{пог}}{h}; \\ 4 - t_m = \frac{T_{наг}}{h}; \quad 5 - t_p = \frac{T_{всп}}{h}$$

бот разбуривания по затвердевшему тампонажному камню, м;  $\nu_{см}$  — сменная производительность бурового станка при бурении по затвердевшему тампонажному камню, м/сут;  $T_n$  — время, затрачиваемое на выполнение вспомогательно-подготовительных работ, сут.

С ростом длины заходки удельное время  $\frac{T_n}{h} + \frac{T_p}{h}$  уменьшается,  $\frac{T_n}{h}$  остается постоянным и от длины зоны не зависит. Удельное время, затрачиваемое на бурение и разбуривание тампонажных скважин, с увеличением длины зоны увеличивается.

Если разбуривание скважины по тампонажному камню занимает до 50% объема бурения их, то выражение  $\frac{T_6}{h} + \frac{T_p}{h}$  можно представить в виде  $\frac{aT_6}{h}$ , где  $a$  — коэффициент, учитывающий

увеличение времени буровых работ за счет разбуривания скважины.

При объеме разбуривания более 50% времени разбуривания учитывается отдельно.

После преобразования формула (IV.3) примет вид:

$$t_r = \frac{T_n}{h} + \frac{T_b}{h} + \frac{aN}{zn(v_n - bh)} + \frac{q}{z\rho_n} \quad (IV.5)$$

Кривая 1 (рис. 43) имеет минимум, соответствующий оптимальной длине тампонажной зоны, т. е. такой длине, при которой удельные затраты времени на тампонаж оказываются наименьшими.

Вычислив для нахождения точки  $\min$  кривой первую производную  $\frac{dt_r}{dh}$  и приравняв ее нулю, получим уравнение, решение которого относительно  $h$  дает значение оптимальной длины тампонажной зоны:

$$h_{\text{опт}} = \frac{v_n b T \left( \sqrt{\frac{aN}{zn} - 1} \right)}{b \left( \frac{aN}{zn} - bT \right)}, \text{ м}, \quad (IV.6)$$

где  $T = T_n + T_b$ , сут.

Вычисленные по формуле (IV.6) оптимальные длины тампонажных зон при использовании буровых станков НКР-100, ГП-1 и БУ-70 находятся в пределах 32—60 м, при использовании буровых агрегатов ЗИФ-300 — в пределах 75—125 м.

Ориентировочная оптимальная длина тампонажной заходки принимается исходя из проницаемых характеристик тампонируемых пород и производительности растворонасосов по формуле, предложенной КузНИИШахтостроем [20]:

$$l_{\text{опт}} = \frac{kQ_n}{q\rho_3}, \text{ м}, \quad (IV.7)$$

где  $Q_n$  — производительность растворонасосов, л/мин;  $q$  — удельное водопоглощение тампонируемых пород, л/мин;  $\rho_3$  — требуемое начальное забойное давление нагнетание;  $\rho_3 = \rho_0 - \rho_r$ , м вод. ст.;  $\rho_0$  — давление нагнетания, фиксируемое манометром растворонасоса, м вод. ст.;  $\rho_r$  — гидростатический напор подземных вод или газов в тампонируемых породах, м вод. ст.;  $k$  — коэффициент, зависящий от консистенции (концентрации) тампонажного раствора, величины раскрытия трещин и расхода тампонажного раствора.

Ниже приведены рекомендуемые значения коэффициента  $k$  в зависимости от концентрации нагнетаемого тампонажного раствора.

|                           |       |       |       |       |         |  |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|--|
| Концентрация раствора     |       |       |       |       |         |  |
| Ц : В (цемент : вода)     | 1 : 5 | 1 : 3 | 1 : 2 | 1 : 1 | 1 : 0.5 |  |
| Значение коэффициента $k$ | 1.3   | 1.3   | 1.4   | 1.5   | 1.6     |  |

Значения начального забойного давления нагнетания в зависимости от приведенной величины раскрытия трещин можно принимать:

|                                                          |      |     |      |    |
|----------------------------------------------------------|------|-----|------|----|
| Раскрытие трещин, мм . . .                               | До 1 | 1—5 | 5—20 | 20 |
| Начальное давление нагнетания, кгс/см <sup>2</sup> . . . | 6—8  | 3—6 | 2—3  | 2  |

Различают следующие способы нагнетания раствора в скважины: циркуляционный, зажимной, полуциркуляционный и сифонный. При циркуляционном способе тампонажный раствор в скважину нагнетают при постоянном, заранее заданном

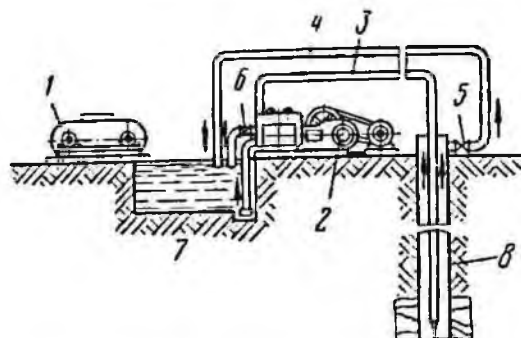


Рис. 44. Схема нагнетания тампонажного раствора в скважину циркуляционным способом:

1 — растворомешалка; 2 — насос; 3 — нагнетательный растворопровод; 4 — обратный растворопровод (сброс); 5 — запорный кран на обратном растворопроводе; 6 — запорный кран на разгрузочном патрубке растворонасоса; 7 — емкость для тампонажного раствора; 8 — скважина

давлению нагнетания. К скважине подается большее, чем могут поглотить трещины тампонируемых пород при заданном давлении нагнетания, количество раствора. Непоглощенный трещинами раствор возвращается по обратному трубопроводу в резервуар для раствора и используется повторно. Схема установки для нагнетания раствора циркуляционным способом показана на рис. 44. Приготовленный растворомешалкой тампонажный раствор из емкости 7 по нагнетательному ставу 3 растворонасосом 2 подается в скважину 8. Непоглощенный скважиной раствор возвращается по трубопроводу 4 при открытом кране 5 обратно в емкость для повторного использования. Регулируя краном 5 расход раствора в обратном трубопроводе 4, можно создавать необходимое давление в скважине и заданный режим тампонирования.

Необходимым условием эффективного применения циркуляционного способа является обеспечение непрерывной во время нагнетания циркуляции тампонажного раствора в растворопроводящих трубопроводах и скважине. Минимальная скорость движения раствора в затрубном пространстве скважины должна обеспечивать вынос наиболее крупных частиц твердой фазы раствора.

Необходимая скорость движения раствора в затрубном пространстве осевшими твердыми частицами.

Циркулярный способ, обеспечивая лучшее управление процессом нагнетания и регулирования концентрации раствора, исключает осаждение твердых составляющих раствора в скважине и, следовательно, исключает закупорку трещин нижней части скважины осевшими твердыми частицами.

Наиболее целесообразно циркуляционный способ нагнетания применять для тампонирувания горных пород со средней или крупной трещиноватостью, когда для ограничения радиусов распространения растворов нужны небольшие давления нагнетания. Использование циркуляционного способа нагнетания обеспечивает при лучших условиях управления процессом нагнетания меньший расход тампонажного раствора.

Однако применение циркуляционного способа нагнетания раствора связано с необходимостью обеспечения в течение всего времени тампонажа непрерывной циркуляции раствора и использования сложной, недостаточно надежной в работе запорной и растворопроводящей арматуры, что ограничивает область применения этого способа нагнетания даже в оптимальных горно-геологических условиях.

При тампонаже пород зажимным способом давление нагнетания не регулируют и оно повышается по мере заполнения трещин тампонажным раствором. При уменьшении поглощения раствора скважиной давление нагнетания повышается. Величина давления нагнетания в этом случае зависит от поглощающей способности тампонируемых горных пород и используемого типа тампонажного оборудования. Нагнетание раствора в тампонируемые породы прекращается при достижении заданного проектом давления. Оборудование скважины при зажимном способе нагнетания наиболее простое. В практике тампонажных работ преимущественно применяется зажимной способ нагнетания раствора.

При полуциркуляционном способе нагнетания циркуляция тампонажного раствора осуществляется только в растворопроводах (нагнетательном и обратном) между растворонасосом, тампонажной головкой и емкостью для раствора. В тампонируемой скважине раствор перемещается сверху вниз. Полуциркуляционный способ нагнетания, отличаясь сравнительно простой оснастки скважины, обеспечивает сравнительно легкое управление процессом тампонажа и регулирование концентрации раствора, подаваемого в скважину. При этом способе тампонажный раствор в скважину можно нагнетать как при постоянном, так и переменном давлении. Полуциркуляционный способ нагнетания можно применять для тампонажа как мелкотрещиноватых, так и крупнотрещиноватых горных пород.

При сифонном способе давление нагнетания обеспечивается не растворонасосом, а весом столба раствора в раствороподающем стве и скважине. Сифонный способ нагнетания наиболее целесообразно применять при наличии в массиве гор-

ных пород значительных пустот при большой глубине залегания тампонируемых пород.

Неустановившийся режим движения раствора в скважине и тампонируемом массиве ограничивается промежутком времени между началом нагнетания и достижением начального, заданного проектом производства работ давления при зажимном способе тампонажа или постоянного давления нагнетания при циркуляционном и полудиркуляционном способах тампонажа.

Рассматривая процессы, происходящие в скважине при нагнетании раствора, можно заметить, что скважина представляет собой растворопровод с переменным по длине расходом.

Если скважиной вскрыты породы с одинаковой по длине скважины проницаемостью, то скорость движения тампонажного раствора в скважине изменяется по линейному закону. Если тампонируемый массив представлен трещиноватыми породами с различной по длине скважины проницаемостью, то изменение скорости движения раствора в скважине будет иметь ступенчатый характер.

Возможны случаи, когда в нижней части скважины вскрыта трещина с поглощающей способностью значительно большей, чем поглощающая способность остальной части скважины или, когда крупная трещина находится в верхней части скважины и т. д. В первом случае скорость движения раствора в скважине будет практически постоянной, так как основной объем раствора поглощается крупной трещиной. При создании растворонасосом некоторого давления в скважине тонкие трещины, расположенные выше крупной, будут тампонироваться в условиях, аналогичных циркуляционному способу нагнетания. При расположении крупной трещины в верхней части скважины скорость движения раствора ниже этой трещины будет незначительной, при определенных условиях недостаточной для удержания во взвешенном состоянии твердых составляющих раствора. При скоростях движения, больших скорости падения твердых частиц в среде раствора, твердая фаза будет уноситься потоком раствора в трещины горных пород.

Исследования процесса осадкообразования в скважине и механизма закупорки тампонажным камнем устьев трещин показывают, что в образовавшемся осадке остаются каналы, по которым продолжается движение раствора со скоростями, исключающими осаждение твердой фазы. По этим каналам раствор продолжает поступать в трещины. При переходе раствора из скважины в трещины создаются наибольшие перепады давлений, величина которых резко возрастает с уменьшением раскрытия трещин. Перепады давлений на примыкании трещин к скважине приводят к отфильтровыванию жидкой фазы из нагнетаемого раствора, в результате чего концентрация раствора изменяется на более густую. При определенном соотношении перепадов давления и начальной концентрации раствора, последний может потерять подвижность вблизи скважины и устья трещин окажутся

забитыми плотным тампонажным камнем, который будет препятствовать дальнейшему распространению раствора в тампонируемом массиве. В этом случае количество раствора, поглощаемого тампонируемой средой, будет незначительно, а давление нагнетания высоким.

Как показали проведенные КузНИИШахтостроем исследования, наличие пористости в горных породах, образующих водогазопроводящие трещины, способствует еще большему отфильтровыванию жидкой фазы. Для снижения отрицательного влияния отфильтровывания жидкой фазы на процесс и качество тампонирования трещиновато-пористых пород, последние при величине раскрытия трещин менее 10 мм рекомендуется предварительно обрабатывать силикатными или химическими растворами. Концентрация химических и силикатных растворов должна быть такой, чтобы образовавшийся гель легко отжимался в глубь трещин при нагнетании в них тампонажных растворов на основе цементов или глин. Проведенные КузНИИШахтостроем опыты показали, что обработка массива химическими или силикатными растворами позволяет практически полностью ликвидировать проницаемость среды, образующей водопроводящую трещину, и обеспечивает резкое (в десятки раз) снижение давлений, необходимых для нагнетания тампонажных растворов.

КузНИИШахтострой на основании опыта цементации трещиноватых пород рекомендует в зависимости от величины раскрытия трещин назначать начальные давления нагнетания в соответствии с ранее приведенными данными.

Продолжительность неустановившегося режима движения нагнетаемого раствора зависит от проницаемости тампонируемого массива, производительности растворонасоса и физико-механических характеристик раствора. Время неустановившегося режима нагнетания можно сократить за счет уменьшения мощности одновременно тампонируемых горных пород. Именно за счет применения этого параметра чаще всего в практике тампонажа достигают с начала нагнетания некоторого давления на скважине [см. формулу (IV.7)].

По мере уменьшения поглощающей способности скважины начальное давление нагнетания раствора постепенно повышается до заданной проектной величины. По достижении конечной величины давления нагнетания тампонаж необходимо продолжать до получения отказа в поглощении раствора скважиной.

## § 22. РАСПОЛОЖЕНИЕ, ЧИСЛО И ДИАМЕТР ТАМПОНАЖНЫХ СКВАЖИН

Число и схема расположения скважин при предварительном тампонаже горных пород определяют не только качество тампонажа, но в значительной мере — стоимость работ, так как бурение и разбуривание скважин занимает до 60% и более всего времени тампонажа.



Снижение затрат на бурение тампонажных скважин может быть достигнуто уменьшением их числа и уменьшением диаметра скважин. Вместе с тем качество тампонажа в общем случае повышается при увеличении числа тампонажных скважин, так как вероятность пропуска водоносных трещин снижается.

Для обеспечения эффективности тампонажных работ следует отдавать предпочтение бурению большего числа тампонажных скважин малого диаметра, чем меньшего числа скважин большего диаметра.

В практике тампонажных работ диаметр скважин принимают в пределах 40—100 мм в зависимости от глубины их, технической характеристики бурового оборудования и способа нагнетания тампонажного раствора.

При предварительном тампонаже горных пород с земной поверхности скважины в большинстве случаев располагают по окружности вокруг ствола; в последнее время в ряде случаев применяют расположение скважин параллельными рядами по простиранию пород.

Диаметр окружности расположения тампонажных скважин при тампонировании стволов с поверхности принимается обычно на 3—4 м больше диаметра ствола в проходке. При размещении скважин параллельными рядами расстояние их от ствола увеличивается до нескольких десятков метров, при этом скважины имеют наклонное положение и направление, обеспечивающее максимальное пересечение трещин (рис. 45, а). При тампонаже с земной поверхности горизонтальных и наклонных выработок скважины размещаются параллельно оси выработки и таким образом, чтобы обеспечить водо-газонепроницаемую завесу. Схема тампонажа с использованием наклонно направленных скважин разработана и осуществляется управлением «Спецтампонажгеология».

При тампонаже из забоя выработки скважины располагаются с отходом от контура на 0,5—0,7 м по условиям размещения бурильных машин.

При тампонаже скальных пород с равномерной трещиноватостью тампонажные скважины можно бурить параллельно оси выработки.

При бурении пород с ориентированной системой трещиноватости тампонажные скважины бурят таким образом, чтобы при бурении вскрыть наибольшее количество водо-газопроводящих трещин. Для этого скважинам придают зенитный угол с таким расчетом, чтобы забои их выходили за контур выработки вчерне на расстояние до 2 м (рис. 45, б). Кроме того, скважинам придают и тангенциальный угол наклона в пределах 110—135°.

Число тампонажных скважин принимают таким, чтобы радиусы распределения раствора при нагнетании в смежные скважины пересекались и мощность «тампонажного замка» была не менее 2 м.

Радиус распространения раствора, а следовательно, и оптимальное число тампонажных скважин зависят от горно-геологических условий: характера трещиноватости, размеров трещин, вида внутритрещинного заполнения, гидростатического напора подземных вод и принятого давления нагнетания.

Ориентировочный расчет радиуса распространения тампонажного раствора может быть произведен по следующим формулам:

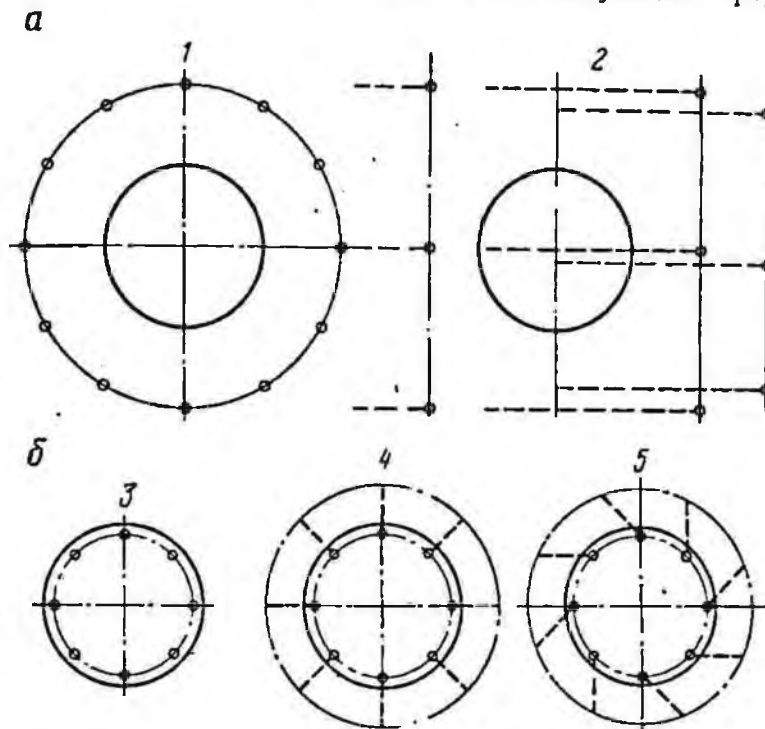


Рис. 45. Схемы расположения тампонажных скважин:

а — при тампонаже с поверхности; б — при тампонаже из забоя; 1 — по окружности вокруг ствола; 2 — параллельными рядами; 3 — вертикальные; 4 — наклонные относительно оси ствола; 5 — наклонные в двух направлениях забоя

В. Маага

$$R = \sqrt{\frac{3K_{\phi} t p_0 r_0 \frac{r_0}{r}}{\varphi}}; \quad (IV.8)$$

Т. С. Каранфилова

$$R = \sqrt{\frac{0,64 K_{\phi} t p_0 \frac{r_0}{r}}{\beta \mu}}; \quad (IV.9)$$

И. И. Вахрамеева

$$R = \sqrt{\frac{\alpha \frac{K_{пр} (p_0 - p_r)}{\eta} - BCR}{m_T \ln \frac{R}{r_0}}} 2t, \quad (IV.10)$$

где  $R$  — расчетный радиус распространения раствора, м;  $r_0$  — радиус тампонажной скважины, м;  $K_f$  — коэффициент фильтрации тампонируемой среды, м/с;  $K_{пр}$  — коэффициент проницаемости тампонируемых пород;  $t$  — время нагнетания раствора, с;  $p_0$  — давление нагнетания, фиксируемое манометром растворонасоса, кгс/см<sup>2</sup>;  $p_r$  — гидростатический напор подземных вод, м вод. ст.;  $\tau_0$  и  $\tau$  — кинематическая вязкость воды и раствора, м<sup>2</sup>/с;  $\beta$  — степень заполнения трещин раствором;  $\eta$  — структурная вязкость нагнетаемого раствора, кгс/м<sup>2</sup>;  $\varphi$  и  $\mu$  — активная и объемная пористость тампонируемых пород;  $B = \tau_0 \eta$  — константа, зависящая от реологических свойств тампонажного раствора;  $C = \frac{m_r s}{2}$  — константа, зависящая от геометрических параметров тампонируемого массива;  $\tau_2$  — предельное динамическое напряжение сдвига тампонажного раствора, кгс/м<sup>2</sup>;  $s$  — среднее раскрытие трещин, м;  $m_r$  — скважинность трещиноватого массива;

$$z = 6,13 \cdot 10^{-3} \frac{\tau_0}{\eta} \sqrt{\frac{d_r}{s}};$$

$d_r$  — диаметр частиц твердой фазы тампонажного раствора, м.

Формулы В. Маага и Т. С. Каранфилова выведены для однородных растворов, подчиняющихся закону внутреннего трения Ньютона. Радиус распространения тампонажных растворов при применении структурных растворов определяется по формуле, предложенной И. И. Вахрамеевым.

При разработке проектов тампонажных работ величина радиуса распространения тампонажного раствора принимается различной: в СССР — около 3,5 м, в Канаде — 2—14 м, в ЮАР — от 2 до 20 м и т. д. В последние годы в ЮАР были предприняты меры по практическому определению радиуса распространения тампонажных растворов в различных типах трещиноватых пород. Для этой цели в нагнетаемый тампонажный раствор вводят инертный краситель, причем каждой скважине соответствует краситель своего цвета. При проведении выработок устанавливается действительный радиус распространения раствора. На основании этих определений было установлено, что в изверженных трещиноватых породах он достигает 20 м, в осадочных — 10 м, т. е. в 3—4 раза превышает ранее предполагаемый. Установление этого факта позволило резко сократить число тампонажных скважин, что особенно важно при тампонаже с земной поверхностью.

Коренная зависимость между проницаемостью пород и числом тампонажных скважин видна из анализа практики тампонажных работ на рудниках Саскачевана (Канада). Фильтрационные свойства водоносных пород этого месторождения имеют большое разнообразие. Поэтому количество скважин, обеспечивающих успешное водоподавление, изменялось от 8 (формация Лонженул) до 46 (формация Сури-Ривер).

На основании опыта проведения тампонажных работ установлено, что при предварительном тампонаже из забоя проходимой вы-

работки число скважин можно принимать 5—10 в крупно- и среднетрещиноватых породах, при мелкой же трещиноватости или при нарушенных породах число скважин достигает 40—50 и более. При предварительном тампонаже с земной поверхности число тампонажных скважин в крупно- и среднетрещиноватых породах принимается от 1 до 8, однако число их в мелкотрещиноватых породах увеличивается до 30 и более.

Устья тампонажных скважин для обеспечения направления бурения, установки тампонажной головки и возможности создания давления нагнетания оборудуются направляющими трубами — кондукторами с тщательным замоноличиванием их в массиве цементным или цементно-песчаным раствором. При тампонировании из забоя выработки направляющие трубы устанавливаются в проектное положение при устройстве тампонажной подушки, при тампонировании под защитой породного целика скважины под кондуктор бурят диаметром большим, чем основная скважина. Замоноличивание кондукторных труб в породах производят заливкой или нагнетанием в затрубное пространство растворов с добавками ускорителей схватывания цемента. При длине кондукторных труб более 5 м заделку их осуществляют только нагнетанием раствора до выхода его на поверхность из устья скважины.

Для обеспечения оптимальных условий работы тампонажной подушки кондукторы заглубляют в породу на 0,5—1,5 м ниже подошвы подушки. Заглубление кондуктора в породы преследует цель — передачу давления нагнетания на породы, а не на подошву тампонажной подушки. Для исключения прорывов нагнетаемого раствора под подошву тампонажной подушки перед бурением тампонажных скважин в кондукторы нагнетается под небольшим давлением 3—4 кгс/см<sup>2</sup> — тампонажный раствор высокой прочности. Затвердевший раствор образует монолитную конструкцию, объединяющую подстилающие породы, подушку и кондукторы.

Глубина заделки кондуктора в породы при тампонаже с земной поверхности или из забоя проходимой выработки с применением породного предохранительного целика определяется по формуле

$$l_k = \frac{\pi p d^2}{4 D f_T}, \text{ см}, \quad (\text{IV.11})$$

где  $l_k$  — глубина заделки кондуктора, см;  $p$  — давление нагнетания при испытании герметичности заделки кондукторной трубы, кгс/см<sup>2</sup>;  $d$  — внутренний диаметр кондукторной трубы, см;  $D$  — наружный диаметр кондукторной трубы, см;  $f_T$  — удельное трение наружной поверхности кондуктора о породу, кгс/см<sup>2</sup>.

При заделке кондукторов в песчаных, гравелистых или песчано-глинистых породах оно равно 0,25, в плотных глинистых породах или мергелях — 0,55, в скальных породах — 0,80 кгс/см<sup>2</sup>.

В целях улучшения сцепления кондукторных труб с затрубным заполнением на наружную поверхность труб иногда навариваются кольцевые выступы.

Испытания герметичности заделки кондукторов производятся нагнетанием воды под давлением, превышающим в 1,5 раза максимальные давления нагнетания тампонажного раствора.

Тампонажные скважины заполняют обсадными трубами только при бурении в зоне неустойчивых пород, представленных обычно наносными четвертичными отложениями. При наличии неустойчивых пород, в которых намечено проведение тампонажа, тампонажная скважина осаждается по мере углубки скважины при ее бурении. Обсадные трубы удаляются из скважин после спуска в нее трубы-инъектора, по которой в породы нагнетается тампонажный раствор.

При бурении скважин в породах с напорными водами или газами применяют специальные меры по предотвращению прорыва последних в выработку. Для этой цели направляющие кондукторы оборудуют сальниковыми устройствами, обеспечивающими герметичность скважин и возможность спуска и подъема бурового инструмента в процессе бурения скважин.

После окончания бурения скважины буровой инструмент извлекают. При наличии сальникового устройства запорный кран кондуктора перекрывают, снимают сальниковое устройство и вместо него к вертикальному патрубку крана присоединяют тампонажную головку. При отсутствии сальникового устройства после окончания бурения на кондуктор устанавливают запорную арматуру и скважину подсоединяют к нагнетательному трубопроводу. На горизонтальном патрубке тампонажной головки устанавливают манометр.

После оборудования скважины тампонажной головкой производят промывку скважины чистой водой, которая очищает ее от остатков буровой мелочи, а также удаляет глинистый или илистый материал, заполняющий трещины пород. Скважину промывают до тех пор, пока из нее не будет выходить светлая вода. Промытая и оборудованная скважина подготовлена для нагнетания в нее тампонажного раствора.

Бурение и тампонирувание скважин можно производить по следующим схемам:

1. Бурят одну половину скважин, после промывки в них нагнетают тампонажный раствор. По окончании тампонажа этих скважин бурят остальные скважины и тампонируют их. В первой половине скважин в это время происходит твердение закачанного раствора.

2. Бурят все тампонажные скважины, после промывки и определения притока воды из них тампонируют скважину с максимальным притоком воды. Очередность тампонирувания остальных скважин принимается согласно размерам притоков воды в них в нисходящем порядке.

3. Большое распространение получил так называемый способ сближения скважин. При применении этого способа первоначально бурят и тампонируют две диаметрально противоположные скважины. Затем бурят следующие две скважины, расположенные на диаметре, перпендикулярном к первому. После нагнетания тампонажного раствора в эти скважины, бурят третью пару скважин, расположенных на диаметре, который находится под углом  $45^\circ$  к первым двум, и т. д. Этот порядок бурения и тампонирования скважин уменьшает до минимума вероятность пропикновения тампонажного раствора в соседние скважины вследствие значительных расстояний между ними. Через первые две скважины тампонируется большинство крупных трещин, при тампонировании последующих скважин перекрываются более мелкие трещины.

### § 23. ТАМПОНАЖНЫЕ ПОДУШКИ

#### и ПОРОДНЫЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ЦЕЛИКИ

При производстве тампонажа из забоя выработки с целью изоляции ее от прорыва напорных вод и выхода нагнетаемого тампонажного раствора сооружаются тампонажные подушки или же используются водонепроницаемые породные целики.

Тампонажные подушки представляют собой искусственно создаваемые бетонные, реже — железобетонные и сборные металлические перемычки, устанавливаемые на забое выработки.

Толщина тампонажных подушек определяется по расчетам и формулам, имеющим приближенный характер. На толщину подушки влияет размер выработки, механические характеристики вмещающих пород, материала подушки и давление нагнетания раствора.

Существуют две конструкции тампонажных подушек: сферические и плоские. Тампонажные подушки могут быть одноступенчатыми или многоступенчатыми (рис. 46).

Одноступенчатые тампонажные подушки применяют при сравнительно небольших давлениях нагнетания, многоступенчатые — при больших. Форма поперечного сечения тампонажных подушек соответствует форме поперечного сечения горных выработок, в которых они сооружаются.

Тампонажные подушки, опирающиеся на горные породы, у подошвы имеют площадь поперечного сечения в 1,2—1,25 раза больше, чем сечение проходимой выработки. При устройстве таких подушек боковые грани их заделывают в породу под некоторым углом к оси выработки, чем обеспечивают передачу давления нагнетания раствора боковым породам.

В неустойчивых трещиноватых горных породах, когда трудно выполнить уступы, применяют конструкции тампонажных подушек, которые опираются на постоянную крепь горных выработок (рис. 46). С целью предотвращения разрушения постоянной крепи в примыкающей к подушке части выработки под действием давления нагнетания тампонажного раствора, в крепи на расстоя-

нии 2—4 м от тампонажной подушки пробуривают шпуров до контакта с горными породами. Если в процессе тампонажа из пробуренных шпуров появится раствор, нагнетание прекращается и шпуров, из которых появился раствор перекрываются. Тампонаж пород возобновляется после схватывания закачанного раствора и набора им 20—30%-ной проектной прочности.

Способ сооружения тампонажной подушки зависит от того, поступает ли в забой тампонируемой выработки вода при сооружении подушки или не поступает.

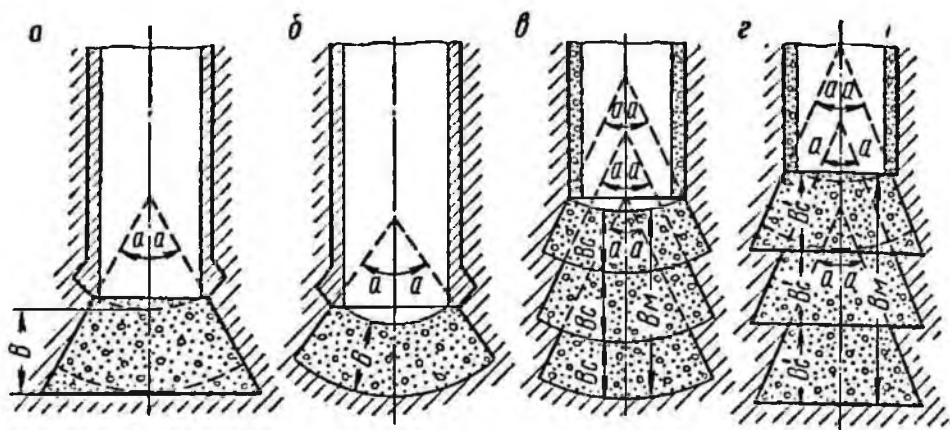


Рис. 46. Тампонажные подушки:

а — одноступенчатая плоская; б — одноступенчатая сферическая; в — многоступенчатая сферическая; г — многоступенчатая плоская

При отсутствии в забое воды укладка бетона в подушку затруднений не представляет. При наличии притока воды подушка укладывается следующим образом.

В стволах на местах, соответствующих расположению всасов проходческих насосов, устанавливают деревянные ящики с просверленными в их стенках отверстиями. На дно ящиков засыпают щебень или гравий и затем устанавливают трубу диаметром, несколько большим диаметра всаса насоса (рис. 47). На забой ствола укладывают каптажный слой из щебня толщиной до 1 м (по расчету). Толщину каптажного слоя определяют исходя из условия обеспечения необходимого объема аккумуляции воды, поступающей к водоотливному насосу при вынужденной кратковременной остановке его, по формуле

$$d = \frac{Qt}{\beta S_{\text{пр}}} + 0,25, \text{ м}, \quad (\text{IV.12})$$

где  $d$  — толщина каптажного слоя, м;  $Q$  — приток воды в каптажный слой, м<sup>3</sup>/ч;  $t$  — расчетное время вынужденной остановки работы насосов;  $\beta$  — коэффициент пустотности щебеночной засыпки;  $S_{\text{пр}}$  — сечение выработки на уровне подошвы подушки, м<sup>2</sup>.

При непрерывной откачке воды на каптажный слой укладывают толь или рубероид, которые покрывают быстротвердеющим це-



ментно-песчаным раствором толщиной 0,1—0,2 м. В проектных местах устанавливают кондукторы и одновременно укладывают бетон подушки.

При достижении бетоном проектной прочности дренажные трубы перекрываются и каптажный слой тампонируется быстротвердеющим цементным раствором. Давление нагнетания раствора

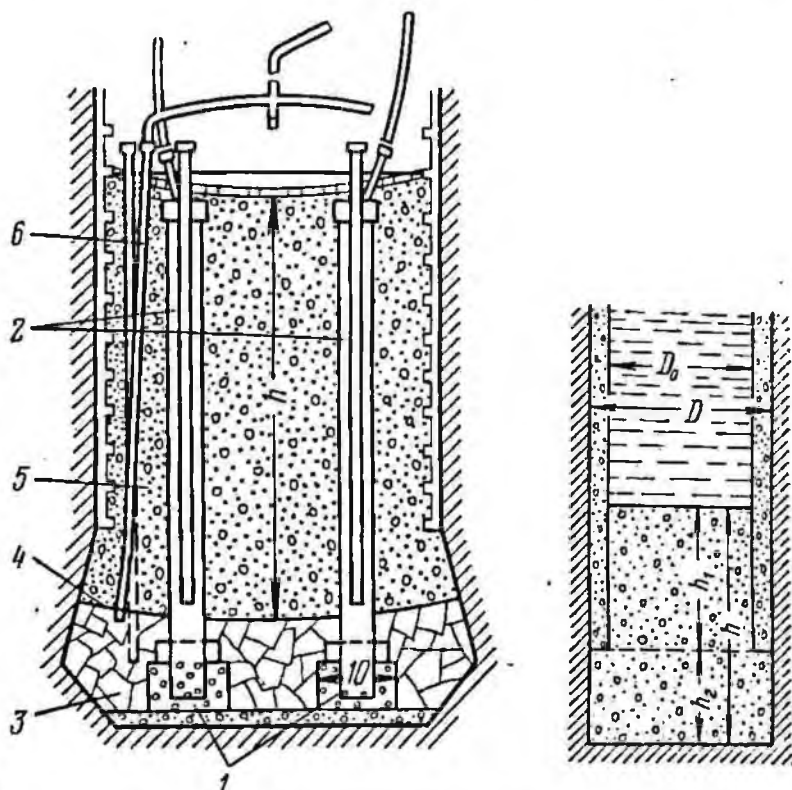


Рис. 47. Конструкция тампонажной подушки в стволе шахты с притоком воды:

1 — деревянный ящик; 2 — дренажные трубы; 3 — каптажный слой; 4 — толь; 5 — бетон; 6 — трубы для тампонирования каптажного слоя

Рис. 48. Схема двухступенчатой тампонажной подводной подушки

в каптажный слой принимается на 20—30% выше гидростатического напора подземных вод на уровне подошвы подушки. После затвердения закачанного в каптажный слой раствора приступают к бурению скважин и тампонажу заходки.

В том случае, когда средства водоотлива не обеспечивают откачку всей поступающей в ствол воды, тампонажную подушку сооружают методом подводного бетонирования.

Конструкции бетонных подводных тампонажных подушек весьма просты и представляют собой обыкновенные одно-или двухступенчатые цилиндрические тела, поперечные сечения которых равны сечениям ствола в месте сооружения подушек (рис. 48).

Одноступенчатые подводные подушки применяют для изоляции прорывов воды в случаях, когда нижний участок ствола закреплен постоянной крепью или на необходимую высоту не закреплен.

Двухступенчатые подводные тампонажные подушки возводят одновременно в закрепленной и незакрепленной частях ствола.

В настоящее время подводное бетонирование подразделяют на:

бетонирование с частичной изоляцией бетона при его укладке в воду;

бетонирование с полной изоляцией его при укладке;

раздельное бетонирование.

Подводное бетонирование с частичной изоляцией бетона основано на подаче его в воду в контейнерах. При движении контейнеров в воде достигается полная изоляция бетона от воды, но при открытии днища контейнера бетон под действием собственного веса проходит некоторый путь в воде, где и происходит частичное вымывание цемента. С целью снижения вымывания цемента из укладываемого бетона расстояние между днищем контейнера и ранее уложенным бетоном должно быть минимально возможным.

Подводное бетонирование с полной изоляцией бетона является наиболее совершенным и достигается укладкой бетона в подушку по трубам. Трубы для спуска бетона, обычно диаметром 150—200 мм, располагают по сечению ствола равномерно таким образом, чтобы максимальное удаление по горизонтали их от точек укладки бетона не превышало 2,5—3,0 м. Нижние концы труб перед началом укладки бетона должны отстоять от забоя ствола на расстоянии 150—200 мм. По мере укладки бетона трубы поднимаются таким образом, чтобы их концы все время находились ниже верхней отметки уложенного бетона, чем исключается расхождение бетона и вымывание из него цемента.

При раздельном бетонировании на забое устанавливают несколько трубопроводов. Затем на забой укладывают слой щебня или гравия расчетной высоты. По трубопроводам в слой гравия или щебня нагнетается быстротвердеющий цементно-песчаный раствор. Расход цементно-песчаного раствора определяется объемом пор крупноскелетного материала тела сооружаемой подушки. По мере подачи раствора в ствол трубопроводы поднимаются вверх.

Для повышения качества работ по устройству тампонажной подушки методом подводного бетонирования целесообразно использование эффекта противотока, который состоит в том, что искусственно создается подпор воды в тампонируемой выработке. Подпор воды обеспечивается поддержанием уровня воды в тампонируемой выработке несколько выше естественного уровня подземных вод. Для этого в выработку с поверхности подается вода. Подпор воды обеспечивает стабильное состояние бетона при его укладке, исключает вынос цементных частиц из укладываемого бетона и разжижение его.

Для обеспечения необходимого качества подводного бетонирования последнее должно производиться непрерывно в один прием до полного окончания сооружения подводной тампонажной подушки.

Определение размеров тампонажных подушек производится по методу, разработанному канд. техн. наук Е. П. Калмыковым. Тампонажные подушки в вертикальных стволах круглой формы. Расчет тампонажной подушки заключается в определении толщины ее и угла наклона боковой поверхности подушки.

Угол наклона боковой поверхности тампонажной подушки к вертикальной оси ствола, на основании данных практики производства работ, принимается равным 20—30°.

Форма подушки зависит от механической прочности вмещающих пород.

Толщина сферической тампонажной подушки приближенно определяется по формуле [20]

$$B_{\text{сф}} = \frac{\lambda p_0 D_{\text{пр}}}{2R_6}, \text{ см,} \quad (\text{IV.13})$$

где  $\lambda$  — коэффициент перегрузки, принимаемый в пределах 1,1—1,2;  $p_0$  — давление нагнетания тампонажного раствора на уровне подошвы тампонажной подушки, кгс/см<sup>2</sup>;  $D_{\text{пр}}$  — диаметр ствола в проходке, см;  $R_6 = m\eta_6 R$  — расчетное сопротивление бетона при сжатии в возрасте начала нагнетания тампонажного раствора, кгс/см<sup>2</sup>;  $m$  — коэффициент условий работы, принимаемый равным 0,7—0,8;  $R$  — нормативное сопротивление бетона сжатию в возрасте 28 сут, кгс/см<sup>2</sup> — принимается по данным СНиП ПБ 1-62 равным: для бетона марки 200—145 кгс/см<sup>2</sup>; для бетона марки 250—165 кгс/см<sup>2</sup>; для бетона марки 300—210 кгс/см<sup>2</sup>;  $\eta_6$  — коэффициент относительной прочности бетона в раннем возрасте, определяемый по данным табл. 18.

При устройстве сферической подушки высота сферической поверхности принимается равной  $h = 0,15D_{\text{пр}}$ . Радиусы сферических

Таблица 18

| Возраст бетона,<br>сут | Коэффициент относительной прочности бетона в раннем возрасте $\eta_6$ |                                           |      |      |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------|------|
|                        | без добавки                                                           | с добавкой СаСl <sub>2</sub> в количестве |      |      |
|                        |                                                                       | 1%                                        | 2%   | 3%   |
| 1                      | 0,12                                                                  | 0,20                                      | 0,23 | 0,27 |
| 2                      | 0,27                                                                  | 0,38                                      | 0,45 | 0,50 |
| 3                      | 0,37                                                                  | 0,50                                      | 0,55 | 0,60 |
| 5                      | 0,52                                                                  | 0,63                                      | 0,73 | 0,80 |
| 7                      | 0,62                                                                  | 0,77                                      | 0,84 | 0,88 |
| 14                     | 0,82                                                                  | 0,93                                      | 1,00 | 1,05 |

поверхностей тампонажной подушки определяются из следующих выражений:

верха подушки

$$r_1 = 0,9D_{пр}; \quad (IV.14)$$

подошвы подушки

$$r_2 = 0,9D_{пр} + B_{сф}. \quad (IV.15)$$

Толщина плоской тампонажной подушки определяется по формуле

$$B_{пл} = \frac{\lambda p_0 D_{пр}}{2R_6} + 0,15D_{пр}, \text{ м.} \quad (IV.16)$$

Многоступенчатые тампонажные подушки сооружаются при расчетной толщине одноступенчатой подушки более 3 м.

Определение параметров многоступенчатых тампонажных подушек производится следующим образом.

По вышеприведенным формулам определяется общая толщина тампонажной подушки. Затем конструктивно принимается толщина одной ступени многоступенчатой подушки. Толщина ступени обычно принимается одинаковой для всех ступеней и равной 2—3 м. Число ступеней находится из выражения

$$N = \frac{B}{B_{ст}}, \quad (IV.17)$$

где  $B$  — расчетная толщина подушки, м;  $B_{ст}$  — принятая толщина одной ступени подушки, м.

Толщину тампонажных подушек, опирающихся на постоянную крепь, можно рассчитать по формулам (IV.13) и (IV.16) с последующей проверкой прочности материала крепи на сжатие [20]. Условием достаточности расчетной толщины подушки является

$$R_{кр} > R_d,$$

где  $R_{кр}$  — расчетное сопротивление материала крепи, кгс/см<sup>2</sup>;  $R_d$  — действительное напряжение сжатия крепи под воздействием давления нагнетания:

для плоской тампонажной подушки

$$R_{д.пл} = \frac{\lambda p_0 (D_{св} + 2t)^2}{4mt (D_{св} + t)}, \text{ кгс/см}^2; \quad (IV.18)$$

для сферической тампонажной подушки

$$R_{д.сф} = \frac{\lambda p_0 [(D_{св} + 2t)^2 + 4h^2]}{4mt (D_{св} + t)}, \text{ кгс/см}^2, \quad (IV.19)$$

где  $\lambda$  — коэффициент перегрузки;  $p_0$  — давление нагнетания тампонажного раствора на уровне тампонажной подушки, кгс/см<sup>2</sup>;  $D_{св}$  — диаметр ствола в свету, см;  $t$  — толщина крепи, см;  $h$  — высота сферической поверхности подушки, см;  $m$  — коэффициент условий работы.

Устройство тампонажных подушек требует значительного расхода строительных материалов, больших затрат труда и продолжительных перерывов между окончанием устройства подушки и началом нагнетания раствора в тампонируемое пространство. Поэтому наиболее перспективно и желательно в определенных горно-геологических условиях тампонирование производить под защитой предохранительных породных целиков, выполняющих роль предохранительных тампонажных перемычек. Область же применения тампонажных подушек рационально ограничить случаями внезапного прорыва воды или газа при неожиданном вскрытии водогазоносного горизонта, а также при сильно нарушенных и весьма слабых вмещающих породах.

В качестве породных предохранительных целиков используют пласты водонепроницаемых или ранее затампонированных крепких или средней крепости пород.

Толщина предохранительных породных целиков зависит от крепости пересекаемых пород, конечного давления нагнетания и гидростатического напора подземных вод на уровне почвы предохранительного целика. Обычно толщина предохранительного целика изменяется от 2 до 10 м и может быть подсчитана по формулам

$$b = \frac{\lambda p_0 D_{\text{пр}}}{8f}, \text{ м} \quad (\text{IV.20})$$

или

$$b = \frac{\lambda p_0 D_{\text{пр}}}{4\tau}, \text{ м}, \quad (\text{IV.21})$$

где  $p_0$  — максимальное давление нагнетания, воспринимаемое предохранительным породным целиком,  $\text{тс/м}^2$ ;  $D_{\text{пр}}$  — диаметр ствола в проходке, м;  $f$  — коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Протодяконова;  $\tau$  — допускаемое напряжение пород на срез, определяемое по данным табл. 19.

Таблица 19

| Горные породы             | Предел прочности при раздавливании, $\text{кгс/см}^2$ | Допускаемое напряжение, $\text{кгс/см}^2$ |                        |
|---------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------|
|                           |                                                       | при сжатии                                | при скалывании (среде) |
| Крепкий песчаник          | 1000—1500                                             | 200—300                                   | 20—30                  |
| Песчаник средней крепости | 600—1000                                              | 120—200                                   | 12—20                  |
| Известняк плотный         | 800—1200                                              | 160—240                                   | 16—24                  |
| Известняк пористый        | 400—600                                               | 80—120                                    | 8—12                   |
| Сланец песчанистый        | 300—600                                               | 60—120                                    | 6—12                   |
| Сланец глинистый          | 300—500                                               | 60—100                                    | 6—10                   |
| Мергель                   | 200—400                                               | 40—80                                     | 4—8                    |

В ряде случаев может оказаться целесообразным применение комбинированной защиты ствола от прорыва нагнетаемого тампонажного раствора. Наряду с оставлением породного водоупорного целика сооружается также тампонажная подушка небольшой толщины.

**Подводные тампонажные подушки.** Одноступенчатые подводные тампонажные подушки под воздействием давления нагнетаемого раствора будут выпираться вверх. Этому выпиранию будут противодействовать сила сопротивления боковой поверхности тампонажной подушки трению о горные породы или крепь ствола  $T_0$  и собственный вес тампонажной подушки  $Q$ .

Условие равновесия одноступенчатой подводной тампонажной подушки, при котором исключается возможность выпирания ее из забоя, запишется в виде

$$\lambda p_0 \frac{\pi D^2}{4} \leq T_0 + Q. \quad (\text{VI.22})$$

После преобразований формулы для определения толщины одноступенчатых подводных тампонажных подушек будут иметь вид:

$$h_0 = \frac{\lambda p_0 D}{4C + \gamma D}; \quad (\text{IV.23})$$

для подушки, сооружаемой в незакрепленной части ствола,

$$h'_0 = \frac{\lambda p_0 D_0}{4C' + \gamma D_0}, \quad (\text{IV.24})$$

где  $\lambda = 1,1 \div 1,2$  — коэффициент перегрузки;  $p_0$  — давление нагнетания тампонажного раствора, тс/м<sup>2</sup>;  $D$  и  $D_0$  — диаметр ствола соответственно в проходке и свету, м;  $C$  и  $C'$  — коэффициенты сцепления материала тампонажной подушки на контакте с горной породой или же ( $C'$ ) на контакте бетонных цилиндров ствола и подушки;  $\gamma$  — объемный вес подводного бетона, тс/м<sup>3</sup>.

Величину коэффициентов сцепления  $C$  и  $C'$  на контактах следует принимать при минимальных значениях прочности пород и бетона на сдвиг.

Двухступенчатые подводные тампонажные подушки находятся под воздействием давления тампонажного раствора, которое будет стремиться срезать ее в уширенной части и выдавить в ствол. Этому давлению будут противодействовать сила сопротивления срезыванию материала подушки в ее уширенной части, сила сопротивления трению в суженной части тампонажной подушки о крепь ствола и собственный вес  $Q$  тампонажной подушки. Условие равновесия подушки будет иметь вид

$$\lambda_0 p_0 \frac{\pi D^2}{4} \leq T_0 + T' + Q. \quad (\text{IV.25})$$

Сила сопротивления сдвигу материала тампонажной подушки в ее уширенной части

$$T_0 = m_1 C_0 \pi D_0 h_2, \text{ тс/м}^2, \quad (\text{IV.26})$$

где  $m_1$  — коэффициент условий работы материала подводной тампонажной подушки;  $C_0$  — расчетное сопротивление материала тампонажной подушки сдвигу, тс/м<sup>2</sup>;  $h_2$  — толщина уширенной части тампонажной подушки, м.

Сила сопротивления суженной части подводной тампонажной подушки и крепи ствола

$$T' = C' \pi D_0 h_1, \text{ тс/м}^2, \quad (\text{IV.27})$$

где  $h_1$  — толщина суженной части тампонажной подушки, м.

Собственный вес тампонажной подушки

$$Q = \frac{\gamma \pi}{4} (D_0^2 h_1 + D^2 h_2), \text{ тс.} \quad (\text{IV.28})$$

Так как толщина уширенной части тампонажной подушки  $h_2$ , т. е. расстояние от забоя до нижнего среза постоянной крепи ствола, известна, то определение толщины подушки сводится к определению толщины суженной части тампонажной подушки по формуле

$$h_1 = \frac{\lambda_0 p_0 D^2 - (4m_1 C_0 D_0 + \gamma D^2) h_2}{4C' D_0 + \gamma D_0^2}. \quad (\text{IV.29})$$

Тампонажные перемычки при предварительном тампонаже горизонтальных и наклонных горных выработок. По своей конструкции тампонажные перемычки при предварительном тампонаже горизонтальных и наклонных горных выработок также подразделяют на одноступенчатые и многоступенчатые.

Размеры тампонажных перемычек определяются расчетом на их сжатие и срез. Расчетная схема показана на рис. 49.

Под действием давления нагнетания тампонажного раствора перемычка стремится сдвинуться вдоль оси горной выработки. Этому сдвигу противодействуют силы реакции  $Q$  горных пород, на которые перемычка опирается боковой поверхностью.

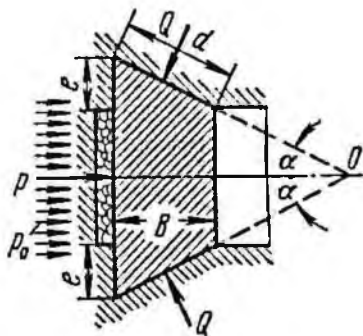


Рис. 49. Расчетная схема одноступенчатой тампонажной подушки для горизонтальных и наклонных выработок



Под действием рассматриваемых сил тампонажная перемычка будет находиться в равновесии, условие которого в общем виде записывается следующим образом:

$$\lambda Q \geq p_0 S_{\pi} \quad (IV.30)$$

После преобразования уравнение (IV.30) может быть использовано для определения толщины тампонажной перемычки при расчете ее на сжатие в следующем виде:

$$B = \frac{\lambda p_0 S_{\pi}}{m R_6 P_{\pi} (2 + \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha}, \quad (IV.31)$$

где  $m = 0,7 \div 0,8$  — коэффициент условий работы;  $\lambda = 1,1 \div 1,2$  — коэффициент перегрузки;  $p_0$  — давление нагнетания тампонажного раствора, тс/м<sup>2</sup>;  $S_{\pi}$  — площадь поперечного сечения выработки в черне, м<sup>2</sup>;  $P_{\pi}$  — периметр выработки в проходке, м;  $R_6$  — расчетное сопротивление бетона тампонажной перемычки сжатию, тс/м<sup>2</sup>;  $\alpha$  — угол наклона боковых граней перемычки к горизонтальной оси выработки, обычно принимается равным 15—20°.

Из условия противодействия срезу (продавливанию) толщина тампонажной перемычки определяется по формуле

$$B' = \frac{\lambda p_0 S_0}{m_{\tau} R_6 P}, \quad (IV.32)$$

где  $S_0$  — площадь поперечного сечения выработки в свету, м<sup>2</sup>;  $R_6$  — расчетное сопротивление бетона перемычки на срез, тс/м<sup>2</sup>;  $P$  — периметр выработки в свету, м.

При использовании в качестве тампонажных перемычек ненарушенных водонепроницаемых целиков пород толщину их определяют по формуле

$$B_n = \frac{\lambda p_0 S_0}{2 f P}, \quad (IV.33)$$

где  $f$  — коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Протодьяконова.

#### § 24. ПАРАМЕТРЫ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ТАМПОНАЖА

Техническая и экономическая эффективность предварительного тампонажа массива горных пород в основном определяется следующими параметрами:

1. начальным и конечным давлением нагнетания раствора в породы;

2. консистенцией тампонажных растворов;  
3. сроками схватывания свежеприготовленного и закачанного в тампонируемое пространство тампонажного раствора;

4. физико-механическими характеристиками тампонажного раствора и тампонажного камня в тампонируемом пространстве.

Правильный выбор величины давления нагнетания раствора зачастую оказывает решающее влияние на доброкачественность

и успешность тампонажа горных пород. Поэтому определению оптимального значения давления при производстве тампонажных работ придается большое значение. Величина давления нагнетания тампонажного раствора принимается в зависимости от целого ряда факторов:

- глубины залегания тампонируемых пород;
- длины (высоты) тампонажной зоны;
- необходимого радиуса распространения тампонажного раствора;
- производительности нагнетательного оборудования;
- характера трещиноватости и размеров трещин и пор в тампонируемом массиве;
- гидростатического напора подземных вод или газов, заключенных в тампонируемых породах;
- реологических характеристик раствора.

В общем виде формула для определения давления нагнетания, фиксируемого манометром тампонажного насоса, может быть записана в виде

$$p_0 = \Delta p - p_{г.с} + p + p_r, \text{ кгс/см}^2, \quad (IV.34)$$

где  $\Delta p$  — потери давления при движении раствора в нагнетательных растворопроводах и скважине к зоне тампонажа (поглощения), кгс/см<sup>2</sup>;  $p_{г.с}$  — гидростатическое давление столба тампонажного раствора в скважине на уровне кровли тампонируемых пород, кгс/см<sup>2</sup>;  $p_r$  — гидростатический напор подземных вод или газа в тампонируемых породах, кгс/см<sup>2</sup>;  $p$  — потери давления при движении тампонажного раствора в трещинах тампонируемых пород, кгс/см<sup>2</sup>;

Потери давления раствора в растворопроводах и скважине могут быть определены опытным путем или расчетным способом по известным формулам гидравлики. При расположении нагнетательного оборудования непосредственно у скважины сравнительно небольшой длины при тампонировании зажимным способом потерями давления можно пренебречь.

Гидростатическое давление столба тампонажного раствора в скважине на уровне кровли тампонируемых пород определяется по формуле

$$p_{г.с} = \frac{\gamma_r H}{10}, \text{ кгс/см}^2, \quad (IV.35)$$

где  $\gamma_r$  — удельный вес тампонажного раствора, кгс/м<sup>3</sup>;  $H$  — глубина расположения кровли тампонируемых пород от устья тампонажной скважины, м.

При тампонировании глубоких горизонтов с земной поверхности гидростатическое давление от веса столба тампонажного раствора может достигать нескольких десятков килограммов-сил на 1 см<sup>2</sup>.

Потери давления на преодоление сопротивлений движению тампонажного раствора в тампонируемой среде при заданных вели-

чинах радиуса распространения раствора и производительности нагнетательного оборудования могут быть определены из уравнения Н. В. Тябина

$$p = \frac{3Q\eta \ln \frac{R}{r}}{4\pi h^3} + \frac{3\tau_0(R-r)}{2h}, \text{ кгс/см}^2, \quad (\text{IV.36})$$

где  $Q$  — расход тампонажного раствора, см<sup>3</sup>/с.;  $\eta$  — структурная вязкость тампонажного раствора, кгс·с/см<sup>2</sup>;  $\tau_0$  — динамическое напряжение сдвига тампонажного раствора, кгс/см<sup>2</sup>;  $\delta=2h$  — раскрытие трещин, см;  $R$  — радиус распространения тампонажного раствора, см;  $r$  — радиус тампонажной скважины, см.

Перемещение тампонажного раствора по трещинам может происходить или в режиме неустановившегося движения, или в режиме напорного установившегося движения.

Для обеспечения более полного отжатия избыточной воды из раствора и уплотнения цементационного материала в трещинах каждая скважина после отказа должна выдерживаться под наибольшим давлением не менее 30 мин. При тампонировании крупных трещин время выдерживания скважины под давлением следует увеличивать до 60 мин.

Многочисленные данные практики производства тампонажа в СССР и за рубежом показывают, что чем больше величина конечного давления нагнетания, тем эффективнее результаты тампонажа горных пород.

Увеличение давления нагнетания позволяет увеличить радиус распространения тампонажного раствора в массиве, чем достигаются сокращение числа тампонажных скважин и более полное заполнение тампонажным камнем трещин и пор в породах.

Вместе с тем следует иметь в виду, что при определенном уровне давления может произойти разрыв тампонируемых пород, в результате чего образуются новые водо-газопроводящие трещины и возможен прорыв нагнетаемого раствора на отметку установки тампонажного оборудования. Установлено, что допустимые величины градиента давлений нагнетания составляют: для осадочных пород 0,19—0,25 кгс/см<sup>2</sup> на 1 м глубины залегания тампонируемых пород; для изверженных пород 0,27—0,37 кгс/см<sup>2</sup> на 1 м глубины залегания тампонируемых пород.

При небольших глубинах залегания тампонируемых пород от земной поверхности или забоя проходимой выработки трещины разрыва могут достигнуть поверхности земли или забоя выработки и раствор начнет выходить на поверхность. В результате проведенных исследований канд. техн. наук П. П. Гальченко были получены эмпирические формулы, устанавливающие максимально допустимые величины давления нагнетания, не приводящие к прорыву раствора на поверхность:

Допустимое  
давление

в напосах  
$$p_{\max} = 0,229 H, \text{ кгс/см}^2;$$

Давление (IV.37)

в осадочных породах

$$p_{\max} = \frac{H^{1,1}}{2,7} - \sqrt{0,7H - 3}, \text{ кгс/см}^2; \quad (\text{IV.38})$$

в изверженных породах

$$p_{\max} = \frac{H^{1,25}}{2} - \sqrt{1,025H - 5}, \text{ кгс/см}^2, \quad (\text{IV.39})$$

где  $H$  — глубина залегания кровли тампонируемых пород от поверхности, м.

Эти формулы применимы до глубины 100 м.

При производстве предварительного тампонажа из забоя проходимой выработки максимально допустимое давление нагнетания принимают исходя из несущей способности тампонажной подушки или породного предохранительного целика.

При тампонаже пород с неоднородной трещиноватостью или пористостью по высоте тампонажной заходки с целью сокращения расхода тампонажных материалов бывает целесообразным тампонаж одной и той же заходки производить за два приема. За первый прием тампонируют более крупные трещины, для чего применяют более дешевые и крупнодисперсные тампонажные материалы. Оптимальную величину конечного давления нагнетания в этом случае принимают такой, чтобы обеспечить необходимый радиус распространения раствора.

Во второй прием нагнетания тампонируют мелкие трещины и породы, для чего используют тампонажные растворы с высокой проникающей способностью. Между этими приемами нагнетания делается перерыв во времени, равный 4—20 ч. необходимый для твердения закачанного в первый прием тампонажного раствора.

При производстве тампонажных работ важное значение имеет правильный выбор консистенции тампонажных растворов, которая зависит от таких факторов, как размер водо-газопроводящих трещин, давления нагнетания, скорости движения потока подземных вод и др. Выбор консистенции тампонажных растворов в основном производят на основании опытных лабораторных и производственных данных.

Первоначальное значение В:Т раствора — отношение воды затворения и твердых составляющих в составе раствора — во всех случаях тампонажа следует начинать с нагнетания растворов малых концентраций.

На основании рекомендаций проф., д-ра техн. наук Н. Г. Трупака, первоначальную концентрацию раствора назначают в зависимости от величины удельного водопоглощения горных пород до их тампонажа согласно следующим данным:

| Удельное водопоглощение<br>пород до тампонажа,<br>л/(мин · мм) | Начальная концентрация<br>цементного раствора<br>(Ц : В) |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 0,01—0,1                                                       | 1 : 10                                                   |
| 0,1—0,5                                                        | 1 : 5                                                    |
| 0,5—1,0                                                        | 1 : 3                                                    |
| 1,0—2,0                                                        | 1 : 2                                                    |
| 2,0—4,0                                                        | 1 : 1                                                    |
| Более 4,0                                                      | 1 : 0,75                                                 |

Изменение консистенции тампонажных растворов в процессе нагнетания производится в соответствии с поглощающей способностью тампонируемых пород, которая характеризуется изменением давления нагнетания. Если в процессе тампонажа в течение 10—15 мин с момента начала тампонажа или после изменения консистенции раствора давление нагнетания не повышается или повышается незначительно (не более 1 кгс/см<sup>2</sup>), раствор сгущается. Сгущение раствора в процессе тампонажа продолжается до тех пор, пока давление нагнетания не начнет равномерно повышаться во времени. Нагнетание раствора такой консистенции продолжается до достижения давления нагнетания, равного расчетному. Затем консистенция раствора снижается. Последующее разжижение тампонажного раствора производится после достижения максимально необходимого давления нагнетания.

Если при нагнетании тампонажного раствора принятой консистенции в течение первых минут нагнетания давление резко повысится, необходимо сразу же увеличить в растворе содержание воды затворения; разжижение раствора продолжается до достижения оптимальной консистенции его. Дальнейшее изменение состава раствора производится аналогично вышеописанному.

Сроки схватывания тампонажного раствора, закачанного в трещины и поры горных пород, должны обеспечивать возможность бесперебойного нагнетания в тампонажную скважину расчетного количества раствора. При этом должны вводиться обязательные коррективы на возможные перерывы в нагнетании. Необходимым условием эффективного тампонажа будет соблюдение следующего неравенства:

$$t_u \geq \frac{q_{ск}}{2V_u} + t_{пер}, \text{ ч}, \quad (\text{IV.40})$$

где  $t_u$  — начало схватывания закачанного в тампонируемое пространство раствора, определяемое с учетом отфильтрования жидкой фазы, ч;  $q_{ск}$  — расчетное количество раствора, необходимого для тампонажа одной скважины, м<sup>3</sup>;  $V_u$  — производительность раствора нагнетательного оборудования при заданном давлении нагнетания, м<sup>3</sup>/ч;  $t_{пер}$  — возможные перерывы в нагнетании, обусловливаемые поломками оборудования и отсутствием тампонажных материалов.

При применении тампонажных растворов со сроками схватывания, менее расчетных, возможно преждевременное схватывание закачанного раствора. В результате этого обеспечить необходи-

мый радиус распространения тампонажного раствора, а следовательно, и качество тампонажа невозможно. В случае использования тампонажных растворов со сроками схватывания, существенно превышающими расчетные величины, радиус распространения раствора и расход тампонажных материалов будут неоправданно высокими.

С ростом скорости движения подземных вод сроки схватывания тампонажных растворов должны сокращаться, а число тампонажных скважин увеличиваться. В противном случае нагнетаемый тампонажный раствор размывается движущимися подземными водами и уносится ими.

При предварительном тампонаже затраты времени на повторное разбуривание тампонажных скважин для контроля и повторного их тампонирования занимают от 15 до 30% всего времени, затрачиваемого на тампонаж заходки. Исходя из этого, целесообразно при последней стадии каждого очередного нагнетания в раствор вводить добавки-замедлители схватывания, в результате чего в скважине оказывается слабый тампонажный камень, легко поддающийся разбуриванию.

Расчетный расход тампонажных материалов определяется с учетом: объема тампонируемых пород; удельного объема трещин, пустот и пор в тампонируемых породах; выхода тампонажного камня; расхода составляющих для приготовления 1 м<sup>3</sup> раствора заданного состава.

Расчетное количество тампонажного раствора на длину тампонажной заходки можно определить по формуле

$$Q_T = K_n \frac{S_T a h_T}{W}, \text{ м}^3, \quad (IV.41)$$

где  $K_n$  — коэффициент потерь тампонажного раствора при нагнетании;  $S_T$  — площадь поперечного сечения затампонированного целика пород, м<sup>2</sup>;  $a$  — коэффициент объемной трещиноватости (пористости) тампонируемых горных пород в процентах от объема тампонируемых пород;  $W$  — выход тампонажного камня, %;  $h_T$  — длина тампонажной заходки, м.

Объем пустот и пор в трещиноватых скальных породах колеблется от 0,1 до 10%, в несвязных породах от 0,5 до 40% всего объема пород. Величина коэффициента объемной пористости определяется при геологических исследованиях участка строительства подземных сооружений.

Выход тампонажного камня раствора определяется в каждом конкретном случае при максимальном давлении нагнетания.

Расход добавок-ускорителей и стабилизаторов раствора в сухом виде определяется по заданному соотношению добавок к основному компоненту раствора и расходу его.

## ✓ § 25. КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА ТАМПОНАЖНЫХ РАБОТ

Контроль производится при выполнении всех работ — бурении тампонажных скважин, нагнетании и приготовлении тампонажных растворов, при устройстве тампонажных подушек.

При бурении тампонажных скважин глубиной более 50 м с поверхности земли контроль ставит своей целью соблюдение заданных проектом направлений скважин на всех отметках по глубине. Измерения отклонений в основном осуществляются при помощи гидроскопического прибора «Шахтер» через каждые 30—35 м по глубине скважины. Допустимые отклонения скважины от проектного положения должны быть не более 1% от полной глубины скважины. При отклонении скважины сверх допустимого применяют мероприятия по устранению отклонений или рядом бурят новую тампонажную скважину.

При бурении скважин из забоя выработки тщательно контролируют забуривание их, для чего используют различные приспособления (кондукторы-направляющие трубы, направляющие шаблоны и т. д.). Бурение производят при постоянном маркшейдерском надзоре.

При нагнетании тампонажного раствора контроль за соблюдением проектных параметров нагнетания осуществляют при помощи манометров, установленных на растворонасосе и в устье тампонажной скважины, или станций контроля цементации СКЦ-2.

После окончания тампонажа производят контрольное исследование и испытание результатов выполненных работ. Исследования затампонированных пород производят бурением контрольных скважин диаметром 90—100 мм при тампонаже с земной поверхности и диаметром 40—50 мм при тампонаже из забоя проходимой выработки в количестве 1—2 шт., пробуренных в пределах контура затампонированного целика пород. При возможности производится керновое бурение контрольных скважин. По полученным кернам пород определяют характер и степень заполнения трещин и пор пород тампонажным камнем. После бурения скважины определяют удельное водопоглощение затампонированных пород. Тампонаж считается законченным, если удельное водопоглощение пород снижено в результате тампонирования до 0,05 л/мин.

При тампонаже для последующего анализа выполненных работ и контроля результатов тампонажа необходимо регулярно вести исполнительную документацию, в которой следует регистрировать данные по бурению тампонажных скважин, определению в них удельного водопоглощения и нагнетанию растворов.

Приемку выполненных работ по предварительному тампонажу производит специальная комиссия, которая составляет примемо-сдаточный акт.



## ПОСЛЕДУЮЩИЙ ТАМПОНАЖ ПОРОД ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА

В шахтостроительной практике последующий тампонаж применяют для ликвидации притоков воды в горную выработку и для усиления крепи или боковых пород.

Последующий тампонаж выполняется после возведения постоянной крепи горных выработок и в зависимости от решаемых задач предназначается:

1 для ликвидации сверхнормативных водопритокров в подземные выработки;

2 для увеличения несущей способности нарушенных горных пород или материала крепи;

3 для заполнения пустот за крепью выработки и затюбингового пространства;

4 для повышения и обеспечения устойчивости постоянной крепи горных выработок.

### § 26. ПОСЛЕДУЮЩИЙ ТАМПОНАЖ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ С МОНОЛИТНОЙ БЕТОННОЙ КРЕПЬЮ

В зависимости от горно-геологических условий последующий тампонаж производят на протяжении всего ствола или на отдельных участках.

Если при сооружении ствола в водоносных породах заранее предусматривался последующий тампонаж, то одновременно с возведением постоянной крепи в бетон устанавливают дренажные трубки, через которые впоследствии бурят тампонажные скважины и нагнетают раствор. Дренажные трубки должны быть снабжены фланцами или резьбой для подключения к ним после бурения тампонажных скважин запорной и нагнетательной арматуры. Дренажные трубки во время и после возведения постоянной крепи служат для спуска воды из пород закрепного пространства, чем достигается снятие гидростатического напора подземных вод и уменьшается размыв материала крепи. Место установки дренажных трубок при возведении постоянной крепи обуславливается характером трещиноватости водоносных пород. В породах с отдельными водоносными трещинами, не сообщающимися друг с другом, дренажные трубки устанавливают на выходах трещин; в породах, пронизанных густой сетью сообщающихся друг с другом трещин, дренажные трубки устанавливают в шахматном порядке равномерно по всей площади обнажения водоносных пород (рис. 50). При установке дренажных трубок последние заглубляют в породу на глубину 20—30 см, чем обеспечивается более рациональная передача давления нагнетания при тампонаже

(рис. 51). Снятие гидростатического напора воды и организованный отвод ее из-за крепи обеспечивают получение проектной прочности материала крепи. Нагнетание раствора в водоносные

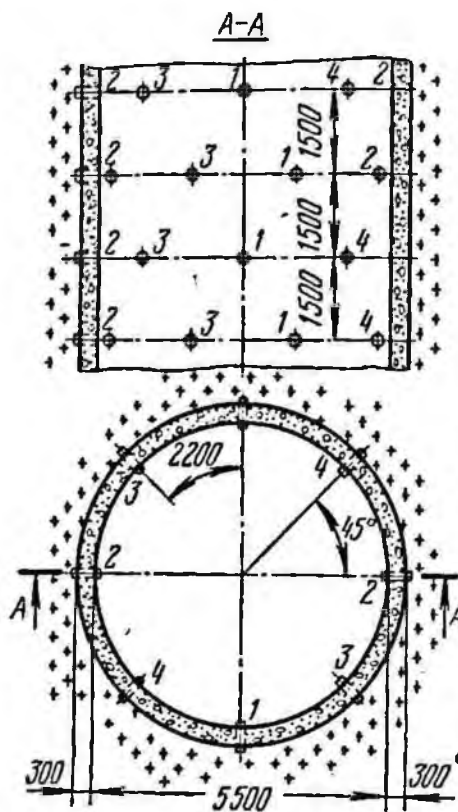
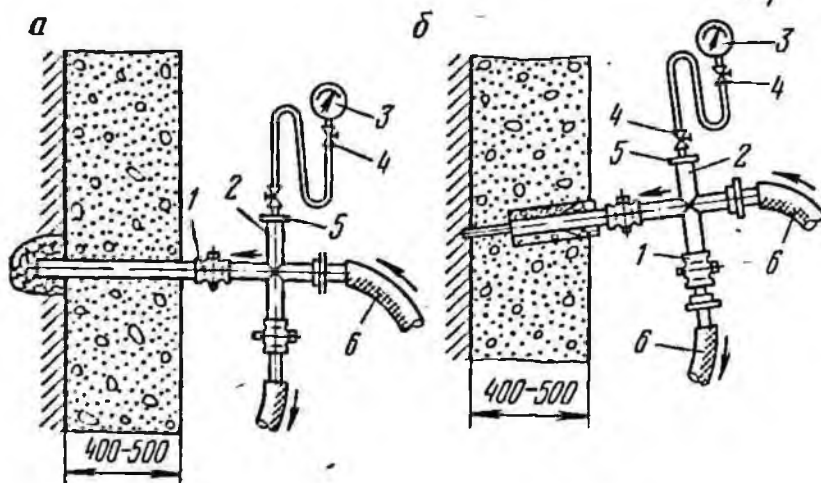


Рис. 50. Схема расположения скважин при последующем тампонаже ствола шахты

Рис. 51. Способ крепления тампонажных головок:

а — при установке кондукторов одновременно с возведением крепи; б — при установке кондукторов после возведения крепи; 1 — проходные краны; 2 — крестовины из металлических труб; 3 — манометры; 4 — проходные краны; 5 — резиновые диафрагмы; 6 — резиновые гибкие шланги



породы производят после проходки выработки на заданную величину заходки или на полную глубину.

Растворонагнетательное оборудование при производстве тампонажа устанавливают или на поверхности при малой глубине

залегания тампонируемого участка пород, или на подвесном проходческом полке. В последнем случае тампонажный раствор подается в приемную емкость, установленную на полке, по трубам, проложенным по стволу, или же в бадье.

Если же при проходке стволов в проекте последующий тампонаж не предусмотрен, ликвидация сверхнормативных водопритокков может производиться по мере необходимости как в процессе сооружения ствола, так и в период эксплуатации. В этом случае последующий тампонаж может быть осуществлен по одной из следующих технологических схем.

1. Последующий тампонаж производится с земной поверхности. Это рационально при неглубоком залегании водоносных горизонтов или пустот за крепью ствола.

Вокруг ствола по окружности, диаметр которой на 3—4 м больше диаметра ствола в проходке, на расстоянии 4—5 м друг от друга бурят тампонажные скважины до пересечения их с пустотами или с породами водоупорного слоя. После окончания бурения скважины оборудуют запорной арматурой и обсадными трубами в зоне неустойчивых и наносных пород, если последние не подвергаются тампонированию.

Во время нагнетания раствора в местах возможного прорыва тампонажного раствора устанавливают тщательный контроль за состоянием постоянной крепи. При первых же признаках нарушения крепи или больших течах нагнетаемого раствора через крепь выработки, нагнетание раствора прекращают и возобновляют лишь после ликвидации замеченных нарушений крепи или течей раствора.

Наблюдение за ходом тампонажных работ и проведение контроля за их качеством целесообразно вести из выработки. Контроль качества выполненных тампонажных работ выполняется в основном бурением контрольных шпуров, через которые исследуют состояние затампонированных пород и производят определение величины остаточных водопритокков.

Последующий тампонаж с земной поверхности обладает целым рядом преимуществ по сравнению с другими технологическими схемами проведения последующего тампонажа, так как в этом случае поперечное сечение сооружаемого или эксплуатируемого ствола не загромождается тампонажным оборудованием. Работы по тампонированию выполняют независимо от работ, ведущихся в стволе.

2. Последующий тампонаж производят из специальной выработки, сооружаемой вблизи водоносного горизонта. Это рационально, если водоносный горизонт, подлежащий тампонированию, залегает на значительной глубине от земной поверхности, а ствол находится в эксплуатации. Выработку для выполнения из нее тампонажных работ можно располагать как в породах водоупорного слоя, так и в пластах вышележащих монолитных необводненных пород. Тампонажную выработку обычно выполняют кольцевой формы на удалении 2—5 м от внешнего диаметра кре-

пи ствола. Скважины бурят вертикальными в нисходящем или в восходящем порядке.

Последующий тампонаж в стволах эксплуатирующихся шахт можно производить также с использованием клетей, оборудованных откидными площадками или полками. При тампонировании стволов из клетки растворонасос и емкость для раствора устанавливаются на вагонеточной платформе и помещают в клеть. Бурение и контроль за ведением нагнетания осуществляют с полков, смонтированных на крыше клетки.

Подачу тампонажного раствора к месту нагнетания можно производить по ставу труб, проложенному по стволу. Диаметр труб должен быть не менее 50,8 мм. При невозможности или нецелесообразности прокладки трубопровода раствор приготавливают на поверхности и заливают в приемную емкость растворонасоса. Клеть подается к месту нагнетания.

При неглубоком залегании водоносного горизонта подачу тампонажного раствора и нагнетание его в шпур можно производить растворонасосом, установленным на поверхности. Контроль за процессом нагнетания, бурение тампонажных шпуров и контроль качества тампонажных работ выполняют с клетки или скипа.

Тампонажные работы в этих условиях ведут периодически — в выходные и праздничные дни, а поэтому они требуют тщательной подготовки и четкой организации работ.

3. В незаармированных стволах последующий тампонаж проводят с подвешного проходческого полка. На полке устанавливают растворонасос и приемную емкость для раствора или компактную растворомешалку необходимой производительности.

Подача тампонажного раствора в приемную емкость растворонасоса осуществляется в бадьях или по трубопроводу, проложенному по стволу. При установке растворомешалки на проходческом полке компоненты для приготовления растворов подаются на полки в бадьях. Вода затворения подается из незатампонируемых шпуров в случае пригодности ее для приготовления раствора или по трубопроводу, проложенному в стволе.

При тампонаже пород с равномерной трещиноватостью применяют равномерное размещение тампонажных шпуров (см. рис. 50). Расстояние между ярусами шпуров в пределах водоносного горизонта обычно принимают 2—4 м. Меньшее расстояние между ярусами принимают при тампонаже мелкотрещиноватых пород, большее — при крупнотрещиноватых породах. Расстояние между шпурами в ярусе в зависимости от размеров водоносных трещин принимают 1,5—3,0 м.

При тампонаже пород, пронизанных не сообщающимися друг с другом трещинами, тампонажные шпуров располагают в соответствии с зафиксированными водоносными трещинами.

Для нагнетания тампонажного раствора рекомендуется применять растворонасосы с пневматическим приводом, так как при этом отпадает необходимость в прокладке силового электрического

кабеля и исключается возможность поражения рабочих электрическим током.

Очередность бурения тампонажных шпуров и нагнетания в них раствора принимается в зависимости от состояния крепи и пород закрепного пространства, притока воды в тампонажные шпуры.

В большинстве случаев нагнетание тампонажного раствора производят после обурирования только одного яруса тампонажных шпуров, при этом раствор нагнетают одновременно в два или четыре диаметрально противоположных шпура. При необходимости укрепления материала постоянной крепи в первую очередь производят тампонирование бетона крепи, для чего бурят шпуры глубиной, на 50 см большей, чем толщина крепи. В пробуренные шпуры устанавливают кондукторы-герметизаторы, позволяющие разбуривать через них тампонажные скважины до проектной глубины. После укрепления материала крепи производят разбуривание тампонажных шпуров до проектной глубины и тампонаж водоносных пород. Укрепление конструкции крепи производится в основном цементными растворами.

По многочисленным данным практики известно, что провести достаточно качественно тампонаж водоносных пород за один прием не всегда представляется возможным. Если при одноразовом нагнетании водопиток в выработку не удалось снизить до нормативного, зацементированные скважины разбуривают и нагнетают в них вторично тампонажный раствор. Операции разбуривания тампонажных скважин и нагнетания в них тампонажного раствора чередуются, пока не будут достигнуты удовлетворительные результаты.

Успех выполнения тампонажных работ во многом зависит от правильно выбранной величины конечного давления нагнетания.

Тампонажный раствор, проникая в трещины, должен преодолеть гидростатическое давление подземных вод и гидравлическое сопротивление движению раствора в подающих шлангах, скважине и трещинах массива. Гидростатическое давление подземных вод определяется непосредственными измерениями, гидравлические сопротивления в раствороподающей сети и тампонируемом массиве принимаются на основании данных практики.

Конечное давление нагнетания должно превышать гидростатическое, и для каждого тампонируемого участка устанавливается на основании расчетных и опытных данных. Это превышение тем больше, чем мельче трещины тампонируемых пород, чем прочнее материал крепи и чем большую зону тампонирования требуется получить.

В начале тампонирования пород, когда трещины еще не заполнены раствором и он легко поглощается породами, нагнетание раствора производится под небольшим давлением, обычно превышающем на 2—3 кгс/см<sup>2</sup> гидростатический напор подземных вод. В дальнейшем давление нагнетания увеличивается одновременно с изменением консистенции нагнетаемого тампонажного раствора.

Последующий тампонаж в основном предусматривает устранение притоков воды на участках ранее пройденных выработок. Бетонная крепь на этих участках в результате фильтрации воды через материал крепи, как правило, бывает ослаблена. Этот факт требует особого внимания, так как при определенных величинах давления нагнетания тампонажного раствора в материале крепи могут возникнуть опасные напряжения. Кроме того, фильтрация тампонажного раствора через некачественную крепь снижает экономические показатели и эффективность тампонажных работ. Поэтому тампонированию горных выработок должны предшествовать мероприятия по усилению бетонной крепи на участке тампонажа.

К числу основных мероприятий по усилению несущей способности крепи следует отнести водоулавливание и предварительный предтампонажный ремонт крепи выработки. На участках с очень ослабленной крепью в отдельных случаях целесообразна установка плотной опалубки, предотвращающей вынос тампонажного раствора из тампонируемого пространства.

Ремонт крепи заключается в нагнетании в бетон крепи тампонажного раствора. Нагнетание раствора выполняют после осуществления работ по водоулавливанию и заделке быстросхватывающимся цементным раствором открытых трещин и пор в бетоне крепи. Нагнетание раствора в отдельных случаях производят в несколько приемов, пока трещины и поры в бетоне постоянной крепи не заполнятся тампонажным камнем.

Основным критерием при определении конечной величины давления нагнетания при последующем тампонаже выработок должна быть несущая способность крепи в наиболее ослабленном месте тампонируемого участка.

Конечная величина давления нагнетания во многом зависит от очередности нагнетания тампонажного раствора в шпур.

При одновременном нагнетании тампонажного раствора во все шпур яруса величину допускаемого давления нагнетания определяют по формуле

$$p = \frac{2R_{сж}d}{D + 2d}, \text{ кгс/см}^2, \quad (V.1)$$

где  $D$  — диаметр ствола в свету, см;  $d$  — толщина крепи в наиболее ослабленном месте, см;  $R_{сж}$  — расчетное сопротивление материала крепи при сжатии, кгс/см<sup>2</sup>.

При нагнетании тампонажного раствора в один шпур яруса получается несимметричная нагрузка на крепь и допускаемое давление должно быть меньше.

Расход тампонажных материалов на производство последующего тампонажа, так же как и при производстве предварительного тампонажа, зависит от объема пустот в тампонируемых породах в пределах цилиндра, ограниченного диаметром ствола и диаметром зоны затампонируемых пород.



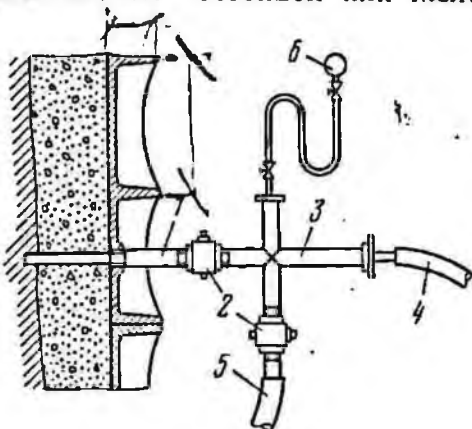
## § 27. ПОСЛЕДУЮЩИЙ ТАМПОНАЖ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ С ТЮБИНГОВОЙ КРЕПЬЮ

Последующий тампонаж при креплении стволов тюбинговой крепью производят с целью заполнения пустот при возведении крепи и нередко — после возведения крепи для ликвидации остаточных водопритоков.

Последующий тампонаж с целью доведения остаточных водопритоков до нормативных выполняют аналогично тампонажу в выработках, закрепленных монолитной бетонной или железобе-

Рис. 52. Схема крепления тампонажных головок в выработках с тюбинговой крепью:

1 — кондуктор; 2 — проходные краны; 3 — крестовина из металлических труб; 4 — нагнетательный растворопровод; 5 — резиновый шланг для сброса избытка раствора; 6 — манометр давления



тонной крепью. Расположение ярусов тампонажных скважин привязывается к тампонажным отверстиям в тюбингах. Нагнетание раствора после бурения скважин осуществляется через штуцеры, вворачиваемые в тампонажные отверстия тюбингов (рис. 52).

При возведении тюбинговой крепи сверху вниз тампонаж затюбингового пространства производят после навески звена колец тюбингов и пикотажа зазора между тюбинговой колонной и породной стенкой ствола.

Назначение тампонажа затюбингового пространства заключается в создании прочной и плотной оболочки за крепью, которая должна обеспечивать равномерную передачу давления горных пород на крепь и связь крепи с породными стенками ствола.

Пикотаж затюбингового зазора выполняют различными способами в зависимости от технологической схемы сооружения ствола.

При возведении крепи на полное звено в качестве преграды для раствора используют опорный венец.

Если тампонаж необходимо выполнять по мере навески тюбингов, то перед тампонажем в зазор между нижними тюбингами и породной стенкой ствола вплотную друг к другу забивают деревянные клинья. Можно также закрыть затюбинговый зазор металлическим или деревянным инвентарным поддоном, прикрепляемым болтами к нижним горизонтальным полкам тюбингов. Зазоры между породой и поддоном перекрываются деревянными клиньями и паклей.



При проведении работ по перекрытию затюбингового зазора можно использовать выработанной породой. Порода из забоя убирают по мере ее обрушения тампонажного раствора в затюбинговое пространство.

Подачу тампонажного раствора в затюбинговое пространство можно производить и бадьями или же по трубам. При подаче раствора в бадью на проходческом полке устанавливают растворораздатчик для перекачки раствора из бады в затюбинговое пространство. Нагнетание раствора продолжается до появления его из тампонажных отверстий вышеразмещенного кольца тюбингов. После этого отверстия перекрываются и раствор нагнетается в отверстия следующего кольца. В отдельных случаях нагнетание раствора можно вести через отверстия самого верхнего кольца тюбингов или саходками в 3—5 колец.

При подаче по трубам раствор подается самотеком непосредственно в затюбинговое пространство через патрубок, присоединенный к ставу. Порядок заполнения затюбингового пространства тампонажным раствором аналогичен вышеописанному.

При возведении тюбинговой крепи в направлении снизу вверх закрепное пространство заполняется раствором густой консистенции после установки каждого тюбингового кольца. Подача раствора за тюбинги осуществляется самотеком по ставу труб.

#### **§ 28. ПОСЛЕДУЮЩИЙ ТАМПОНАЖ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ВЫРАБОТКАХ С ЦЕЛЬЮ ВОДОИЗОЛЯЦИИ**

Водоизоляция горизонтальных и наклонных горных выработок в зависимости от конкретных условий может быть выполнена двумя способами.

Если источником притоков воды в выработку являются тектонические нарушения или обводненные пласты горных пород крупной или средней трещиноватости, водоподавление осуществляется тампонажем трещин и пустот.

Если водоприток обусловлен водоносными мелкотрещиноватыми или пористыми слабопроницаемыми породами, водоизоляция достигается созданием водонепроницаемого экрана вокруг постоянной крепи. Водонепроницаемый экран создается путем нагнетания и закрепное пространство тампонажных растворов повышенной водонепроницаемости. Необходимая толщина водонепроницаемого экрана находится в пределах 1—1,5 м в зависимости от величины гидростатического напора подземных вод и обеспечивается за счет тампонажа зоны обрушенных пород.

В первом случае тампонаж производят нагнетанием раствора через одну или несколько скважин, пробуренных в тектоническую трещину или водоносные породы, обеспечивающие приток воды в выработку.

Во втором случае тампонаж производят через скважины, равномерно расположенные по поверхности выработки. Расстояние между скважинами принимается 2,5—3,0 м. Равномерное рас-

положение тампонажных скважин по поверхности позволяет создать водоизоляционную завесу вокруг выработки равномерной толщины.

По окончании работ отдельные остаточные течи воды ликвидируются через одиночные скважины, пробуренные в местах расположения течей воды.

При последующей водоизоляции горизонтальных и наклонных выработок, закрепленных бетоном, тампонажные работы в основ-

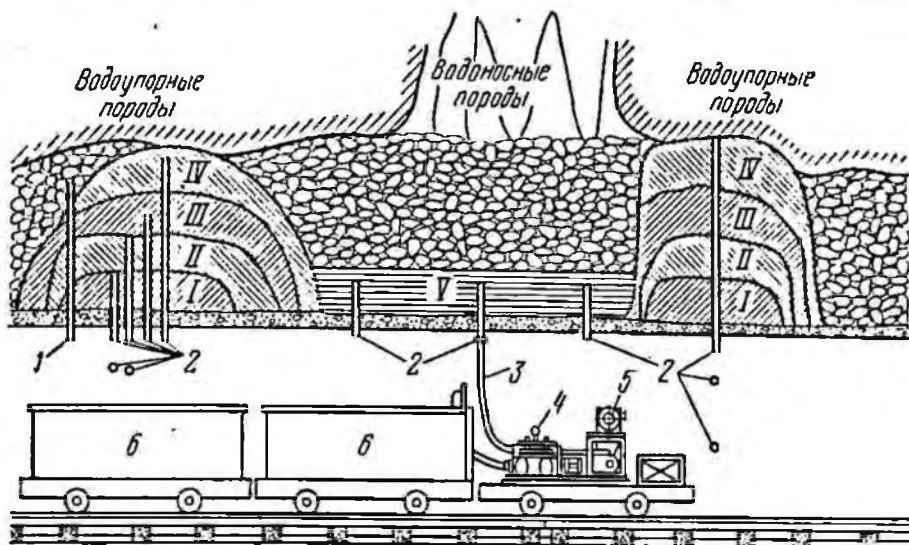


Рис. 53. Схема создания водоизоляционной завесы в горизонтальной выработке: I, II, III и IV — этапы устройства водоизоляционной завесы; V — водонепроницаемый экран вокруг постоянной крепи выработки; 1 — контрольная скважина; 2 — тампонажные скважины; 3 — нагнетательный растворопровод; 4 — растворонасос; 5 — растворомешалка; 6 — вагон с цементом

ном проводят после того, как начал образовываться свод обрушения.

С целью предотвращения размывания дренирующими водами бетона перед укладкой его за опалубку устанавливают дренажные трубки, обеспечивающие организованный сток воды из-за постоянной крепи и снижение напора подземных вод на твердеющий бетон. При выполнении тампонажных работ дренажные трубки используют для целей тампонажа как кондукторы.

Технология создания водоизоляционной оболочки вокруг постоянной крепи выработок должна предусматривать устройство на границах участков обводненных выработок водоизоляционных торцовых завес, разобщающих водоносные и необводненные горные породы по длине выработки. Завесы создают в несколько этапов, последовательным нагнетанием тампонажного раствора в скважины возрастающей длины. Бурение следующих по длине скважин и нагнетание в них раствора осуществляют только после истечения времени, необходимого для завершения схватывания ранее закачанного тампонажного раствора. Скважины для созда-

ска водоизоляционной завесы бурят на расстоянии 1,0—1,5 м от друг друга по периметру выработки. Водоизоляционная завеса состоит из скважины, если тампонажные скважины заглублены в водоносные породы и не принимают раствора при принятом давлении нагнетания (обычно 10—15 кгс/см<sup>2</sup>).

Для контроля качества водоизоляционной завесы на расстоянии 1,0—1,5 м от границы ее со стороны водоносных пород бурят контрольные скважины длиной, равной 0,5—0,7 высоты завесы. При помывании скважины водой определяют плотность затопления раствора и течи через скважину, пробуренные в промежуток между ранее затампонирующими. Делать скважины и пробуривать скважины можно только в том случае, если скважина не принимает раствора (давление 10—15 кгс/см<sup>2</sup>).

Для помывания скважины используют скважинные насосы с электроприводом. Для помывания скважины используют скважинные насосы с электроприводом.

Нагнетание тампонажного раствора в захватное пространство осуществляется только через одну скважину. После скважина тампонажа ее бурят и тампонируют следующую скважину. Скважины бурят в последовательном порядке по высоте выработки. Первоначальное давление нагнетания раствора принимают на 2—3 кгс/см<sup>2</sup> больше гидростатического напора подземных вод, конечное давление нагнетания принимают на 10—15 кгс/см<sup>2</sup> больше гидростатического напора подземных вод. В процессе тампонажа устанавливают тщательный контроль за состоянием постоянной крепи. При появлении признаков нарушения целостности крепи тампонаж прекращают и возобновляют лишь после устранения замеченных нарушений крепи.

**ТАМПОНАЖ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ  
УСТОЙЧИВОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ  
И НАКЛОННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

**§ 29. ТАМПОНАЖ ВЫРАБОТОК, ЗАКРЕПЛЕННЫХ  
МЕТАЛЛОБЕТОННОЙ КРЕПЬЮ**

На ремонт и перекрепление капитальных и подготовительных выработок на горных предприятиях затрачивают большие средства.

В связи с расширяющейся тенденцией увеличения глубины подземных разработок и освоением месторождений полезных ископаемых со сложными горно-геологическими условиями вопрос обеспечения устойчивости постоянных крепей горных выработок приобретает особую актуальность.

В сложных горно-геологических условиях строительства и на глубоких горизонтах шахт получили распространение металлобетонные крепи, в которых в качестве арматуры служит временная металлическая крепь из шахтного спецпрофиля СВП или двутавровых профилей различных типоразмеров.

Сооружение выработок, закрепленных металлобетонной крепью, обычно осуществляется следующим образом.

1. После выемки породы буровзрывным способом или при помощи горно-проходческих комбайнов устанавливается временная металлическая крепь с затяжкой стен и кровли из железобетонных плиток. Металлическая крепь может быть податливой или жесткой конструкций. Расстояния между арками металлической крепи и типоразмер профиля металла принимают в зависимости от пролета и площади поперечного сечения выработки. Зазоры между затяжкой и породными стенками забучиваются кусками отбитой породы.

2. На расстоянии 10—25 м от забоя при помощи бетоноукладчиков или вручную укладывают за опалубку бетон постоянной крепи, при этом металлическую временную крепь и затяжку кровли, а зачастую и стен не извлекают. Однако оставление в бетоне металлических конструкций, которые должны были бы значительно усилить крепь, во многих случаях не обеспечивает ее устойчивости и достаточной несущей способности.

3. По истечении некоторого периода времени бетонная крепь деформируется и местами разрушается. При обследовании состояния выработок околоствольных дворов шахт «Западно-Донбасская» № 2, 3, 4, 20/23 и некоторых других в процессе их строительства было установлено, что деформации и разрушения бетона постоянной крепи имели место на 60% длины выработок, из них в аварийном состоянии — около 20—25%. Деформации и разру-

в виде трещин, обрушения бетона и смещения геометрических параметров выработки. Трещины распространяются или по периметру выработок, так и по их длине. Считаются трещины сильными различия. Зафиксированы как отслаивание, так и широтные трещины. Разрушения бетона зафиксированы как при падении, так и при контактной коррозии временной крепи. Изменения структурной прочности бетона в конструктивных элементах, находящихся в состоянии сжатия, сущностного значения не имеют. В результате деформаций крепи разрушения бетона происходят в выработках все зависимости от способа крепления и времени бетона за установку. Наиболее характерны разрушения бетона в бетонной крепи происходят в первые дни — после установки после укладки бетона за установку. Деформации бетона не влияют во времени и вызывают разрушения от бетона. Крепи имеют полость заметны деформированного бетона в бетонной крепи временной крепи, образуются разрушения в бетоне.

В связи с наличием трещин деформаций крепи было проведено исследование прочности закрепленного пространства выработок и разрушения бетона. Обследование проводили в различных по направлению выработках методом бурения различных шпуров и измерения трещины бетона в различных зафиксированных пустот.

Трещины в бетонной постоянной крепи отмечены во всех конструктивных элементах крепи с различной деформацией: в стенах — 1-4%, от всех закреплений шпуров, бурения в данном конструктивном элементе, в пятах свода — 8%, и зажимы — 55%. Замечено трещины бетона показали, что в 96% она разноразлична или выше прочности. Разрыв пустот поперек выработки доходит до 3 м, а высота — до 0,5 м. Наиболее часто встречаются пустоты шириной до 2 м и высотой до 0,35 м.

Пустоты в своде выработки располагаются в подвешенном состоянии случаев примерно симметрично его оси и сгруппированы в верхней части затяжками временной крепи, а в нижней — бетонном своде постоянной крепи (рис. 54). В отдельных выработках эксплуатировавшихся более длительное время, пустоты были заполнены нарушенной породой и деформированной затяжкой. Такое расположение металлической крепи и бетона в своде обусловлено технологией сооружения выработки: не при механизированной, ни при ручной укладке бетона за установку с торца практически не представляется возможным полностью забетонировать верхнюю часть свода арки временной металлической крепи, особенно если временная крепь циркульного сечения, а бетонный свод — коробового.

При таком положении, когда на некоторой поверхности бетонного свода отсутствует непосредственный контакт бетона со вмещающими породами, нагрузки от пород воспринимает металлическая крепь и передает их бетону в местах замосаждения.

Для оценки возникающих при этом напряжений в бетоне было исследовано взаимодействие временной металлической крепи с бе-

тоном при разной ширине пустоты. Расчетная схема, отражающая реальное взаимодействие временной металлической крепи и бетона, показана на рис. 55.

Арка временной крепи, воспринимаемая в пределах пустоты переменной ширины вес обрушенных пород, передает его бетону и создает в точках замоноличивания момент  $M_a$ , усилия — горизонтальное  $H_a$  и вертикальное  $P_a$ .

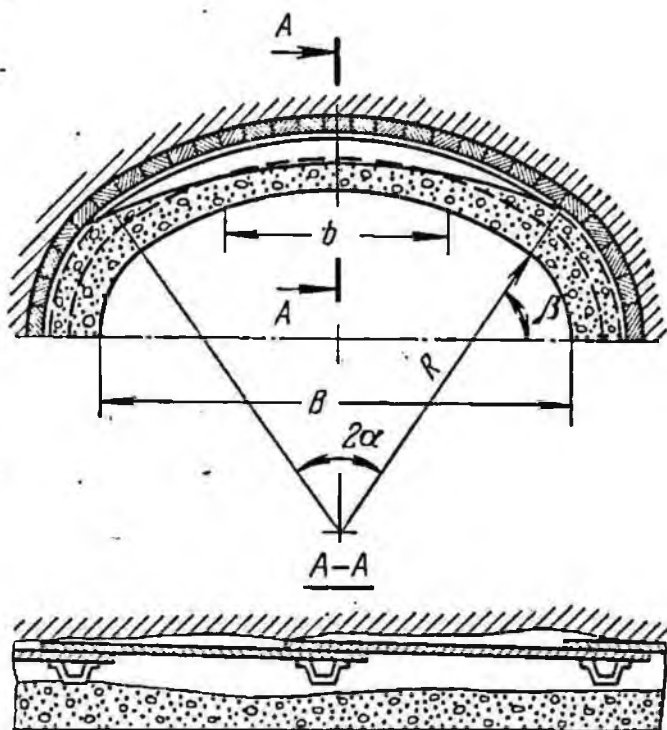


Рис. 54. Пустоты в своде выработки

Задача по определению изгибающих моментов и напряжений в сечениях бетонного свода решалась в общем виде в необходимом диапазоне изменения ширины пустоты, определяемой углом  $\alpha_1$ .

На рис. 56 показан характер изменения напряжений в сечениях свода в зависимости от ширины пустоты  $b$ . По оси ординат отложены растягивающие (+) и сжимающие (—) напряжения, по оси абсцисс — ширина пустоты в безразмерной форме (отношение ширины пустоты  $b$  к пролету выработки и свету  $B$ ).

Из графиков видно, что, отсутствие надлежащего замоноличивания временной металлической крепи в бетоне по всей длине ее приводит к возникновению опасных растягивающих напряжений в сечениях свода, образованию трещин в нем и разрушению крепи.

Выполненный анализ позволяет более обоснованно объяснить причины разрушения металлобетонной крепи и наметить пути устранения этих причин.

Существующая технология возведения металлобетонной крепи, предусматривающая оставление в бетоне металлической временной крепи, не обеспечивает совместной работы металла и бетона;

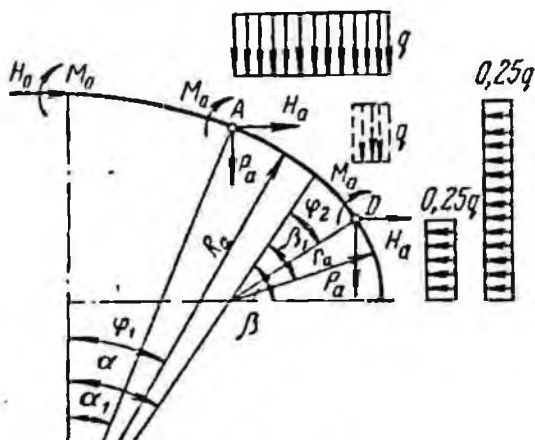
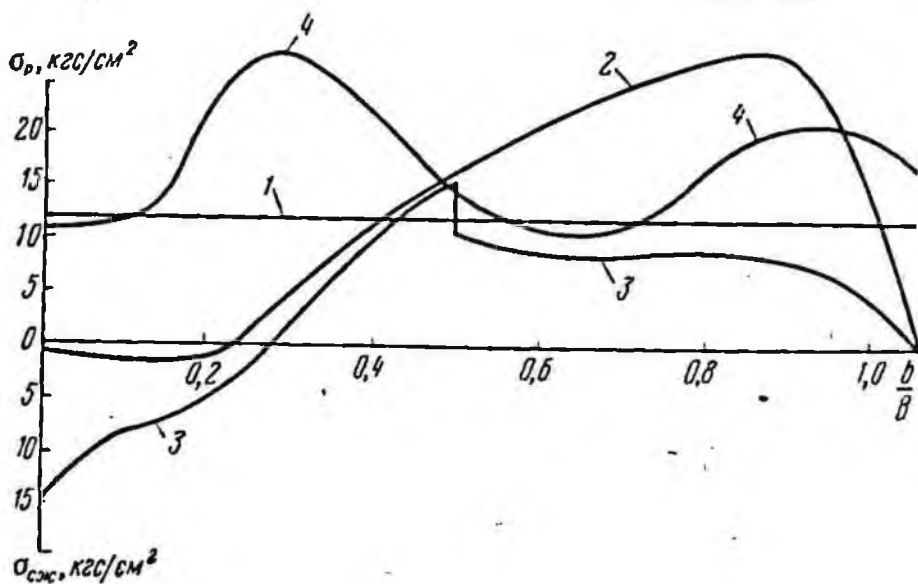


Рис. 55. Расчетная схема бетонного свода крепи

Рис. 56. Эпюры напряжений в нижних сечениях свода в зависимости от ширины пустоты:

1 — максимально допустимое растягивающее напряжение бетона свода; 2 — расчетные напряжения в замке свода в зависимости от ширины пустоты; 3 — расчетные напряжения в сечении  $\varphi_1 = 20^\circ$ ; 4 — расчетные напряжения в пятах свода



в местах замоноличивания арок, воспринимающих в пределах пустоты нагрузки от веса обрушенных пород, возникает концентрация напряжений в бетоне постоянной крепи. Трещинообразование и разрушение бетона происходят при наличии в закреплённом пространстве пустот при ширине их более 0,15 ширины выработки в свету; при жесткой временной крепи в бетоне образуются открытые, а при податливой — закрытые трещины. Предупреждение концентрации напряжений в бетоне постоянной крепи, в результате отрицательного воздействия на него арок временной кре-



пи, по технологическим соображениям возможно осуществить путем последующего тампонажа закрепного пространства.

Тампонаж закрепного пространства выработок, закрепленных металлобетонной крепью, обеспечивает заполнение за бетоном постоянной крепи пустот тампонажным камнем и замоноличивание арок временной крепи по всей их длине в бетоне постоянной крепи. В результате этого металлическая временная крепь выполняет функции жесткой арматуры металлобетонной крепи, значительно повышая несущую способность и устойчивость постоянной крепи капитальных горных выработок.

Необходимая зона распространения тампонажного раствора в закрепном пространстве должна быть такой, чтобы обеспечить полное замоноличивание арок временной крепи тампонажным камнем. Для надежности принимая во внимание несколько пониженную прочность верхнего слоя тампонажного камня, верхний уровень зоны распространения тампонажного раствора должен быть на 5—10 см выше спецпрофиля в верхней точке свода.

Тампонаж закрепного пространства необходимо проводить в первые два-три месяца после возведения металлобетонной крепи вне зависимости от состояния выработки на момент проведения тампонажа.

При тампонаже выработок, закрепленных металлобетонной крепью, тампонажные скважины располагают в замке свода. По оси выработки расстояние между скважинами принимают от 5 до 10 м. После бурения тампонажные скважины оборудуют кондукторами в виде отрезков трубы, выступающих за пределы крепи (рис. 57). Диаметр кондуктора на 2—3 мм меньше диаметра тампонажной скважины. С одного конца кондуктор имеет резьбу для подсоединения растворонагнетательного шланга и запорного пробкового крана.

После установки в проектное положение кондуктор расклинивается в скважине, зазор между кондуктором и стенкой скважины заполняется густым цементно-песчаным раствором.

Тампонированию выработок предшествуют работы по осмотру состояния крепи, частичному ремонту бетона — ликвидация трещин и щелей в нем, через которые возможен выход нагнетаемого в закрепное пространство тампонажного раствора. В выработках с деформированной металлобетонной крепью ремонт бетона

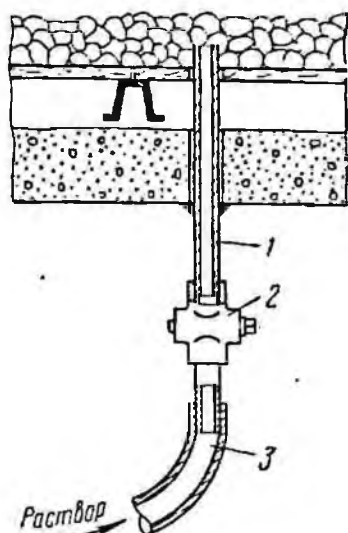


Рис. 57. Схема установки тампонажной головки при последующем тампонаже горизонтальных горных выработок:

1 — кондуктор; 2 — запорный кран; 3 — растворонагнетательный шланг

крепи заключается в замене сильно разрушенного бетона новым и заделке больших трещин цементно-песчаным раствором. Замена разбитого трещинами бетона, сохраняющего в момент производства тампонажа устойчивое равновесие, не производится.

В качестве тампонажного раствора для тампонажа закрепного пространства рекомендуется использовать цементно-песчаные

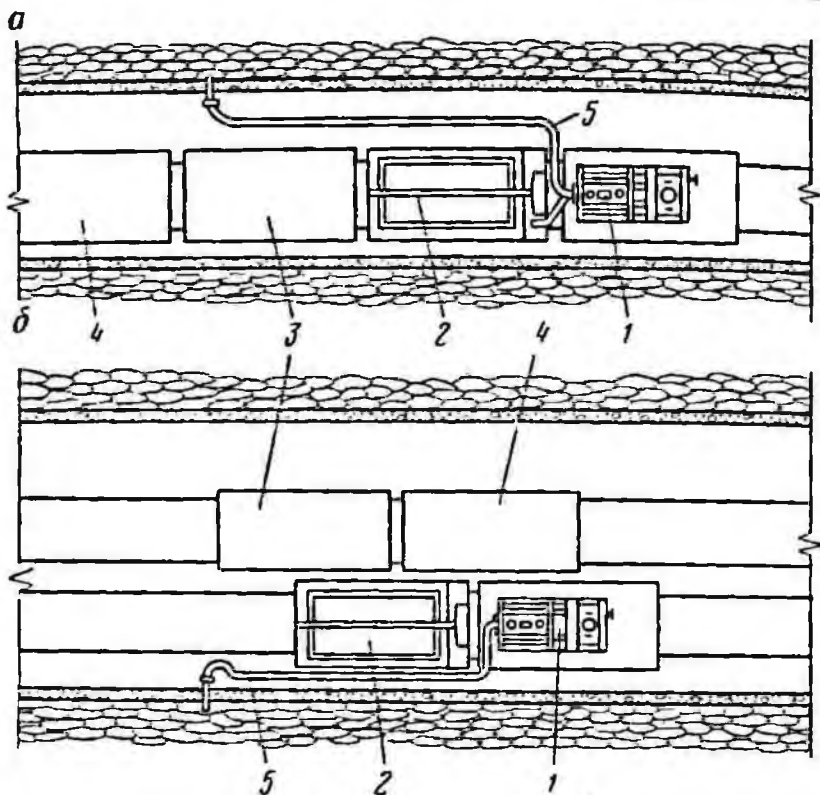


Рис. 58. Схема размещения оборудования при последующем тампонаже горизонтальных выработок:

а — в однопутной выработке; б — в двухпутной выработке; 1 — растворонасос; 2 — растворомешалка; 3 — вагон с песком; 4 — вагон с цементом; 5 — растворонагнетательный шланг

растворы состава от 1:4 до 1:7 (цемент:песок) с добавками глины в количестве до 5% от массы цемента. Цементно-песчаное отношение тампонажных растворов зависит от марки применяемого цемента и с ростом марки его уменьшается.

Приготовление раствора производится непосредственно у места производства тампонажа в передвижных растворомешалках, изготовленных на базе шахтных вагонеток. Составляющие раствора (цемент, песок и глина) доставляются к месту расположения растворомешалки в шахтных вагонетках, специально приспособленных для этой цели.

Размещение тампонажного оборудования и вагонеток с тампонажными материалами в однопутной и двухпутной выработках, применявшееся на шахтах Западного Донбасса, показано на рис. 58. Максимальное удаление тампонажного оборудования от

скважины, в которую нагнетается раствор, определяется параметрами применяемого растворонасоса, реологическими параметрами применяемых растворов, проходными диаметрами растворонагнетательных шлангов и кондуктора. Так, при применении растворонасосов НГР-250/50 и гибких шлангов внутренним диаметром 50 мм это расстояние может достигать 150 м по горизонтали.

Нагнетание тампонажного раствора в закрепное пространство производится при давлении не больше  $3 \text{ кгс/см}^2$  у места установки кондуктора. Превышение этой величины давления нагнетания может привести к разрушению бетона крепи.

В процессе нагнетания возможно появление из не замеченных при осмотре выработки трещин в бетоне течей тампонажного раствора. В этом случае нагнетание раствора в закрепное пространство временно прекращают и трещины замазывают цементно-песчаным или глино-песчаным раствором. При незначительных течах воды или раствора из малых трещин процесс нагнетания не прерывают и места течей не заделывают. Этим обеспечивают благоприятные условия для отжима воды затворения из закачиваемого в закрепное пространство раствора.

Контроль за процессом тампонажа можно вести по течам раствора через малые трещины или по «отпотеванию» бетона постоянной крепи. Течи раствора или «отпотевание» бетона оконтуривают в процессе нагнетания границы распространения его в закрепном пространстве.

Контроль заполнения закрепного пространства тампонажным камнем после завершения тампонажа выполняют путем бурения контрольных шпуров. Контрольные шпуры бурят в кровле выработки в промежутке между тампонажными скважинами. Длину контрольных шпуров принимают 0,5—1,0 м. После бурения шпуров визуальным способом определяют толщину тампонажного камня и наличие пустот в закрепном пространстве после тампонажа. При необходимости замер толщины тампонажного заполнения выполняется при помощи мерного шупа.

При наличии в закрепном пространстве после тампонажа пустот между арками временной крепи и бетоном проводят повторный тампонаж участка.

Для ограничения зоны распространения тампонажного раствора по длине выработки устраивают перемычки, перекрывающие зазор между породой и крепью и обеспечивающие разобщение тампонируемого и нетампонируемого участков выработки (рис. 59). Обычно перемычки устраивают на контакте бетонной и металлической крепей.

Порядок устройства перемычек может быть следующий: начиная от почвы выработки вынимают 4—5 затяжек, разрыхленную породу за затяжками удаляют. Освободившееся закрепное пространство заполняется бетоном. По мере укладки бетона снимают вышерасположенные затяжки, вплоть до ключа свода. При устройстве перемычек следует тщательно выполнять пикотаж

зазоров между крепью и ненарушенными породами закрепного пространства.

Заполнение твердеющими тампонажными растворами пустот от вывалов за контурами кирпичной, бетонной или металлобетонной крепи является целесообразным во всех случаях, а пустот за сборной железобетонной крепью — обязательным, даже в случае качественной забутовки закрепного пространства и закладки пустот кострами или пустыми породами.

Нагнетание тампонажного раствора в пустоты за крепями горизонтальных или наклонных горных выработок производят

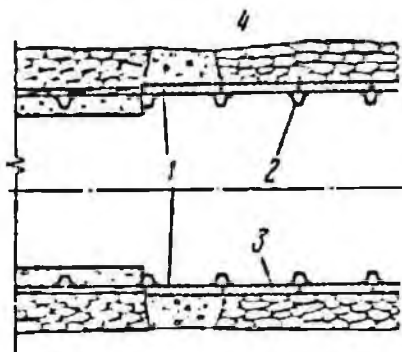


Рис. 59. Схема устройства перемычки для разобщения тампонируемого и нетампонируемого участков выработки:

1 — бетонная перемычка; 2 — прочная металлическая крепь; 3 — железобетонная затяжка; 4 — монолитные породы

по трубам с внутренним диаметром 25—50 мм и длиной, равной высоте пустоты. При тампонировании пустот от вывалов или выбросов, имеющих большие размеры, по высоте их устанавливают несколько нагнетательных труб разной длины.

Тампонаж закрепного пространства с целью повышения устойчивости металлобетонной крепи осуществляют в основном цементно-песчаными растворами прочностью при одноосном сжатии от 25 до 150 кгс/см<sup>2</sup>.

Заполнение полостей вывалов или выбросов производят тампонажными растворами малой прочности, в частности цементно-песчаными растворами состава 1:8:2,5 (цемент:песок:вода), после тампонирования закрепного пространства в пределах контура крепи — растворами высокой прочности. Верхний уровень зоны распространения тампонажного раствора высокой прочности должен превышать на 50—60 см самую верхнюю точку внешнего контура крепи. В качестве вяжущего материала для приготовления растворов малой прочности рекомендуется использовать цементы низких марок или молотые доменные шлаки. Для обеспечения удовлетворительной прокачиваемости этих растворов в состав их вводится глина в количествах до 25% от массы цемента.

### § 30. ТАМПОНАЖ ВЫРАБОТОК, ЗАКРЕПЛЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПЬЮ

Сложные горно-геологические условия строительства и эксплуатации подземных сооружений, обусловленные распространением на территории месторождения слабых легкообрушающихся

пород, является причиной значительных деформаций и разрушений металлической, особенно арочной, постоянной крепи.

Для обеспечения устойчивого состояния горизонтальных и наклонных горных выработок, закрепленных постоянной металлической крепью как арочной, так и замкнутой, на шахтах Западного Донбасса широко применяют тампонаж закрепного пространства.

Тампонаж закрепного пространства выработок, закрепленных металлической крепью, в зависимости от конкретных горно-геологических условий бывает и может включать два этапа: заполнение пустот закрепного пространства тампонажными растворами и глубинный тампонаж вмещающих выработку горных пород.

Глубинный тампонаж вмещающих пород производится только после заполнения пустот закрепного пространства тампонажными растворами. Его необходимо выполнять при проведении выработок в зонах тектонических нарушений, в подработанных и надработанных выработках и в выработках с разрушенной крепью, предназначенной к замене. В последнем случае тампонаж называется предремонтным.

1 Тампонированию выработок предшествуют работы по пикотажу зазоров между затяжками и между арками и затяжками. При необходимости выполняются предпикотажные работы по ремонту крепи, заключающиеся в замене деформированных и разрушенных затяжек, поправке их, подтяжке крепежных хомутов и пр. В отдельных исключительных случаях производится замена деформированных арок. Однако наиболее целесообразно замену деформированных арок производить после тампонажа закрепного пространства. Деформированные затяжки с раскрытием трещин менее 5 мм не заменяются.

2 — Заделка зазоров в межрамном ограждении выполняется механизированным способом при помощи торкретмашин и пикотажных аппаратов или вручную. Особое внимание при пикотаже следует обращать на заделку зазоров между нижними затяжками и почвой выработки. Для предотвращения прорывов тампонажного раствора на почве выработки устраивают полосы высотой до 100—150 мм из цементно-песчаного раствора так, чтобы был образован плотный и прочный контакт пород почвы с нижними затяжками крепи. Для устройства пикотажа и предохранительных полос применяют цементно-песчаный раствор состава 1:3:0,5 (цемент:песок:вода). Для ускорения сроков схватывания в состав растворов вводится добавка хлористого кальция в количестве до 5% от массы цемента. Для повышения эластичности раствора, что особенно важно при ручной заделке зазоров, в состав растворов вводят добавки глины в количествах до 5% от массы песка. В качестве вяжущего следует применять портландцементы марок 400—500. Песок — мелкозернистый.

3 Нагнетание тампонажного раствора в закрепное пространство производится при максимально допустимом давлении до 3 кгс/см<sup>2</sup>. Превышение этой величины давления нагнетания может приве-

зазоров между крепью и ненарушенными породами закрепного пространства.

Заполнение твердеющими тампонажными растворами пустот от вывалов за контурами кирпичной, бетонной или металлобетонной крепи является целесообразным во всех случаях, а пустот за сборной железобетонной крепью — обязательным, даже в случае качественной забутовки закрепного пространства и закладки пустот кострами или пустыми породами.

Нагнетание тампонажного раствора в пустоты за крепями горизонтальных или наклонных горных выработок производят

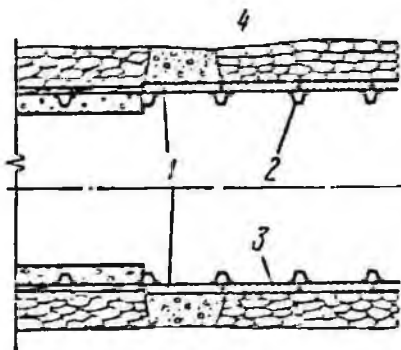


Рис. 59. Схема устройства перемычки для разобщения тампонируемого и нетампонируемого участков выработки:

1 — бетонная перемычка; 2 — прочная металлическая крепь; 3 — железобетонная затяжка; 4 — монолитные породы

по трубам с внутренним диаметром 25—50 мм и длиной, равной высоте пустоты. При тампонировании пустот от вывалов или выбросов, имеющих большие размеры, по высоте их устанавливают несколько нагнетательных труб разной длины.

Тампонаж закрепного пространства с целью повышения устойчивости металлобетонной крепи осуществляют в основном цементно-песчаными растворами прочностью при одноосном сжатии от 25 до 150 кгс/см<sup>2</sup>.

Заполнение полостей вывалов или выбросов производят тампонажными растворами малой прочности, в частности цементно-песчаными растворами состава 1:8:2,5 (цемент:песок:вода), после тампонирования закрепного пространства в пределах контура крепи — растворами высокой прочности. Верхний уровень зоны распространения тампонажного раствора высокой прочности должен превышать на 50—60 см самую верхнюю точку внешнего контура крепи. В качестве вяжущего материала для приготовления растворов малой прочности рекомендуется использовать цементы низких марок или молотые доменные шлаки. Для обеспечения удовлетворительной прокачиваемости этих растворов в состав их вводится глина в количествах до 25% от массы цемента.

### § 30. ТАМПОНАЖ ВЫРАБОТОК, ЗАКРЕПЛЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПЬЮ

Сложные горно-геологические условия строительства и эксплуатации подземных сооружений, обусловленные распространением на территории месторождения слабых легкообрушающихся



пород, является причиной значительных деформаций и разрушений металлической, особенно арочной, постоянной крепи.

Для обеспечения устойчивого состояния горизонтальных и наклонных горных выработок, закрепленных постоянной металлической крепью как арочной, так и замкнутой, на шахтах Западного Донбасса широко применяют тампонаж закрепного пространства.

Тампонаж закрепного пространства выработок, закрепленных металлической крепью, в зависимости от конкретных горно-геологических условий бывает и может включать два этапа: заполнение пустот закрепного пространства тампонажными растворами и глубинный тампонаж вмещающих выработку горных пород.

Глубинный тампонаж вмещающих пород производится только после заполнения пустот закрепного пространства тампонажными растворами. Его необходимо выполнять при проведении выработок в зонах тектонических нарушений, в подработанных и надработанных выработках и в выработках с разрушенной крепью, предназначенной к замене. В последнем случае тампонаж называется предремонтным.

1 Тампонированию выработок предшествуют работы по пикотажу зазоров между затяжками и между арками и затяжками. При необходимости выполняются предпикотажные работы по ремонту крепи, заключающиеся в замене деформированных и разрушенных затяжек, поправке их, подтяжке крепежных хомутов и пр. В отдельных исключительных случаях производится замена деформированных арок. Однако наиболее целесообразно замену деформированных арок производить после тампонажа закрепного пространства. Деформированные затяжки с раскрытием трещин менее 5 мм не заменяются.

2 — Заделка зазоров в межрамном ограждении выполняется механизированным способом при помощи торкретмашин и пикотажных аппаратов или вручную. Особое внимание при пикотаже следует обращать на заделку зазоров между нижними затяжками и почвой выработки. Для предотвращения прорывов тампонажного раствора на почве выработки устраивают полосы высотой до 100—150 мм из цементно-песчаного раствора так, чтобы был образован плотный и прочный контакт пород почвы с нижними затяжками крепи. Для устройства пикотажа и предохранительных полос применяют цементно-песчаный раствор состава 1:3:0,5 (цемент:песок:вода). Для ускорения сроков схватывания в состав растворов вводится добавка хлористого кальция в количестве до 5% от массы цемента. Для повышения эластичности раствора, что особенно важно при ручной заделке зазоров, в состав растворов вводят добавки глины в количествах до 5% от массы песка. В качестве вяжущего следует применять портландцементы марок 400—500. Песок — мелкозернистый.

3 Нагнетание тампонажного раствора в закрепное пространство производится при максимально допустимом давлении до 3 кгс/см<sup>2</sup>. Превышение этой величины давления нагнетания может приве-



сти к разрушению затяжек или к деформации элементов арочной металлической крепи.

6. Тампонажный раствор нагнетается в закрепное пространство раствором насосами типа ЗИФ, НГР и ГР через кондукторы длиной 500—600 мм с внутренним диаметром 25—40 мм. Кондукторы представляют собой отрезки газовых труб с резьбой на одном конце для подключения раствора нагнетательного шланга и запорной арматуры. Тампонажные растворы приготавливают в передвижных растворомешалках, изготавливаемых на базе шахтных вагонеток (см. рис. 58).

7. Кондукторы при тампонировании закрепного пространства, за исключением размещения выработок в зонах тектонических нарушений или крайне неустойчивых пород, устанавливают в верхней точке сечения выработки на расстоянии 5—6 м один от другого. Нагнетание раствора вначале производится через кондукторы, расположенные на расстоянии 10—15 м друг от друга, а затем через кондукторы, расположенные в промежутке между ними.

Тампонаж закрепного пространства производится цементно-песчаными растворами марки 50—150 кгс/см<sup>2</sup>.

8. Контроль заполнения закрепного пространства тампонажным раствором в процессе нагнетания его осуществляется визуально по течам раствора из трещин и пор в затяжке. Область распространения раствора четко прослеживается по местам течей раствора и увлажнению материала пикотажа. При наличии из трещин обильных течей раствора процесс нагнетания прекращается и трещины заделываются цементно-песчаным раствором. После схватывания раствора процесс нагнетания возобновляется. При незначительных течах заделка их осуществляется густым глино-песчаным раствором без остановки тампонажа.

9. Контроль заполнения закрепного пространства тампонажным камнем после завершения тампонажа заходки выполняется путем бурения контрольных шпуров. Контрольные шпуры бурят в кровлю выработки в промежутке между затампонированными скважинами. После бурения визуальным путем определяют толщину тампонажного камня и наличие пустот в закрепном пространстве.

10. Качество работ по тампонажу выработок, закрепленных металлической крепью, наиболее просто и достаточно точно можно определить методом простукивания верхних затяжек молотком на длинной ручке. Характерный звук при простукивании указывает на то, что этот участок крепи недостаточно качественно затампонирован и нуждается в повторном тампонаже.

Для изыскания наиболее экономичных и работоспособных крепей было исследовано влияние тампонажа закрепного пространства выработок, закрепленных металлической крепью, на устойчивость их. Закрепное пространство тампонируется по технологии, описанной выше, цементно-песчаными растворами марки 75—100 кгс/см<sup>2</sup>.

Для изучения условий работы крепи на шахтах Западного Донбасса было установлено несколько замерных станций, включающих контурные и глубинные реперы и динамометрические арки. Замерные станции были сооружены в выработках с различными видами постоянной крепи (арочные трехзвенные податливой конструкции, замкнутые — податливой конструкции, арочные и замкнутые с затампонированным закрепным пространством). Более 3000 м затампонированных выработок было охвачено регулярными ежемесячными маркшейдерскими наблюдениями за

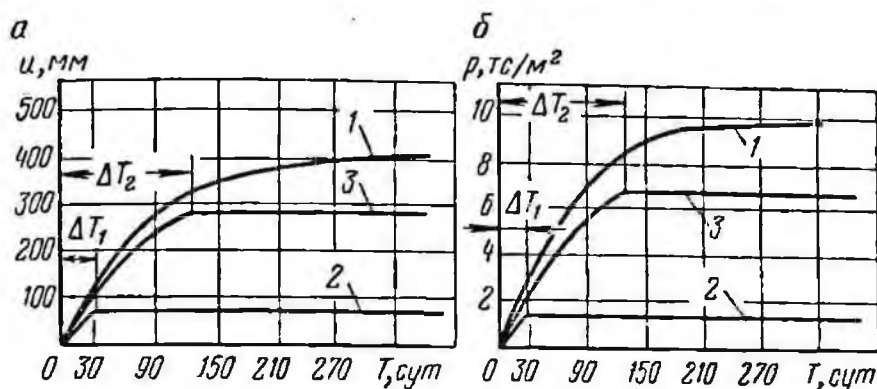


Рис. 60. Графики сближения почвы и кровли выработок (а) и роста нагрузок на крепь (б):

1 — незатампонированная выработка; 2 и 3 — затампонированная выработка с разрывом во времени между возведением постоянной крепи и тампонажем соответственно  $\Delta T_1$  и  $\Delta T_2$ .

сдвижением элементов крепи и верхнего строения рельсового пути.

Данные инструментальных измерений показали, что в незатампонированных выработках с арочной податливой крепью смещения вмещающих пород и элементов крепи носят незатухающий характер в течение всего периода наблюдений. После ремонта незатампонированных выработок скорость смещений вмещающих пород остается практически неизменной. Ремонт выработок в этом случае заключался в замене деформированных и разрушенных затяжек, в подрывке почвы выработки и ремонте верхнего строения пути.

Нагрузки на крепь начинают проявляться в течение первых 2—3 сут после установки ее и через 3—6 мес достигают значительных величин (10—15 тс/м²). В выработках с замкнутой крепью смещения элементов крепи и вмещающих пород менее интенсивны (в 3—5 раз), а максимальные величины нагрузок на арки по величине аналогичны максимальным нагрузкам на арочную крепь.

После тампонажа закрепного пространства выработок как с арочной, так и замкнутой крепью смещения вмещающих пород и элементов крепи, а также рост нагрузок на крепь прекращаются (рис. 60). Таким образом, посредством тампонажа закрепного пространства создается реальная возможность стабилиза-

ции нагрузок на крепь, величина которых при прочих равных условиях в значительной мере определяется промежутком времени между возведением металлической крепи и проведением тампонажа.

Стабилизация нагрузок на крепь после проведения тампонажа закрепного пространства имеет большое практическое значение, так как своевременно проведенный тампонаж закрепного пространства предопределяет использование металлических крепей облегченных конструкций. Параметры таких крепей (расстояние между арками, тип спецпрофиля, величина податливости и т. д.) определяются, исходя из устойчивости вмещающих пород, в момент установки крепи и нагрузок на крепь. Кроме того, своевременно проведенный тампонаж закрепного пространства приводит к снижению интенсивности выдавливания пород из почвы выработки.

Оптимальный промежуток времени между возведением постоянной металлической крепи и тампонажем закрепного пространства определяется исходя из устойчивости вмещающих выработку горных пород и площади поперечного сечения ее. Чем меньшей устойчивостью при выемке обладают горные породы и чем большую площадь поперечного сечения имеют проходимые выработки, тем меньший промежуток времени должен быть между возведением металлической крепи и тампонажем закрепного пространства. В отдельных случаях оптимальная величина времени в зависимости от конкретных горно-геологических условий бывает равной 2—3 сут. в отдельных случаях достигает 0,5—1,0 мес.

Если тампонаж закрепного пространства ведут с небольшим отставанием от забоя в пределах 10—15 м, тампонажный раствор первоначально нагнетают в закрепное пространство стен выработки, для чего вслед за подвиганием забоя производят пикетаж зазоров в стенах и на расстоянии 10—15 м друг от друга устраивают перемычки в стенах на высоту до 2,5 м от почвы выработки. Нагнетание раствора в стены выработки осуществляют через кондукторы, установленные на уровне 2,0—2,5 м от почвы. Тампонаж закрепного пространства свода осуществляется с отставанием от тампонажа стен в 2—3 сут.

Необходимость и целесообразность широкого внедрения последующего тампонажа убедительно подтверждены трех-четырёхлетним опытом эксплуатации затампонируемых выработок с металлической арокной крепью. За период эксплуатации этих выработок зафиксировано лишь несколько случаев разрушения крепи и изменения конфигурации их на отдельных участках.

При тампонаже закрепного пространства горных выработок, закрепленных металлической крепью, была выяснена возможность использования в качестве постоянной крепи выработок околоствольных дворов шахт металлических арок с последующим тампонажем закрепного пространства цементно-песчаными растворами. Так, на шахте «Западно-Донбасская» № 20/23 (август 1969 г.) в пределах околоствольного двора гор — 250 м проведен тампо-

наж 100 м выработок, закрепленных металлической арочной крепью с железобетонной затяжкой. В течение 1970 г. на шахте «Западно-Донбасская» № 29 в пределах околоствольных дворов затампонировано свыше 200 м выработок, закрепленных металлической крепью. В мае 1972 г. на шахте «Западно-Донбасская» № 16/17 в пределах околоствольного двора горизонта — 585 м затампонировано цементно-песчаными растворами 30 м выработок сечением в свету 16 м<sup>2</sup>, закрепленной металлической крепью с железобетонной затяжкой. Длительные инструментальные наблюдения за состоянием крепи этих выработок показали, что постоянная крепь их находится в удовлетворительном рабочем состоянии, измерений конфигурации сечения выработок не зафиксировано.

На основании проведенных исследований и опыта оказалась рациональной конструкция крепи протяженных долговременных выработок в виде металлических арок жесткой конструкции с последующим тампонажем закрепного пространства (рис. 61) цементно-песчаными растворами состава 1:5:1,75 (цемент:песок:вода). В качестве вяжущего используется портландцемент марок 400 и 500.

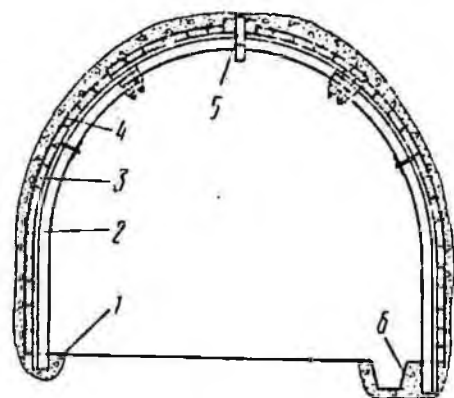


Рис. 61. Общий вид металлической крепи с тампонажем закрепного пространства для долговременных выработок: 1 — фундамент; 2 — металлическая арка; 3 — железобетонная затяжка; 4 — тампонажное заполнение; 5 — кондуктор; 6 — водоотливная канавка

Для крепи протяженных выработок околоствольных дворов, а также сопряжений и камер можно использовать металлические арки или же замкнутые конструкции из двутавровых балок № 18—24.

Тампонаж закрепного пространства в сочетании с торкретбетоном по межрамному ограждению и металлоконструкциям обеспечивает долговечность выработок при существенном удешевлении работ по сравнению с металлобетонной крепью.

Глубинный тампонаж вмещающих выработку горных пород проводится после заполнения тампонажными растворами высокой прочности закрепного пространства и применяется в зонах тектонических нарушений, на участках выработок с крайне неустойчивыми породами, в выработках, подверженных влиянию очистных работ, и в выработках с полностью разрушенной крепью.

Нагнетание тампонажного раствора при глубинном тампонаже осуществляют первоначально в нижние скважины, а затем после нагнетания тампонируют верхние скважины. Если при нагнетании раствора в нижние скважины раствор появляется в верхних, нижние скважины перекрывают и тампонируют верхние.

Максимально допустимое давление нагнетания раствора при глубинном тампонаже основных подготовительных выработок, закрепленных металлической крепью, определяется несущей способностью постоянной крепи и тампонажного заполнения закрепного пространства.

В качестве тампонажных растворов применяют растворы достаточно высокой прочности и высокой проникающей способности.

Нагнетание растворов в породы закрепного пространства осуществляется растворонасосами типа НГР и ГР; приготовление тампонажных растворов — в передвижных растворомешалках на месте производства тампонажа.

## ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ТАМПОНАЖНЫХ РАБОТ

§ 31. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ТАМПОНАЖ  
С ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗАПАДНОГО  
ВЕНТИЛЯЦИОННОГО СТВОЛА ШАХТЫ № 21-БИС  
(ДОНБАСС)

Западный вентиляционный ствол шахты № 21-бис диаметром в свету 5 м, проектной глубиной 590 м по данным гидрогеологической разведки должен был пересечь 23 водоносных горизонта суммарной мощностью 225,4 м с общим ожидаемым притоком воды 637 м<sup>3</sup>/ч. Геологический разрез ствола с указанием водоносных горизонтов и притоков из них показан на рис. 62. Водоносные горизонты приурочены к мелкозернистым песчанкам и известнякам. Водоносные породы разбиты сетью трещин, распространяющихся по падению и под углом к падению пород. Ширина трещин доходит до 10 мм.

Тампонажные работы вели в следующем порядке. Тампонажные скважины бурили станками ЗИФ-300 и ЗИФ-650. Одновременно в работе находилось четыре станка. Схема расположения тампонажных скважин показана на рис. 63. Проектная глубина скважин 600—619 м.

В качестве растворов использовали цементные растворы состава 1:0,6 и 1:1 (цемент:вода). Приготовление тампонажного раствора производилось в самоходных смесительных машинах 2СМ-20, в скважины раствор нагнетался агрегатами ЦА-320м.

В первую очередь тампониrowали породы верхних водоносных горизонтов (до глубины 200 м) с целью закрытия трещин в выветрелых породах и возможных нарушений монолитности пород, вызванных отработкой вышележащих угольных пластов.

Первоначально на глубину 13 м бурили под кондукторы скважины 1, 3, 5 и 7 (рис. 63). После установки кондукторов в скважины под давлением до 10 кгс/см<sup>2</sup> нагнетали цементный раствор состава 1:0,6. На укрепление одного кондуктора расходовалось 4—5 м<sup>3</sup> раствора. После затвердевания раствора скважины углублялись до 50 м. При нагнетании раствора состава 1:0,6 (цемент:вода) выяснилось, что эти скважины сообщаются через трещины с поверхностью, раствор прорвался наружу в 35 м от ствола.

Тампонаж был прекращен, скважины были разрубены на глубину 50 м и оборудованы кондукторами из труб диаметром 150 мм. Скважины 1 и 3 были разбурены и углублены до отметки 350 м. При нагнетании раствора состава 1:0,6 скважина 1 поглотила 51 м<sup>3</sup>, скважина 3 — 957 м<sup>3</sup> раствора при отсутствии давления на манометре. При этом на расстоянии 600 м от скважины на поверхности земли зафиксирован выход нагнетаемого раствора. Для ведения дальнейшего тампонажа скважины 1, 3, 5, 6, и 7 были раз-

бурены под кондукторы на глубину до 106—109 м. После установки кондукторов скважины 1, 3, 5 и 6 были пробурены до проектной отметки. После их промывки и определения удельного водопоглощения тампонажный раствор нагнетался одновременно во все

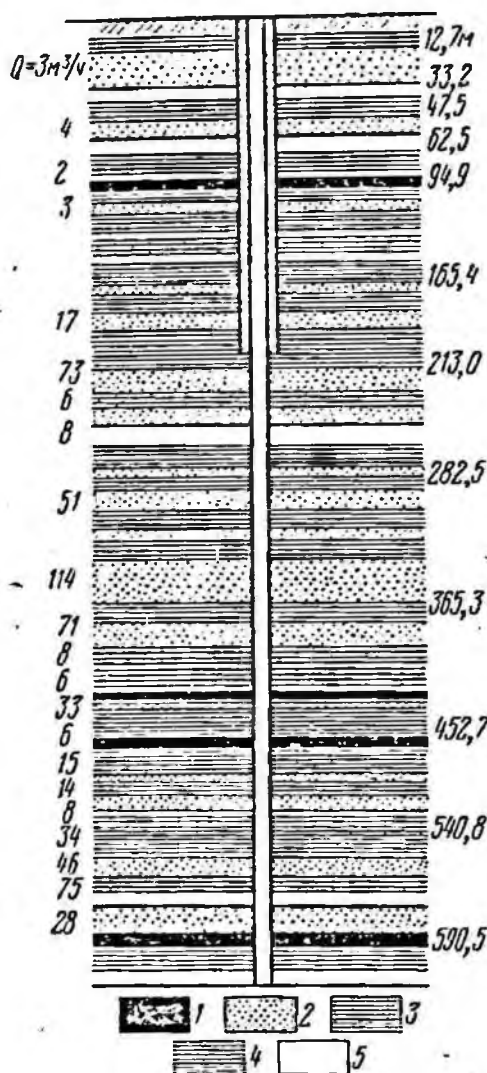
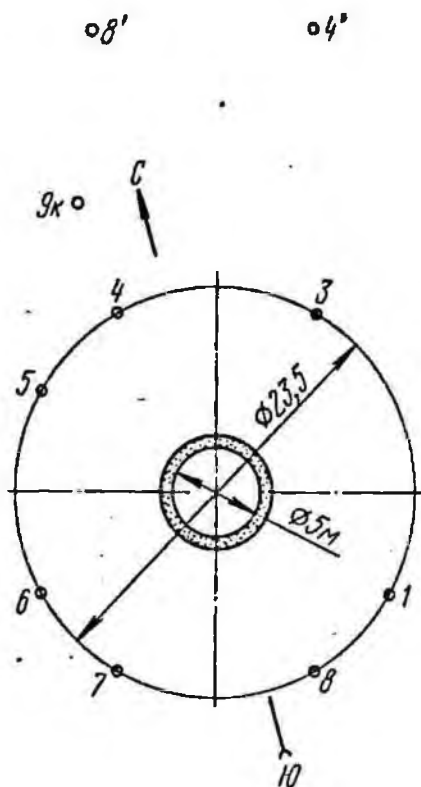


Рис. 62. Геологический разрез участка тампонажа с указанием водонесных горизонтов:

1 — уголь; 2 — песчаник; 3 — известняк; 4 — песчаный сланец; 5 — глинистый сланец

Рис. 63. Схема расположения тампонажных скважин



скважины. При показаниях манометра, равных 0, на всех скважинах в течение 3 ч 40 мин в каждую из них было закачено по 12 м<sup>3</sup> раствора состава 1:1, затем по 16 м<sup>3</sup> — состава 1:0,6. После перерыва продолжительностью 8 ч нагнетание раствора в скважины состава 1:0,6 продолжалось. Манометры тампонажных агрегатов зафиксировали начальное давление нагнетания 5—10 кгс/см<sup>2</sup>, которое после закачки 6—7 м<sup>3</sup> раствора в каждую скважину повысилось до 20 кгс/см<sup>2</sup>. После этого нагнетание приостановили. Затем провели еще по два цикла нагнетания с перерывами между



ними 5—7 ч. Продолжительность цикла в среднем составила около 2 ч, за цикл нагнеталось от 7 до 22,5 м<sup>3</sup> раствора в каждую скважину при максимальном давлении нагнетания до 30 кгс/см<sup>2</sup>. С целью снижения непроизводительных затрат раствора после четвертого цикла нагнетания перерыв между циклами был увеличен до 40 ч. После чего нагнетание было возобновлено отдельными циклами продолжительностью от 40 мин до 6 ч 30 мин с перерывами между циклами от 2 до 10 ч. Таким образом было достигнуто максимальное давление нагнетания, равное 100 кгс/см<sup>2</sup>.

Средний расход раствора при тампонировании скважин первой очереди составил 0,367 м<sup>3</sup> на 1 м скважины.

Так как на глубине 300—400 м тампонажные скважины первой очереди отклонялись в сторону восстания, скважины второй очереди 2, 4 и 8 были отнесены от центра будущего ствола еще на 10—15 м в сторону падения пластов (см. рис. 63), с тем чтобы на глубине залегания наиболее водоносных пород они прошли в зоне ствола. При тампонаже скважин 2, 4, 7 и 8 число циклов нагнетания и общее время нагнетания резко сократились, а средний расход раствора снизился до 0,184 м<sup>3</sup> на 1 м скважины.

В последнюю очередь была пробурена на глубину 601 м контрольная скважина 9к. В течение 10 ч в скважину было закачено 20 м<sup>3</sup> раствора состава 1:1 и 55 м<sup>3</sup> состава 1:0,6 (цемент:вода) при давлении нагнетания от 0 до 120 кгс/см<sup>2</sup>. После перерыва в течение 14 ч скважина приняла 1 м<sup>3</sup> раствора при давлении нагнетания до 120 кгс/см<sup>2</sup>, что дало основание считать тампонаж законченным.

Данные о числе циклов нагнетания, давлении нагнетания, расходе тампонажного раствора приведены в табл. 20.

Таблица 20

| Скважина | Глубина скважины, м | Продолжительность тампонажа, ч — мин | Давление нагнетания, кгс/см <sup>2</sup> |          | Число циклов тампонажа | Расход раствора, м <sup>3</sup> |
|----------|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|----------|------------------------|---------------------------------|
|          |                     |                                      | начальное                                | конечное |                        |                                 |
| 1        | 617                 | 52—30                                | 0                                        | 100      | 16                     | 247                             |
| 3        | 600                 | 26—40                                | 0                                        | 100      | 12                     | 128                             |
| 5        | 600                 | 58—30                                | 5                                        | 60       | 17                     | 246                             |
| 6        | 450                 | 37—20                                | 0                                        | 100      | 13                     | 182                             |
| 2        | 602                 | 11—15                                | 0                                        | 100      | 3                      | 74                              |
| 4        | 600                 | 29—15                                | 0                                        | 100      | 5                      | 195                             |
| 7        | 619                 | 9—50                                 | 5                                        | 50       | 5                      | 57                              |
| 8        | 601                 | 24—05                                | 0                                        | 100      | 8                      | 120                             |
| 9к       | 601                 | 10—20                                | 0                                        | 120      | 3                      | 56                              |

На тампонаж ствола было израсходовано 2180 т цемента. Объем работ по бурению скважин составил 4423 м, по разбуриванию их 1825 м.

В результате проведенных работ остаточный приток воды в ствол составил  $7,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Впоследствии после проведения последующего тампонажа остаточный водоприток был снижен до  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### § 32. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ТАМПОНАЖ ИЗ ЗАБОЯ ГЛАВНОГО СТВОЛА ШАХТЫ «НАГОЛЬЧАНСКАЯ» № 1—2 (ДОНБАСС)

При проведении главного ствола шахты «Нагольчанская» № 1—2 в интервале глубин 930,7—974,5 м должны были встретить сильнотрещиноватые песчаники с большими водопритоками (рис. 64). Из забоя ствола с отметки 922 м песчаники были подвергнуты предварительной цементации. В процессе бурения контрольной скважины произошел катастрофический прорыв воды в ствол с притоком  $260 \text{ м}^3/\text{ч}$ . В результате этого прорыва ствол был затоплен до горизонта 690 м. В дальнейшем этот уровень поддерживался бадьевым водоотливом производительностью  $22 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

После откачки ствола был произведен повторный тампонаж, для чего была сооружена подушка и пробурено 20 вертикальных тампонажных скважин глубиной от 21 до 41 м. Скважины 2, 3 и 5 подсекли водоносные трещины и вновь дали приток воды. Через эти скважины насосом ЗИФ-200/40 было закачено  $1488 \text{ м}^3$  цементного раствора состава Ц:В=1:1, для приготовления которого было израсходовано 120 т портландцемента. Однако повторный тампонаж с применением чисто цементных растворов результата не дал.

Поэтому было принято решение предварительный тампонаж выполнить глиноцементными растворами. Приготовление раствора осуществлялось в растворомешалках, установленных на поверхности. В глинистый раствор плотностью  $1,2 \text{ г}/\text{см}^3$  сначала вводился сульфатостойкий портландцемент в количестве 100 кг на  $1 \text{ м}^3$  и затем после получения равномерной смеси 10 кг жидкого стекла с модулем 2,9—3,4.

С целью установления положения водопроводящих трещин и необходимого объема тампонажного раствора были проведены расходометрические исследования с применением стационарного геофизического оборудования при естественном изливе воды из скважин. Данные расходометрических исследований и гипсометрические построения позволили установить, что скважинами 2, 3 и 5 пересечена крутопадающая ( $84^\circ$ ) зона трещиноватых пород с азимутом простирания  $5\text{—}10^\circ$ . Максимальное раскрытие трещин, по данным расходометрии, достигало 350 мм.

Необходимый объем тампонажного раствора для ликвидации прорыва воды в шахтный ствол исходя из полученных размеров изоляционной завесы и мощности водоносного горизонта составил  $4530 \text{ м}^3$ .

Водоизоляционную завесу создавали путем нагнетания под давлением тампонажного раствора в скважину 2. Для этого в скважине — пакер ДАУ-1, к которому был подсоединен растворонагнетательный трубопровод высокого давления, проложенный по стволу с поверхности до забоя. С целью предохранения тампонажной

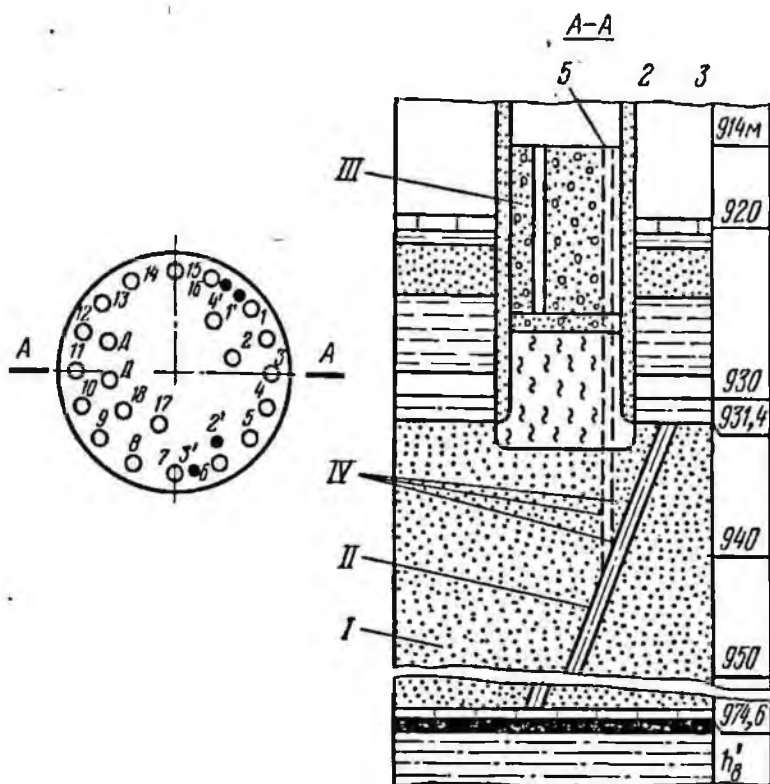


Рис. 64. Схема расположения тампонажных и контрольных скважин в забое ствола:

*I* — водоносный песчаник; *II* — зона трещиноватости; *III* — бетонная тампонажная подушка; *IV* — места установки уплотнительных устройств (пакеров)

бетонной подушки от разрушения под воздействием давления нагнетания в скважинах 11, 3 и 5 на глубинах соответственно 936 и 938 м установлены тампоны с глухой пробкой.

Нагнетание тампонажного раствора в тампонируемые породы производилось с поверхности агрегатами ЦА-320м. Контроль параметров нагнетания (давления, расхода, плотности раствора) осуществлялся станцией контроля цементации СКЦ-2м с регистрацией параметров на диаграммной ленте.

Для ликвидации притоков воды в ствол методом предварительного тампонажа глиноцементными растворами было израсходовано 499 т цемента, 1707 т глины и 50 т жидкого стекла.

С целью контроля качества тампонажа были пробурены наклонные скважины для пересечения водоносного горизонта. Конт-

рольные скважины пересекли затампонированную трещиноватую зону и не дали притока воды в ствол, после чего тампонажная подушка была разобрана. После разборки подушки приток воды в ствол на глубине 933,6 м составил 0,5 м<sup>3</sup>/ч.

При проведении ствола буровзрывным способом поступление воды в ствол полностью прекратилось, очевидно, в результате уплотнения под действием взрывных работ глиноцементного камня в трещинах.

В процессе проходки ствола по затампонированной зоне был получен дополнительный материал, характеризующий эффективность выполненных работ и целесообразность применения глиноцементных тампонажных растворов, так как трещиноватая зона была вскрыта на полную мощность. Элементы залегания и размеры системы трещин, замеренные в натуре, соответствовали установленным на основании расходометрических исследований. Максимальное раскрытие трещин оказалось равным не 350, а 450 мм. Все трещины — как самые крупные, так и весьма мелкие были заполнены плотным высокопластичным глиноцементным камнем, что доказало высокую эффективность применения глиноцементного раствора как в мелкотрещиноватых, так и в породах с крупными трещинами.

### ✓ § 33. ПОСЛЕДУЮЩИЙ ТАМПОНАЖ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО СТВОЛА ШАХТЫ № 18 (ПЕЧОРСКИЙ БАССЕЙН)

Район шахтного поля в месте заложения вентиляционного ствола диаметром 5,5 м в свету имеет весьма сложное гидрогеологическое строение. Разведкой были вскрыты три водоносных горизонта: два из них приурочены к четвертичным отложениям, третий — к песчаникам и аргиллитам. Водоупор этого горизонта расположен на глубине 148 м.

При проходке ствола в зоне коренных отложений буровзрывным способом было вскрыто еще два водоносных горизонта, не зафиксированные гидрогеологическими исследованиями.

Верхний водоносный горизонт, приуроченный к среднеринистым мелкотрещиноватым песчаникам, залегает в интервале отметок 174—183 м по глубине. Максимальный приток воды при проходке ствола из этого горизонта достигал 45 м<sup>3</sup>/ч. Напор воды 9 кгс/см<sup>2</sup>, температура воды +3,4°С.

Постоянную бетонную крепь возводили с помощью металлической створчатой опалубки высотой 2,2 м. После возведения бетонной крепи приток воды в ствол снизился до 30 м<sup>3</sup>/ч. Для улавливания остаточного водопритока были установлены два водоулавливающих кольца и сооружена временная камера водоотлива, оборудованная двумя насосами МС-75.

Нижний водоносный горизонт, встреченный на глубине 245,6 м, был представлен среднезернистыми и крупнозернистыми песчаниками с хорошо развитыми не сообщающимися друг с другом водоносными трещинами. Отдельные трещины имели протяженность до 3 м, и раскрытие их достигало 15—20 мм. При проходке ствола в породах нижнего водоносного горизонта максимальный водоприток составил 125 м<sup>3</sup>/ч; после возведения постоянной крепи приток воды снизился до 80 м<sup>3</sup>/ч. Гидростатический напор воды составил 22 кгс/см<sup>2</sup>, температура +4°С.

Вода, поступающая в ствол при проходке его, откачивалась тремя проходческими насосами — двумя ППН-50 и одним ВП-2. При проходке ствола в районе нижнего водоносного горизонта бетонную крепь возводили при помощи деревянной опалубки. В целях снижения гидростатического напора и уменьшения размыва уложенного за опалубку бетона в местах выхода отдельных водоносных трещин бурили короткие скважины, в которые вставляли трубки для отвода воды.

Для ликвидации остаточных водопритоков был проведен последующий тампонаж. Тампонаж участка ствола в зоне верхнего водоносного горизонта осуществлялся в направлении сверху вниз путем нагнетания цементного раствора в породы через скважины длиной 1,7—1,8 м. Скважины в разных ярусах располагали в шахматном порядке, расстояние между ярусами было принято равным высоте опалубки. Ярусы располагали на стыках бетона крепи двух соседних заходок. Число скважин в ярусе равнялось 9, расстояние между ними — от 1,9 до 2,2 м (рис. 65).

Тампонажные скважины диаметром 60 мм бурили с верхнего этажа проходческого полка ручными перфораторами.

После бурения скважины оборудовались кондукторами, представляющими собой отрезки труб длиной 1 м с наружным диаметром 58 мм. Один конец кондуктора имел резьбу под запорный кран, другой — на длину 0,5 м перфорирован.

Так как обводненные породы верхнего водоносного горизонта были разбиты сообщающимися друг с другом равномерно расположенными по массиву пород трещинами, порядок бурения скважин и тампонирувания их был принят следующий: бурили и

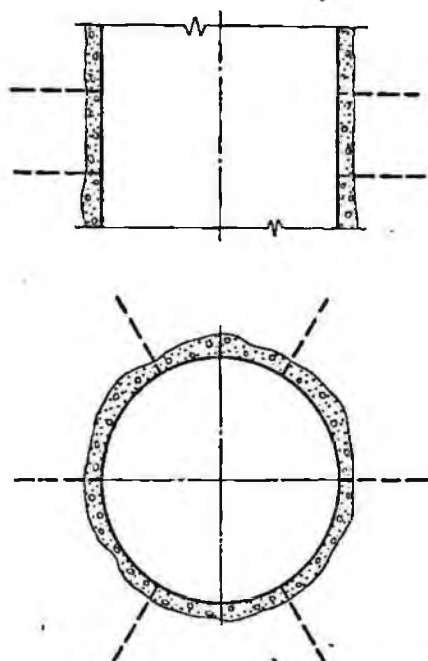


Рис. 65. Схема расположения тампонажных скважин в ярусе

тампонировали только одну скважину в ярусе. Когда давление нагнетания достигало 35—40 кгс/см<sup>2</sup>, тампонаж скважины прекращался. Затем бурили и тампонировали вторую скважину и т. д. Бурение и тампонирование скважин производили в такой последовательности: 1, 6, 2, 7, 9, 5, 3, 8 и 4.

Работы по тампонажу нижнего водоносного горизонта вели в направлении сверху вниз по мере откачки воды из затопленного участка ствола. Тампонаж скважин по ярусам, принятый при водоподавлении в верхнем горизонте, положительных результатов не дал, поэтому организация тампонажных работ была изменена. Сначала вскрывались водоносные трещины, для чего в местах течей воды разбирался бетон. Трещины оборудовались кондукторами. В месте разобранного бетона устанавливали опалубку, за которую укладывали бетон и лишь после схватывания и затвердения его производили тампонаж. Такая организация работ оказывалась более эффективной.

При тампонаже водоносных пород применяли тампонажный раствор повышенной водонепроницаемости, обладающий способностью схватываться и твердеть при малых положительных температурах окружающей среды. Это достигалось введением в состав цементного раствора добавки, состоящей из хлорного железа (1,5% от массы цемента) и хлористого кальция (2,5% от массы цемента).

Как отмечалось выше, при проходке ствола были вскрыты трещины с раскрытием до 3 см. Однако применение рекомендуемых при таком раскрытии трещин растворов густых консистенций было неэффективным из-за образования цементных пробок в кондукторах. Образование цементных пробок объясняется сравнительно малым первоначальным превышением давления нагнетания над гидростатическим и интенсивным отжимом воды из нагнетаемого раствора. Поэтому тампонаж этих пород производился растворами состава 1 : 3 (цемент : вода).

Приготовление тампонажного раствора производилось в растворомешалке, установленной на поверхности. Добавки вводились в раствор плотностью 1,3 г/см<sup>3</sup>. Раствор хлорного железа приготавливался из смеси технической соляной кислоты и шпиритных огарков, хлористого кальция — из сухого порошка.

Нагнетание раствора в скважины производилось растворонасосом НГР-250/50, установленным на верхнем этаже проходческого полка. К месту производства работ тампонажный раствор подавался в бадье емкостью 1 м<sup>3</sup>. Для предотвращения преждевременного схватывания и оседания твердых составляющих раствор в бадье постоянно перемешивался сжатым воздухом.

За весь период тампонажа в породе водоносных горизонтов было закачено 110 м<sup>3</sup> раствора состава от 1 : 3 до 1 : 0,75 (цемент : вода).

В результате проведенного тампонажа водопристок в ствол был снижен с 108 до 4,5 м<sup>3</sup>/ч, что позволило возобновить дальнейшую проходку ствола.

У § 34. ТАМПОНАЖ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА  
СКИПОВОГО СТВОЛА ШАХТЫ «ЮНЬ-ЯГА»  
(ПЕЧОРСКИЙ БАССЕЙН)

При проходке ствола было вскрыто несколько водоносных горизонтов, обеспечивающих суммарный водоприток в ствол, равный  $145 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Все водоносные горизонты коренных пород напорные. Температура воды около  $+3^\circ \text{C}$ .

Постоянная крепь скипового ствола — быстротвердеющий бетон толщиной 500 мм. Значительные остаточные водопритоки размыли в короткий срок бетон крепи, и приток воды в ствол достиг  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Для ликвидации водопритоков и усиления несущей способности крепи в интервале глубин 22—45 м была предпринята попытка проведения последующего тампонажа путем нагнетания глиноцементного раствора с добавкой жидкого стекла в породы крепного пространства. Проведенные тампонажные работы положительных результатов не дали из-за применения тампонажных растворов, не соответствующих конкретным гидрогеологическим и температурным условиям.

Неудачное выполнение последующего тампонажа потребовало шахтостроителей заменить бетонную крепь стволов на металлическую из чугунных тюбингов с тампонажем крепного пространства цементно-песчаными растворами состава 1:2 (цемент:песок). В качестве ускорителя схватывания применяли хлористый кальций в количестве 3—5% от массы цемента. Перекрепление ствола осуществлялось снизу вверх чугунными тюбингами. Ствол был перекреплен с глубины 138 м до глубины 23 м.

Большой напорный водоприток с малыми положительными температурами воды нарушил нормальные сроки схватывания и значительно снизил прочность затвердевшего тампонажного камня, в результате чего через сравнительно короткий срок тампонажный камень был размыт. Напорная вода в нескольких местах прорвала свинцовую чеканку тюбинговых колец. Чтобы не допускать прорыва в других местах, тампонажные отверстия тюбингов были открыты и вода из-за тюбингов свободно поступала в ствол. Притоки воды  $85 \text{ м}^3/\text{ч}$  в основном были в интервале глубин 90—131 м.

С целью ликвидации этих водопритоков был проведен тампонаж крепного пространства. Участок тюбинговой крепи в интервале глубин 25—139 м был разбит в зависимости от водопритока на четыре зоны (табл. 21), тампонаж в пределах каждой зоны выполнялся снизу вверх.

Тампонаж производили в такой последовательности: вначале тампонируют первую, вторую и четвертую зоны, а третью зону тампонируют после окончания тампонажа четвертой зоны.

Принятая очередность тампонажа позволила разобщить водопритоки из зон и изолировать максимальный водоприток из песчанников кровли угольного пласта.



Таблица 21

| Зона | Протяженность участка, м | Водоприток на нижней отметке участка, м <sup>3</sup> /ч |
|------|--------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1    | 35                       | 7                                                       |
| 2    | 34                       | 12                                                      |
| 3    | 37                       | 83                                                      |
| 4    | 8                        | 85                                                      |

Тампонаж осуществляли быстротвердеющим цементным раствором состава 1:0,7—1:1,5 (цемент:вода) на высокоалюминатном портландцементе марки 400. В качестве ускорителя схватывания и твердения применяли комплексную добавку, состоящую из хлорного железа (1,5% от массы цемента) и хлористого кальция (2,5% от массы цемента).

Для устранения возможных утечек тампонажного раствора из щелей в тубингах, места прорыва свинцовой чеканки швов были перекрыты клиньями из сухой древесины, которая под влиянием воздействия воды, стекающей из крепи ствола, разбухала и плотно закупоривала щели. При проведении тампонажа под давлением нагнетания до 50 кгс/см<sup>2</sup> не было ни одного случая утечек и прорыва тампонажного раствора из затрубного пространства в ствол.

Раствор, изготовленный в растворешалке пропеллерного типа емкостью 1 м<sup>3</sup>, в закрепное пространство подавался растворомасосом НГР-250/50.

Тампонажное оборудование было установлено на двухэтажном проходческом полке, расположенном непосредственно у места производства тампонажа. Доставку цемента и активаторов производили в бадьях на полку. Воду для затвердения раствора подавали с поверхности по ставу труб с внутренним диаметром 25,4 мм.

Для тампонажа затрубного пространства в отверстия тубингов ввинчивали трубки диаметром 50,8 мм и длиной 150 мм с фланцами и пробковыми запорными кранами на конце.

При тампонаже закрепного пространства первой, второй и четвертой зон давление нагнетания было принято в пределах 15—25 кгс/см<sup>2</sup>.

Тампонаж третьей зоны был проведен в две фазы. Первоначально закачку густого раствора производили под давлением до 25 кгс/см<sup>2</sup>.

После схватывания закачанного раствора было проведено повторное нагнетание цементного раствора жидкой консистенции под давлением до 50 кгс/см<sup>2</sup>.

Таким образом была произведена опрессовка тампонажного камня.

Работы по ремонту крепи были выполнены за 20 сут. Всего на тампонажные работы было израсходовано 126 т цемента. Проведенный тампонаж затрубного пространства позволил снизить водоприток в ствол до 1 м<sup>3</sup>/ч.

Длительная эксплуатация ствола показывает, что проведенный тампонаж надежен и выполнен весьма качественно.

### § 35. ЛИКВИДАЦИЯ ВОДОПРИТОКОВ В СТВОЛЫ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

Угольные месторождения Западного Донбасса характеризуются гидрогеологическими условиями, которые затрудняют сооружение и эксплуатацию шахтных стволов.

До глубины 50—135 м породы представлены сильнообводненными четвертичными отложениями, требующими применения при проходке стволов метода замораживания.

В каменноугольных отложениях зафиксирован ряд угольных пластов, обеспечивающих при их вскрытии притоки воды до 25—70 м<sup>3</sup>/ч, и пласты водоносных песчаников, обеспечивающих притоки воды в отдельных случаях до 100 м<sup>3</sup>/ч и более. Водоносные песчаники — средней крепости, мелкопористые, на слабом глинистом цементе. Попытки водоподавления предварительной цементацией песчаников не имели успеха из-за крайне малой проницаемости этих пород.

Сложные гидрогеологические условия района и малая проницаемость водоносных песчаников являются причиной значительных остаточных водопритоков (до 30 м<sup>3</sup>/ч) в стволы шахт. Поэтому последующая водоизоляция шахтных стволов шахт Западного Донбасса является актуальной проблемой.

Ниже приведены примеры успешного решения вопроса последующей водоизоляции вертикальных стволов некоторых шахт Западного Донбасса.

Главный ствол шахты «Западно-Донбасская» № 4 в зоне четвертичных отложений до глубины 95 м проходили способом замораживания, ниже до проектной отметки — обычным способом.

На глубине 110 м от поверхности при проходке был вскрыт угольный пласт С<sub>9</sub>, обеспечивший напорный (4,5 кгс/см<sup>2</sup>) водоприток 65 м<sup>3</sup>/ч. Ствол, проходившийся в пределах пласта на временной крепи, был углублен ниже почвы пласта на 6 м и снизу вверх закреплен чугунными тубингами с заполнением затубингового пространства бетоном. Водоприток после возведения постоянной крепи снизился до 31 м<sup>3</sup>/ч. Вода под давлением распространилась по пустотам закрепного пространства, и обводненным оказался участок ствола в пределах глубины 95—116 м.

Для ликвидации водопритока на этом участке ствола был проведен тампонаж (рис. 66). Для нагнетания использовали цементный раствор с добавкой жидкого стекла. Тампонажные работы выполняли с подвешного проходческого полка. На верхнем этаже проходческого полка размещали растворонасос НГР-250/50 и бадью для раствора. Раствор готовили из портландцемента марки 500 на поверхности. Доставка к стволу производилась автотранспортом, а затем по бетонопроводу, проложенному в стволе, — в бадью. На полке в раствор вводилось жидкое стекло, раствор перемешивался сжатым воздухом в течение 2—3 мин и нагнетался в закрепное пространство.

Участок ствола тампонировали в направлении снизу вверх. Яруса тампонажных скважин располагали на расстоянии 1 м в пределах угольного пласта и 2 м на остальных участках тампонажа. Число скважин в ярусе — от 4 до 11 в зависимости от поглощающей способности пород. Скважины бурили с нижнего этажа полка через тампонажные отверстия тюбингов на глубину 1,5—2,0 м. Одновременно бурили и тампонируют четыре скважины на диаметрально противоположных сторонах ствола. Перед началом нагнетания обнаруженные места течей через швы тюбинговых колец чеканились деревянными клиньями или свинцом.

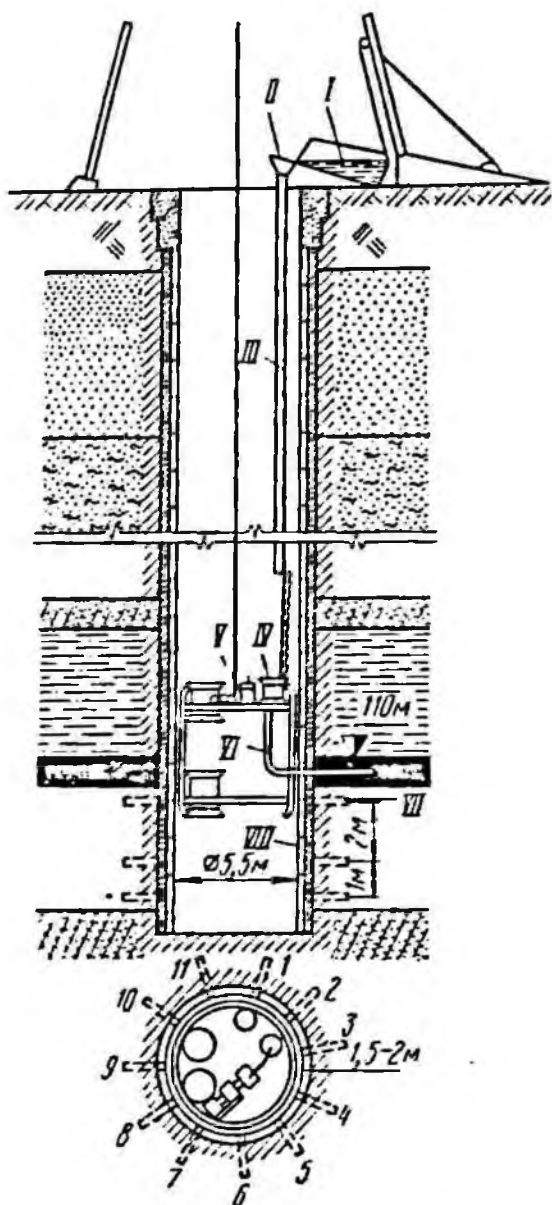


Рис. 66. Схема последующего тампонажа в стволах шахты «Западно-Донбасская» № 4: внизу — схема расположения тампонажных скважин в ярусе; 1, 2, 3...11 — номера тампонажных скважин; I — приемная емкость для раствора; II — воронка с сеткой; III — трубопровод для спуска в ствол раствора; IV — приемная емкость для раствора; V — растворонасос НТР-250/50; VI — растворонагнетательный шланг; VII — тампонажные скважины; VIII — тюбинги

Нагнетание тампонажного раствора производилось до полного прекращения поглощения его скважиной при максимальном давлении нагнетания 15 кгс/см<sup>2</sup>. После нагнетания скважина перекрывалась и выдерживалась в течение 3 ч, затем тампонажные головки снимали и переставляли на следующие скважины. Просачивания воды из отверстий тюбингов после снятия тампонажных головок не наблюдалось, повторное нагнетание раствора не производилось.

По окончании нагнетания раствора на участке ствола 95—116 м водоприток в ствол практически были ликвидированы. Выше этого участка цементационные работы свелись к закачке раствора в затюбинговое про-

странство без разбуривания бстона и пород закрепиого пространства.

Аналогичные работы были выполнены и в клетевом стволе этой же шахты, где остаточный водоприток был снижен с 44 до 1 м<sup>3</sup>/ч.

Главный ствол шахты «Западно-Донбасская» № 2 глубиной 180 м закреплён бетоном толщиной 400 мм в зоне коренных отложений и монолитным железобетоном толщиной 500 мм в пределах наносных обводненных пород.

По окончании проходки ствола остаточный водоприток в него составил 43 м<sup>3</sup>/ч в основном из угольных пластов и зоны обводненных мелкозернистых песков, обладающих пльвунными свойствами.

Первоначально проведенный последующий тампонаж чисто цементными растворами снизил приток только до 31 м<sup>3</sup>/ч, из которых 20 м<sup>3</sup>/ч поступало из зоны пльвуна. Вода просачивалась в местах стыковки заходок крепи. Для ликвидации этих водопритоков была проведена повторная последующая цементация с использованием цементных растворов с добавками жидкого стекла в количествах 5% от массы цемента.

В качестве вяжущего использовали портландцемент марки 400 и частично шлакопортландцемент марки 200. Приготовление тампонажного раствора производили в растворомешалке, установленной на поверхности у ствола. Введение жидкого стекла производили за 2—3 мин до конца затворения раствора. При помощи растворонасосов НГР-250/50 раствор по трубопроводу подавался в приемную емкость, установленную на верхнем этаже проходческого полка, откуда насосом ЗИФ-200/40 раствор нагнетался в тампонажные скважины. Большей частью растворонасосы работали параллельно. В зависимости от поглощения использовали растворы составов 1:3, 1:2, 1:1 (цемент:вода).

На рис. 67 показаны геологический разрез и развертка по стволу с указанием мест расположения тампонажных скважин.

Цементацию ствола производили снизу вверх. Для бурения скважин использовали коронки диаметром 38 мм. Кондукторы представляли собой отрезки труб диаметром 42 мм и длиной 500 мм, один конец которой был обработан на конус, на втором был установлен пробковый кран. Скважины в зоне пльвуна бурили с соблюдением мер предосторожности только на глубину толщины крепи без заглубления скважин в пльвуны. На случай аварийного прорыва пльвуна были заготовлены деревянные чопы. Как только из скважины появлялась вода (чаще всего с песком), бурение прекращали и устанавливали кондуктора с подсоединенными к ним растворонагнетательными шлангами. Перед нагнетанием раствора оборудованные скважины промывали с целью выноса из кондуктора и скважины песка. Нагнетание тампонажного раствора в скважины производили при максимальном допустимом давлении нагнетания до 12 кгс/см<sup>2</sup>. В последнюю стадию нагнетания в скважину подавали густой раствор для запрессовки

им кондукторов и скважины. Число скважин в ярусе составляло 2—6.

Цементацию угольных пластов производили через скважины глубиной до 1,5 м. Из-за плохого качества бетонной крепи и слабой проницаемости пород число скважин в ярусе было увеличено

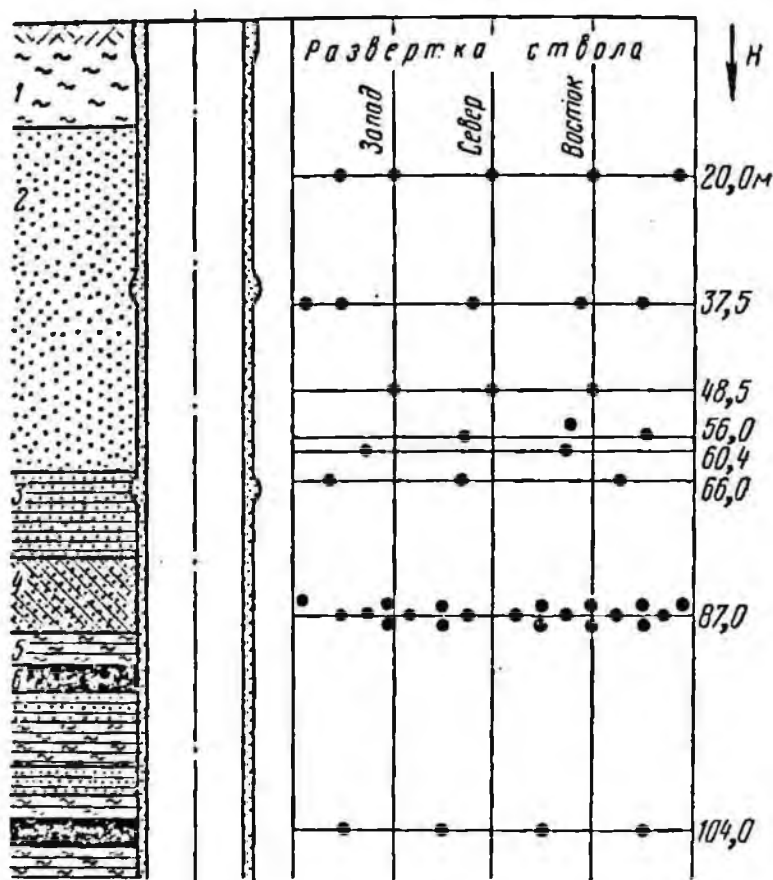


Рис. 67. Геологический разрез и схема расположения тампонажных скважин при последующем тампонаже скипового ствола шахты «Западно-Донбасская» № 2:

1 — глина; 2 — водоносный песок; 3 — песчаный сланец; 4 — песчанник; 5 — глинистый сланец; 6 — уголь

до 9 с уменьшением расстояния между ярусами до 2 м. Давление нагнетания не превышало 10—12 кгс/см<sup>2</sup>.

В результате проведенного тампонажа приток воды в ствол прекратился, что позволило нормально эксплуатировать его.

#### § 36. ПОДАВЛЕНИЕ ПРИТОКОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И МЕТАНА В ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ВЫРАБОТКИ ШАХТЫ «ОКТЯБРЬСКИЙ РУДНИК»

При строительстве шахты «Октябрьский рудник» при за-сечке восточных полевых вентиляционных штреков гор.—741 м была встречена вода с напором 27 кгс/см<sup>2</sup> и зафиксировано интен-

сивное выделение метана. При подходе к водоносным породам был отмечен водоприток из трещин кровли забоя, водоприток по мере подвигания забоя увеличился до  $18 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Возросло и выделение метана почти в 2 раза. Подземные воды имели температуру до  $30^\circ\text{C}$  и обладали сульфатной агрессией. Для ликвидации притоков воды и газа в выработку было решено провести тампонаж трещиноватых пород цементными растворами из забоя штрека при помощи комплекса КГТ-1 (рис. 68).

В забое выработки была сооружена бетонная предохранительная перемычка толщиной 3,5 м с заделкой в нее кондукторов

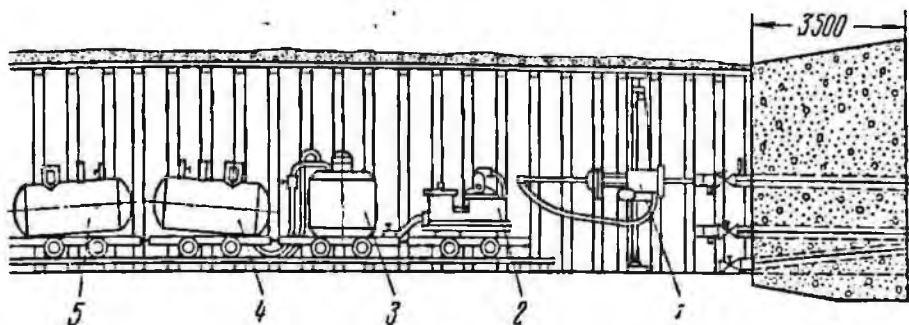


Рис. 68. Схема расположения оборудования при предварительном тампонаже из забоя горизонтальной выработки:

1 — буровой станок; 2 — тампонажный насос; 3 — растворомешалка; 4 — емкость с цементом; 5 — емкость с водой

и дренажной трубы для отвода подземной воды и газа от забоя во время сооружения перемычки. Бетон в перемычку подавался бетононасосом УБМЗ-5 конструкции ЦНИИПодземмаша, а уплотнение его производилось пневмовибраторами, объем уложенного в перемычку бетона составил  $120 \text{ м}^3$ .

Через 5 сут после возведения перемычки кондукторы были оборудованы запорной арматурой, и был выполнен тампонаж контактов пород и перемычки цементным раствором состава Ц:В = 1:1 (всего было закачено  $17 \text{ м}^3$  раствора). Скважины были испытаны давлением  $75 \text{ кгс}/\text{см}^2$ .

Для нагнетания тампонажного раствора под давлением  $75 \text{ кгс}/\text{см}^2$  тампонажный насос НГР-250/50, входящий в комплекс КГТ-1, был заменен насосом 9МГР.

Зона тампонажа была принята равной 85 м, и ее предполагалось затампонировать двумя заходками: первой заходкой — длиной 50 м и второй — 35 м. Однако притоки воды и выделения газа при бурении скважин были настолько значительными, что приходилось бурение скважин прекращать и производить нагнетание раствора в них. Так, при бурении скважины № 24 на глубину 11 м приток воды достиг  $25 \text{ м}^3/\text{ч}$ , и дальнейшее бурение ее не представлялось возможным. После тампонажа скважину пробурили на проектную длину и затампонировали вновь. Из скважины

№ 27 вода начала поступать при длине скважины 19 м, из скважины № 33—33 м. Таким образом, процессы бурения скважин и нагнетания тампонажного раствора непрерывно чередовались.

Скважины бурили станком НКР-100, который обслуживало два человека в смену. Приготовление и нагнетание тампонажного раствора в скважину осуществляли три человека в смену.

Для приготовления тампонажного раствора использовали сульфатостойкий цемент марки 500. В начальный период тампонажа применяли цементный раствор состава 1:1 (цемент:вода). Если давление нагнетания не возрастало, раствор сгущался до состава 1:0,6 и в раствор вводилось 3% хлористого кальция от массы цемента. Первичное нагнетание раствора в скважину № 24 производили спустя 11 сут после укладки бетона в перемычку. Скважину № 26 тампонируют под давлением до 70 кгс/см<sup>2</sup> на 26 сут, а в скважину № 28 раствор нагнетался под давлением 75 кгс/см<sup>2</sup> через 28 сут после сооружения перемычки. Каждую последующую скважину бурили после того, как предыдущая затампонируемая скважина выстаивалась не менее 2 сут.

Расход цемента на одну скважину составлял от 100 до 239 т.

Качество выполнения тампонажа проверялось бурением контрольных скважин длиной, равной длине тампонажной зоны.

После окончания тампонажа перемычку разобрали и проходку выработки возобновили.

В процессе проходки выделение воды и газа из вмещающих пород не было зафиксировано. На стенках и кровле выработки наблюдались трещины, заполненные цементным камнем.

#### § 37. ПОСЛЕДУЮЩАЯ ВОДОИЗОЛЯЦИЯ ЗАЕЗДА НА ПОРОЖНЯКОВУЮ ВЕТЬ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО СТВОЛА ШАХТЫ «ЗАПАДНО-ДОНБАССКАЯ» № 20/23

При проведении заезда на порожняковую ветвь вспомогательного ствола шахты «Западно-Донбасская» № 20/23 (гор.—250 м) было вскрыто тектоническое нарушение, давшее приток воды в выработку до 35 м<sup>3</sup>/ч. Заезд пройден по аргиллитам и угольному пласту мощностью 1,1 м. В месте вскрытия тектонического нарушения до возведения временной металлической крепи произошел вывал породы объемом 25 м<sup>3</sup> в плотном теле. Окружающие породы, за исключением пласта угля, являются водупорами, и тампонируемые их тампонажными растворами на основе цементов, глины или силикатов невозможно. После возведения постоянной крепи из бетона марки 200 водоприток в выработку сократился до 25 м<sup>3</sup>/ч, распространившись в обе стороны от тектонического нарушения на расстояние до 25—30 м в каждую сторону. Воды жесткие, сульфоагрессивные ко всем видам гидротехнического бетона на обычном портландцементе. Гидростатический напор подземных вод составил 4,5 кгс/см<sup>2</sup>.

В результате воздействия агрессивных вод на бетон последний был настолько размыв, что легко разбирался руками. Размывание

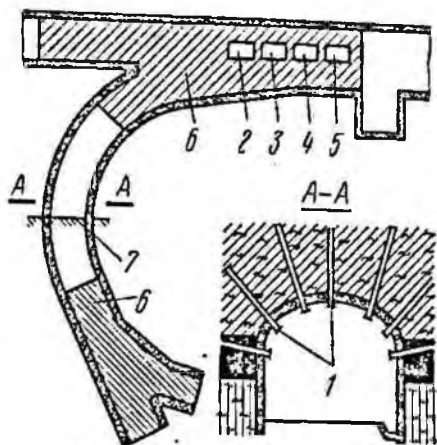


бетона особенно значительным было в местах стыкования бетона стен и в своде, т. е. на том месте, где был технологический пере-рыв при бетонировании выработок. Значительные ослабления бе-тона были зафиксированы и в своде. Вода поступала в выработку в виде многочисленных напорных струй.

Водоизоляция заезда и примыкающих к нему выработок осу-ществлялась нагнетанием в закрепное пространство и в пласты угля тампонажных растворов после производства работ по ремон-ту бетонной крепи. Ремонт бетонной крепи заключался в замене размытого бетона быстротвердеющим бетоном марки 200 на суль-

Рис. 69. Водоизоляция заезда на порожняковую ветвь шахты «Западно-Донбасская» № 20/23:

1 — тампонажные скважины; 2 — растворомешалка; 3 — растворона-сос; 4 — вагон с цементом; 5 — ва-гон с песком; 6 — водоизоляцион-ные завесы; 7 — обводненное тек-тоническое нарушение



фатостойком цементе. Перед укладкой бетона для организации стока воды из закрепного пространства в местах наиболее обиль-ных поступлений воды были поставлены дренажные трубки диа-метром 25,4 мм.

Для преграждения распространения воды по трещинам пород закрепного пространства на наиболее возвышенных местах выра-боток, примыкающих к заезду, были устроены водопреграждаю-щие завесы. Место расположения водопреграждающих завес по-казано на рис. 69.

Водопреграждающие завесы устраивали путем нагнетания по-очередно в породы закрепного пространства цементно-песчаного (состав 1:3:1,5) и цементного (состав 1:0,75÷1:2) растворов повышенной водонепроницаемости в тампонажные скважины воз-растающей длины. Длина скважин была принята равной 0,75; 1,5; 2,5 и 3,0 м. Первоначально в скважину нагнетали цементно-песчаный раствор. При повышении давления в эту же скважину без перерыва нагнетали цементный раствор под давлением до 20 кгс/см<sup>2</sup>. Всего было пробурено и закачено при устройстве двух водопреграждающих завес 24 скважины, из них 8 — длиной 0,75 м, 8 — длиной 1,5 м, 4 — длиной 2,5 м, 4 — длиной 3,0 м. На устройство завес израсходовано 60 м<sup>3</sup> цементно-песчаного рас-твора и 10 м<sup>3</sup> цементного раствора.

После схватывания раствора, закачанного в водопреграждаю-щую завесу, приступали к водоподавлению в пределах участка

выработки, заключенного между водопреграждающими завесами. Водоподавление осуществлялось в направлении к месту вскрытия тектонического нарушения нагнетанием тампонажного раствора в поочередно буримые скважины ярусов, сходящихся с обеих сторон к нарушению (см. рис. 69). В пределах яруса первоначально бурили и закачивали скважины, расположенные в боках выработки, а затем — в кровле. Длина скважин была равной 2 м. После установки кондукторов и промывки скважин в последние закачивали раствор повышенной водонепроницаемости под давлением до 25 кгс/см<sup>2</sup>.

Ликвидация водопритокков из тектонического нарушения выполнялась цементными растворами состава 1:1÷1:2 (цемент:вода) с добавками натриевого бентонита в порошке и тринатрийфосфата. Первоначально закачивались скважины, располагаемые в боках, затем скважины, пробуренные в кровле выработки. Место бурения скважин в боках определяли, за исключением угольного пласта, по местам течей воды. После установки кондуктора и промывки скважины тампонируют под давлением до 40 кгс/см<sup>2</sup>. Водоподавление из кровли (в месте тектонического нарушения) осуществлялось через скважины возрастающей длины. Длину скважин принимали равной 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 м. Нагнетание раствора в скважину производили после тщательной промывки под давлением 20—40 кгс/см<sup>2</sup>. Давление нагнетания с ростом длины скважины увеличивали.

Тампонажные скважины бурили пневматическими бурильными машинами ПР-30ЛС с пневмоподдержек или пневматическими буровыми сверлами СПР-11. Нагнетание раствора в закрепное пространство производили растворомасосом НГР-250/50 по высоконапорным шлангам с внутренним диаметром 25 мм.

После выполнения тампонажных работ водоприток в заезд на порожняковую ветвь и примыкающие к нему выработки сократился до 0,25 м<sup>3</sup>/ч, что обеспечивает нормальную эксплуатацию околоствольного двора. В результате выполненных работ был отремонтирован размытый бетон и обеспечена устойчивость выработки.

Работы по водоподавлению совместно с устройством водопреграждающих завес были выполнены в течение четырех рабочих недель бригадой численностью 14 человек.

Всего на водоподавление с учетом устройства водопреграждающих завес израсходовано 270 м<sup>3</sup> тампонажного раствора, в том числе: 90 м<sup>3</sup> — цементно-песчаного и 180 м<sup>3</sup> — цементного раствора повышенной водонепроницаемости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адамович А. Н., Колтунов Д. В.* Цементация оснований гидросооружений. Л., «Энергия», 1964. 514 с.
2. *Булатов А. И., Рябченко В. И., Сухарев С. С.* Основы физико-химии промывочных жидкостей и тампонажных растворов. М., «Недра», 1968. 176 с.
3. *Руководство по проведению последующего тампонажа при проходке стволов шахт.* М. Углетехиздат, 1958. 95 с.
4. *Гринбаум И. И.* Геофизические методы определения фильтрационных свойств горных пород. М., «Недра», 1965. 188 с.
5. *Дорошенко Г. Н., Костюкевич З. В.* Исследование водонепроницаемости тампонажных растворов. Труды УкрНИИОМШСа, вып. XIII, М., Госгортехиздат, 1962, с. 3—10.
6. *Данюшевский В. С., Толстых И. Ф., Мильштейн В. М.* Справочное руководство по тампонажным материалам, М., «Недра», 1973. 312 с.
7. *Евтушенко В. В.* Выход тампонажного камня при производстве цементационных работ. — «Проектирование и строительство угольных предприятий», 1966, № 12, с. 12—14.
8. *Евтушенко В. В.* Сроки схватывания цементных растворов и водоудерживающая способность цемента. «Проектирование и строительство угольных предприятий», 1969, № 6, с. 28—30.
9. *Евтушенко В. В.* Совершенствование крепи подготовительных выработок для шахт Западного Донбасса. — «Проектирование и реконструкция угольных предприятий», 1973, № 3, с. 14—15.
10. *Евтушенко В. В.* Ликвидация водопритоков из нетампонируемых пород на шахтах Западного Донбасса. — «Проектирование и реконструкция угольных предприятий», 1972, № 7, с. 3—4.
11. *Калмыков Е. П.* Борьба с внезапными прорывами воды при сооружении вертикальных стволов. М., «Недра», 1968. 159 с.
12. *Маньковский Г. И.* Специальные способы проходки горных выработок в угольной промышленности. М., Углетехиздат, 1951. 32 с.
13. *Максимов А. П., Евтушенко В. В.* Тампонаж закрепного пространства капитальных выработок как средство обеспечения их устойчивости. — «Уголь Украины», 1970, № 8, с. 47—48.
14. *Максимов А. П., Евтушенко В. В.* Методика ускоренной разработки и исследований тампонажных растворов. — «Проектирование и строительство угольных предприятий», 1969, № 11—12, с. 57—58.
15. *Максимов А. П., Евтушенко В. В.* Опыт повышения устойчивости горных выработок. М., Изд. ЦНИЭИуголь, 1973. 21 с.
16. *Максимов А. П., Евтушенко В. В.* О мерах по устранению деформаций металлобетонной крепи. — «Шахтное строительство», 1972, № 9, с. 21—22.
17. *Паронян Л. Н.* Влияние добавок бентонитовой глины на основные свойства цементационных растворов. Изд. ВНИИГ, т. 67, 1961. 210 с.
18. *Пиньковский Г. С., Евтушенко В. В.* Постоянная крепь для капитальных горных выработок в условиях Западного Донбасса. — «Уголь Украины», 1972, № 10, с. 46—47.
19. *Ратинов В. Б., Розенберг Т. И.* Добавки в бетон. М., Стройиздат, 1973. 207 с.
20. *Руководство по производству предварительной цементации горных пород при проходке вертикальных стволов шахт глубиной до 400—500 м.* Изд. КузНИИшахтострой., Кемерово, 1972. 159 с.
21. *Справочник инженера по бурению.* Т. I. М., «Недра», 1973. 519 с.
22. *Справочник инженера шахтостроителя.* Т. II. М., «Недра», 1972. 697 с.

23. Труды международного симпозиума «Проходка шахтных стволов и туннелей», М., Гостортехиздат, 1961, с. 212—227.
24. Труник Н. Г. Цементация трещиноватых пород в горном деле. М., Металлургия, 1956, 297 с.
25. Труник Н. Г. Совершенствовать тампонаж горных пород — «Шахтное строительство», 1965, № 5, с. 1—3.
26. Труник Н. Г. Специальные способы проведения горных выработок, М., «Недра», 1961, 494 с.
27. Шадрин Л. Н. Регулирование свойств тампонажных растворов при цементировании скважин. М., «Недра», 1969, 240 с.
28. Шкибара М. Н. Промывочные и тампонажные растворы при бурении стволов шахт. М., Углетехиздат, 1957, 148 с.
29. Шмидт К. Л. Упрочнение вмещающих горных пород растворами и цементным молоком. — «Глюкауф», 1963, № 20, с. 1286—1290.
30. Шталь Р. Упрочнение горных пород способом цементации. «Глюкауф», 1966, № 1, с. 1—9.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение . . . . .                                                                                                      | 3   |
| Глава I. Общие сведения . . . . .                                                                                       | 5   |
| § 1. Горно-геологические условия при производстве тампонажа . . . . .                                                   | 5   |
| § 2. Цели и область применения тампонажа . . . . .                                                                      | 11  |
| Глава II. Тампонажные цементные растворы . . . . .                                                                      | 22  |
| § 3. Материалы, используемые для приготовления тампонажных растворов на основе портландцементов . . . . .               | 22  |
| § 4. Добавки-активаторы . . . . .                                                                                       | 25  |
| § 5. Коррозия цементных тампонажных растворов . . . . .                                                                 | 30  |
| § 6. Способы обеспечения качества и долговечности цементного камня . . . . .                                            | 34  |
| § 7. Консистенция и концентрация растворов . . . . .                                                                    | 38  |
| § 8. Выход тампонажного камня . . . . .                                                                                 | 40  |
| § 9. Реологические свойства и проникающая способность цементных растворов . . . . .                                     | 45  |
| § 10. Отжим воды из цементных растворов . . . . .                                                                       | 54  |
| § 11. Сроки схватывания цементных растворов . . . . .                                                                   | 58  |
| § 12. Прочность затвердевших цементных растворов . . . . .                                                              | 63  |
| § 13. Водонепроницаемость тампонажного камня . . . . .                                                                  | 66  |
| § 14. Выбор добавок-активаторов тампонажных растворов при наличии минерализованных вод . . . . .                        | 70  |
| Глава III. Смешанные и химические тампонажные растворы . . . . .                                                        | 74  |
| § 15. Цементно-песчаные растворы . . . . .                                                                              | 74  |
| § 16. Глинистые и глино-цементные растворы . . . . .                                                                    | 79  |
| § 17. Растворы на основе бентонитовых глин . . . . .                                                                    | 84  |
| § 18. Силикатные и цементно-силикатные тампонажные растворы . . . . .                                                   | 87  |
| § 19. Химические тампонажные растворы . . . . .                                                                         | 91  |
| § 20. Приготовление тампонажных растворов . . . . .                                                                     | 96  |
| Глава IV. Производство предварительного тампонажа . . . . .                                                             | 102 |
| § 21. Выбор способа тампонажа . . . . .                                                                                 | 102 |
| § 22. Расположение, число и диаметр тампонажных скважин . . . . .                                                       | 113 |
| § 23. Тампонажные подушки и породные предохранительные целики . . . . .                                                 | 119 |
| § 24. Параметры производства предварительного тампонажа . . . . .                                                       | 128 |
| § 25. Контроль производства тампонажных работ . . . . .                                                                 | 134 |
| Глава V. Последующий тампонаж пород закрепного пространства . . . . .                                                   | 135 |
| § 26. Последующий тампонаж вертикальных стволов с монолитной бетонной крепью . . . . .                                  | 135 |
| § 27. Последующий тампонаж вертикальных стволов с тюбинговой крепью . . . . .                                           | 141 |
| § 28. Последующий тампонаж в горизонтальных и наклонных выработках с целью водоизоляции . . . . .                       | 142 |
| Глава VI. Тампонаж как средство повышения устойчивости горизонтальных и наклонных горных выработок . . . . .            | 145 |
| § 29. Тампонаж выработок, закрепленных металлобетонной крепью . . . . .                                                 | 145 |
| § 30. Тампонаж выработок, закрепленных металлической крепью . . . . .                                                   | 152 |
| Глава VII. Опыт производства тампонажных работ . . . . .                                                                | 159 |
| § 31. Предварительный тампонаж с земной поверхности Западного вентиляционного ствола шахты № 21-бис (Донбасс) . . . . . | 159 |
| § 32. Предварительный тампонаж из забоя главного ствола шахты «Нагольчанская» № 1—2 (Донбасс) . . . . .                 | 162 |
| § 33. Последующий тампонаж вентиляционного ствола шахты № 18 (Печорский бассейн) . . . . .                              | 164 |

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 34. Тампонаж закрепного пространства скипового ствола шахты «Юнь-Яга» (Печорский бассейн) . . . . .                             | 167 |
| § 35. Ликвидация водопритоков в стволы шахт Западного Донбасса . . . . .                                                          | 169 |
| § 36. Подавление притоков подземных вод и метана в горизонтальные выработки шахты «Октябрьский рудник» . . . . .                  | 172 |
| § 37. Последующая водонизоляция заезда на порожняковую ветвь вспомогательного ствола шахты «Западно-Донбасская» № 20/23 . . . . . | 174 |
| Список литературы . . . . .                                                                                                       | 177 |

ИБ № 1276

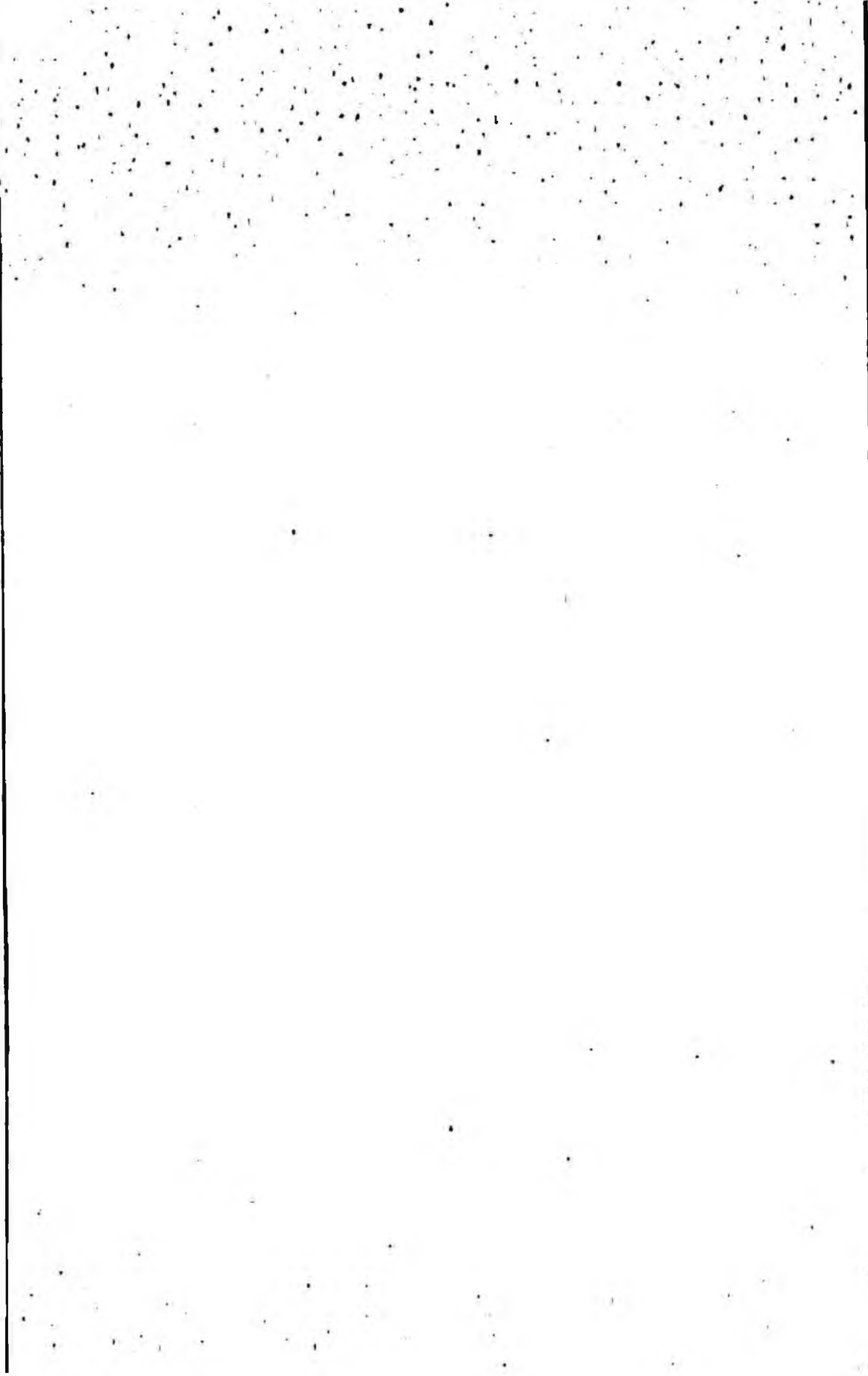
Александр Павлович Максимов  
Виктор Васильевич Евтушенко

# ТАМПОНАЖ ГОРНЫХ ПОРОД

Редактор издательства Э. Е. Ненигладова  
Переплет художника А. Е. Чучкинова  
Художественный редактор О. Н. Зайцева  
Технические редакторы О. А. Болтунова, Л. Г. Лаврентьева  
Корректор Н. В. Власова

|                              |                             |                   |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Сдано в набор 13.03.78.      | Подписано в печать 06.06.78 | T-11226           |
| Формат 60×90 <sup>1/16</sup> | Бумага № 2                  | Гарнитура литер.  |
| Печать высокая.              | Печ. л. 11,25               | Уч.-изд. л. 12,66 |
| Тираж 2000 экз.              | Заказ 202/6371—9            | Цена 75 коп.      |

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12  
Третьяковский проезд, 1/19  
объединения «Аэрогеология»





77. 100.

ЧЕДРА